

Steenzettingen: Kennisleemtes versus uitvoering

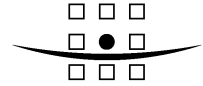
Kosten-batenanalyse

Rijkswaterstaat Dienst Weg- en
Waterbouwkunde

16 oktober 2002

Definitief rapport

9M0327.A0



ROYAL HASKONING

HASKONING NEDERLAND BV
KUST & RIVIEREN

Barbarossastraat 35

Postbus 151

6500 AD Nijmegen

+31 (0)24 328 42 84 Telefoon

+31 (0)24 360 54 83 Fax

info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail

www.royalhaskoning.com Internet

Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Steenzettingen: Kennisleemtes versus
uitvoering
Kosten-batenanalyse

Verkorte documenttitel

Status Definitief rapport

Datum 16 oktober 2002

Projectnaam IKS

Projectnummer 9M0327.A0

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Dienst Weg- en
Waterbouwkunde

Referentie 9M0327.A0/R002/JJF/IL/Nijm

Opgesteld door Jaap-Jeroen Flikweert en Dirk Jan Peters

Gecontroleerd door Gert-Jan Akkerman

Datum/paraaf controle

Goedgekeurd door Jaap-Jeroen Flikweert

Datum/paraaf goedkeuring

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
	1.1 Kader	1
	1.2 Vraagstelling	1
	1.3 Werkwijze	2
	1.4 Leeswijzer	2
2	SELECTIE VAN KENNISLEEMTES	4
	2.1 Inleiding	4
	2.2 Groslijst op basis van TAW-inventarisatie	4
	2.3 Shortlist op basis van relevantie en bruikbaarheid	5
	2.4 Definitieve selectie	7
3	STEENZETTINGENAREAAL PER KENNISLEEMTE	10
	3.1 Inleiding	10
	3.2 Identificatie van de kennisleemtes	10
	3.3 Resultierend areaal per kennisleemte	12
	3.4 Onderlinge verbanden	13
4	BENODIGD ONDERZOEK PER KENNISLEEMTE	14
	4.1 Inleiding	14
	4.2 Geschiedenis van het steenzettingenonderzoek	14
	4.3 Bespreking per leernte	15
	4.4 Samenvatting	18
5	KOSTEN-BATENANALYSE	20
	5.1 Inleiding	20
	5.2 Kwantificering van de aanscherping	20
	5.3 Rekenwaarde voor areaal per kennisleemte	22
	5.4 Berekening van de baten	22
	5.5 Kosten versus baten	24
	5.6 Prioritering en scenario's	24
	5.7 Aannamen en gevoeligheden	25
6	CONCLUSIES	28
7	AANBEVELINGEN	30

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Inventarisatie van kennisleemten met betrekking tot steenzettingen, TAW, juni 2001 (excl. bijlagen)
- Bijlage 2: Resultaten enquête
- Bijlage 3: Verslagen interviews
- Bijlage 4: Verslag Workshop Kennisleemtes

1 INLEIDING

1.1 Kader

Sinds 1997 wordt in Zeeland gewerkt aan de verbetering van steenzettingen op het buitentalud van de primaire waterkeringen en inmiddels worden ook in het IJsselmeergebied steenzettingen verbeterd. De keuze van de te verbeteren vakken vindt plaats op basis van de resultaten van toetsingsberekeningen. Bij een score 'goed' is geen verbetering nodig, bij een score 'onvoldoende' is wel verbetering nodig, maar er zijn ook situaties waarbij met de huidige stand van de kennis nog geen eindscore kan worden gegeven: daar geldt de tussenscore 'twijfelachtig'. Tot dusver zijn de verbeteringswerken beperkt tot bekledingen die evident onveilig zijn, met een ruime score 'onvoldoende' volgens de toetsingsregels. Parallel daaraan is begonnen met het invullen van de kennisleemtes om de tussenscore 'twijfelachtig' om te kunnen zetten in een eindscore.

Uiteindelijk moet op alle primaire waterkeringen een bekleding met een score 'goed' liggen. Voor bekledingen die nu een tussenscore 'twijfelachtig' hebben, zijn hiervoor twee mogelijkheden: het invullen van de kennisleemtes waardoor een eindscore kan worden gegeven (en versterking van de bekleding als die eindscore niet 'goed' maar 'onvoldoende' is), óf de bekleding verbeteren ook al is niet bekend of de score echt 'onvoldoende' is. Bij deze afweging gelden de volgende overwegingen:

- het invullen van kennisleemtes (door onderzoek) kost geld en tijd en het is vooraf onzeker in welke mate het onderzoek ook geld oplevert (bekledingen die een score 'goed' krijgen en daardoor niet hoeven te worden verbeterd);
- het is ongewenst om de uitvoering te laten stagneren;
- ontwikkelde kennis is ook toepasbaar voor steenzettingen in andere gebieden en voor ontwerp.

In dit kader loopt bij Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde het project Kennisleemte versus uitvoering.

1.2 Vraagstelling

In opdracht van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde heeft Royal Haskoning een onderzoek uitgevoerd dat een overzicht oplevert van de relevante kennisleemtes, gerelateerd aan de oppervlakken bekleding waarvoor de kennisleemtes van toepassing zijn. Het onderzoek beoogt antwoord te geven op de volgende vragen:

- Wat kost het in tijd en geld om de kennisleemtes op te lossen;
- Wat kost het als de kennisleemtes niet worden opgelost;
- Wanneer komt de uitvoering in de verdrukking op basis van de huidige kennis;
- Hoe is het landelijk beeld m.b.t. kennisleemtes versus uitvoering;
- Wat zijn de consequenties op de lange termijn.

Ten aanzien van de oppervlakken is het onderzoek gericht op Westerschelde, Oosterschelde en IJsselmeergebied. De toetsingsresultaten in de vorm van Steentoetsbestanden vormen hiervoor de basis. De overige watersystemen worden slechts kwalitatief beschouwd.

Ten aanzien van de kennisleemtes wordt alleen gekeken naar de faalmechanismen van de bekleding zelf. In dit onderzoek wordt niet expliciet gekeken naar de reststerkte (in TAW-kader wordt een aparte inventarisatie uitgevoerd naar deze kennisleemte) en ook niet naar de specifieke aspecten van overgangsconstructies van dijken naar duinen. De berekeningsmethoden van hydraulische randvoorwaarden vallen ook buiten het onderzoek, maar de verwerking van bijzondere randvoorwaarden (zoals extreem lange golfperioden) in de rekenregels voor steenzettingen valt er wel binnen. In de afweging of onderzoek naar kennisleemtes nodig is, kunnen ook niet-monetaire aspecten een rol spelen (landschap, duurzaamheid, etc.). Deze aspecten worden in dit onderzoek niet bekeken (maar moeten in de uiteindelijke afweging wel een rol spelen).

1.3 Werkwijze

De grote lijn van de kosten-batenanalyse is als volgt. Er is een selectie gemaakt van de meest relevante kennisleemtes. Voor elk van deze leemtes is een schatting gemaakt van de benodigde hoeveelheid tijd en geld, de verwachte aanscherping van de rekenregels en de onzekerheden daarin. Anderzijds is bepaald voor welke steenzettingsvakken langs Westerschelde, Oosterschelde en IJsselmeer elke leemte relevant is. Vervolgens is uitgerekend welke oppervlakte aan steenzettingen van 'twijfelachtig' naar 'goed' springt als de ingeschatte aanscherping van de rekenregel als gevolg van onderzoek naar een kennisleemte wordt bereikt. De kosten voor elke kennisleemte zijn de benodigde onderzoekskosten; de baten voor elke kennisleemte zijn de kosten van verbeteringswerken die worden voorkomen door het onderzoek uit te voeren. Per kennisleemte kan dus worden aangegeven wat de kosten en de verwachte opbrengsten zijn, inclusief tijdspad. Op basis daarvan is een prioritering van kennisleemtes opgesteld. Het beoogde doel is, dat op basis van de resultaten beslissingen kunnen worden genomen over het uit te voeren onderzoek.

Het onderzoek is uitgevoerd in drie fasen: voorbereiding (fase 1), enquête (fase 2) en interviews + analyse (fase 3). In Bijlage 1 en 2 wordt gerapporteerd over de enquête en de interviews. Parallel aan het onderzoek is op 26 juni 2002 door Dienst Weg- en Waterbouwkunde een workshop georganiseerd in Goes. Daarin is met een aantal betrokkenen de afweging tussen onderzoek en uitvoering op indicatieve wijze gemaakt voor de Oosterschelde; daarvoor wordt verwezen naar Bijlage 3. Deze kosten-batenanalyse is begeleid door de Werkgroep Kennis van Projectbureau Zeeweringen.

Voor de bepaling van het steenzettingenareaal per kennisleemte en van de baten van onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens uit het spreadsheet Steentoets. Steentoets is een spreadsheetprogramma voor de toetsing van steenzettingen volgens de regels van de Leidraad Toetsen op Veiligheid 1999. Elk steenzettingenvlak is een regel in Steentoets; daarin staan alle invoergegevens voor de toetsing (constructie, geometrie, hydraulische randvoorwaarden), de tussenresultaten en de toetsresultaten.

1.4 Leeswijzer

De opbouw van het rapport is als volgt:

- hoofdstuk 2: afweging en selectie van de kennisleemtes, leidend tot de set van 7 leemtes waarmee de kosten-batenanalyse wordt uitgevoerd;
- hoofdstuk 3: berekening van het steenzettingenareaal waarin de geselecteerde leemtes een rol spelen. Het resultaat is een overzicht van de oppervlakte per kennisleemte;

- hoofdstuk 4: beschrijving van de resultaten van de enquête en interviews, met als resultaat het benodigd onderzoek per kennisleemte (inclusief doorlooptijd en kosten) en de mogelijke aanscherping van de rekenregels ten gevolge van onderzoek;
- hoofdstuk 5: berekening van de baten en vergelijking daarvan met de kosten;
- hoofdstuk 6 en 7: conclusies en aanbevelingen.

2 SELECTIE VAN KENNISLEEMTES

2.1 Inleiding

De laatste jaren zijn verschillende inventarisaties uitgevoerd van de kennisleemtes op het gebied van steenzettingen: in 1999 door Bouwdienst Rijkswaterstaat (Inventarisatie onzekerheden steenzettingen, K. Slijkhuis en D. Klaassen, september 1999), in 2000 door Infram (Veiligheid in rekentechnieken van steenzettingen, J. van der Meer, februari 2000) en in 2001 door WL|Delft Hydraulics (Inventarisatie van kennisleemten met betrekking tot steenzettingen, M. Klein Breteler, juni 2001). De inventarisatie van WL|Delft Hydraulics, uitgevoerd in het kader van de werkgroep Techniek van de TAW, kan worden beschouwd als een samenvatting van en een aanvulling op de inventarisaties van de Bouwdienst en van Infram en is een belangrijke basis voor deze kosten-batenanalyse. De integrale tekst is daarom opgenomen als Bijlage 1. In het vervolg van dit rapport wordt naar die inventarisatie verwezen als 'de TAW-inventarisatie'.

In het onderhavige onderzoek is gekozen voor het beperken van de kosten-batenanalyse tot de vijf à tien kennisleemtes die de grootste onzekerheid opleveren voor de rekenregels, gerelateerd aan het steenzettingenareaal waarvoor de leemtes gelden. Deze selectie is in een aantal stappen uitgevoerd:

- groslijst van op basis TAW-inventarisatie;
- 'shortlist' op basis van relevantie voor de studie;
- definitieve lijst op basis van oppervlaktes en inbreng experts.

De selectie wordt per stap besproken.

2.2 Groslijst op basis van TAW-inventarisatie

In de TAW-inventarisatie is per kennisleemte een prioriteit van 1 tot en met 4 aangegeven op basis van een kwalitatieve inschatting van beschikbaarheid van en behoefte aan de kennis. In de groslijst voor de kosten-batenanalyse zijn alle kennisleemten opgenomen die in de TAW-inventarisatie een prioriteit 1 of 2 hadden, met uitsluiting van categorie D (reststerkte en faalkans), omdat dat onderwerp buiten de scope van dit onderzoek valt. De resulterende 21 kennisleemtes staan in Tabel 2.1. Per kennisleemte is aangegeven wat het nummer is in de TAW-inventarisatie. Kolom 3 en 4 van Tabel 2.1 hebben te maken met de tweede selectiestap, waar de relevantie en bruikbaarheid voor de studie worden bekeken, zie § 2.3.

Omschrijving leemte	Nr. TAW-inventarisatie	aanscherping verwacht?	identificeerbaar?
Open toplaag op granulaire laag	A1	ja	ja
Basalt	A5	nee	ja
Ingegoten steenzettingen	A2 en A3	ja	ja
Zwerfkeien (Noorse steen)	A4	ja	ja
Doorgroeistenen	A6	onduidelijk	ja
Klemming	B1	ja	ja
Dichtslibben toplaag	B2	onzeker, kan ook andersom	ja

Omschrijving leemte	Nr. TAW-inventarisatie	aanscherping verwacht?	identificeerbaar?
Dichtslibben granulaire laag	B2	ja	ja
Scheve inval	C1	deels wel, deels niet	nee
Lange periode	C2	ja	ja
Zeer ondiep voorland	C3	onduidelijk	nee
Zeer steile taluds	C4	onduidelijk	ja
Havendammen met lage kruin	E1	ja	nee
Bermen	E2	ja	ja
Talud boven berm	E3	ja	ja
Talud boven Toetspeil	E3	ja	ja
Bewezen sterkte	F1	ja	nee
Meettechnieken	F2	ja	nee
Afschuiving	G1	ja	ja
Steenzetting onder voorland	G2	ja	nee
Aansluiting op kunstwerken	H1	onduidelijk	nee

Tabel 2.1: Groslijst kennisleemtes

2.3 Shortlist op basis van relevantie en bruikbaarheid

Kennisleemtes zijn relevant voor de kosten-batenanalyse als onderzoek er toe kan leiden dat een toetsscore 'twijfelachtig' kan worden omgezet naar 'goed'. Daarvoor moet aan twee voorwaarden worden voldaan:

- Onderzoek aan de leemte moet naar verwachting leiden tot aanscherping van de rekenregels;
- De leemtes moeten in Steentoets identificeerbaar zijn en de aanscherping van de regels moet in Steentoets kwantificeerbaar zijn.

Onderzoek moet leiden tot aanscherping

Bedoeld wordt, dat het onderzoek er toe moet leiden dat de rekenregels minder conservatief kunnen worden. Als dit niet het geval is, dus als de huidige regels voor wat betreft de leemte aan de onveilige kant liggen, valt de kennisleemte niet binnen de scope van dit onderzoek.

De kolom over aanscherping in Tabel 2.1 is ingevuld op basis van de TAW-inventarisatie en beschikbare kennis; in deze selectiestap is de inbreng van de experts niet verwerkt. Voor de meeste leemtes wordt verwacht dat aanscherping mogelijk is. Ook als dit onduidelijk is wordt de leemte binnen de selectie gehouden. Voor twee leemtes wordt op dit moment verwacht dat de regels wellicht deels aan de onveilige kant liggen: basaltzuilen (leemte A5 uit de TAW-inventarisatie) en scheve golfval als de invalshoek tussen 30° en 60° ligt (leemte C1 uit de TAW-inventarisatie). Deze leemtes worden niet behandeld in de kosten-batenanalyse, maar zijn wel aan de orde gekomen in de enquête en interviews, zie Bijlage 1 en 2.

Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat dit niet betekent dat de huidige rekenregels voor steenzettingen als geheel aan de onveilige kant liggen: de experts schatten in dat de combinatie van 'onveilige' en 'te veilige' leemtes er per saldo toe leidt dat de huidige rekenregels zeker aan de veilige kant liggen. Los van de kosten-batenanalyse zijn kennisleemtes aan de 'onveilige' kant des te meer van belang omdat de veiligheid in het geding is. Zie ook de aanbevelingen in Hoofdstuk 7.

Leemtes moeten identificeerbaar en kwantificeerbaar zijn

Voor de kosten-batenanalyse is het nodig dat de leemtes in Steentoets identificeerbaar zijn (dus: er kan bepaald worden voor welke vakken in het projectgebied de kennisleemte geldt) en dat de aanscherping van de regels in Steentoets kwantificeerbaar is (dus: kan berekend worden welk oppervlakte steenzettingen van 'twijfelachtig' naar 'goed' springt door een bepaalde aanscherping van de regels).

Voor 7 kennisleemtes is in Tabel 2.1 aangegeven dat ze niet identificeerbaar in Steentoets zijn; deze zijn niet verwerkbaar in de kosten-batenanalyse volgens de gekozen opzet en vallen dus uit de selectie. Opgemerkt wordt dat één van deze 7 leemtes, namelijk Scheve inval, wel in de Workshop is behandeld, zie Bijlage 4; daarvan bleek pas in een later stadium in het onderzoek dat de leemte niet goed identificeerbaar is in Steentoets. Voor de overige 13 leemtes is vastgesteld dat de aanscherping kwantificeerbaar is.

Ook hier geldt: de overige kennisleemtes zijn niet persé minder belangrijk, maar vallen buiten de kosten-batenanalyse in dit onderzoek.

Resulterende shortlist

Selectie volgens de criteria van 'aanscherping' en 'identificeerbaarheid' leidt tot de lijst van 13 leemtes in Tabel 2.2.

Nr. TAW-inventarisatie	Omschrijving leemte
A1	Open toplaag op granulaire laag
A2 en A3	Ingegoten steenzettingen
A4	Zwerfkeien (noorse steen)
A6	Doorgroei stenen
B1	Klemming
B2	Dichtslibben toplaag
B2	Dichtslibben granulaire laag
C2	Lange periode

Nr. TAW-inventarisatie	Omschrijving leemte
C4	Zeer steile taluds
E2	Bermen
E3	Talud boven berm
E3	Talud boven Toetspeil
G1	Afschuiving

Tabel 2.2: Shortlist van kennisleemtes

2.4 Definitieve selectie

Vanuit de lijst van 13 leemtes in Tabel 2.2 is de definitieve selectie gemaakt van de leemtes waarvoor de kosten-batenanalyse is uitgevoerd. Deze selectie is gemaakt op basis van overleg met Werkgroep Kennis van Projectbureau Zeeweringen en op basis van de resultaten van de enquête en de interviews. Criteria zijn het steenzettingenareaal waarvoor de leemtes gelden (zie Hoofdstuk 3) en de verwachte mate van aanscherping van de rekenregels. Op basis daarvan zijn 6 leemtes afgefallen; dit wordt per leemte onderbouwd:

- Doorgroeistenen: uit een eerste analyse van de Steentoetsfiles blijkt dat het areaal waarop dit bekledingstype met een score 'twijfelachtig' voorkomt, niet groot is (orde 1000 m²). Verder speelt een rol dat inmiddels een nieuwe, scherpere regel is opgesteld (nog niet formeel vastgesteld, maar wel opgenomen in Technisch Rapport Steenzettingen dat eind 2002 wordt vastgesteld), waardoor het areaal met score 'twijfelachtig' nog verder af zal nemen.
- Dichtslibben toplaag: deze leemte is relevant als het denkbaar is dat slib of zand in maatgevende omstandigheden in de toplaag aanwezig blijven. Uit de praktijk wordt gesignaleerd dat dit zeer onwaarschijnlijk is. De verwachte mate van aanscherping is daarom zeer beperkt, de leemte valt af.
- Zeer steile taluds: het betreft hier taluds met een helling steiler dan 1:2; het bijbehorende areaal is erg klein. Verder is er een sterk inhoudelijk verband met de leemte 'lange periode'; feitelijk is die leemte van belang bij grote waarden voor de brekerparameter ζ , en dat is zowel het geval bij lange periode als bij steile taluds.
- Bermen: ten opzichte van Steentoets en de TAW-inventarisatie is inmiddels een nieuwe regel vastgesteld; volgens de experts bevat de nieuwe bermregel nog wel een theoretische leemte, maar zal nauwelijks meer aanscherping mogelijk zijn.
- Talud boven berm: ten opzichte van Steentoets en de TAW-inventarisatie is inmiddels een nieuwe regel vastgesteld, gebaseerd op de bermregel. Voor het talud boven de berm is deze regel conservatief, maar verwacht wordt dat na toepassing van de nieuwe regel weinig areaal met score 'twijfelachtig' over zal blijven.
- Talud boven Toetspeil: ook voor deze leemte geldt dat inmiddels een scherpere rekenregel bestaat (nog niet formeel vastgesteld maar wel opgenomen in Technisch Rapport Steenzettingen). Ingeschat wordt dat deze regel nog steeds conservatief is, maar dat het resterende areaal met score 'twijfelachtig' beperkt is. Verder kan worden verwacht dat in voorkomende gevallen het talud ónder Toetspeil 'onvoldoende' zal zijn, zodat het betreffende vak bóven Toetspeil in de praktijk sowieso verbeterd moet worden.

Behalve deze leemtes hebben de experts in de enquêtes en interviews een aantal leemtes aangeduid die naar hun inzien belangrijk zijn. Verwezen wordt naar de verslagen in Bijlage 1 en 2. De resterende 7 leemtes worden wel meegenomen bij de

kosten-batenanalyse. Hieronder wordt per leemte en beknopte omschrijving gegeven, deels gebaseerd op de TAW-inventarisatie.

1. Open toplaag op granulaire laag

Met het Deltagoot onderzoek van 1997 en 1998 is voor het eerst gedetailleerde kennis beschikbaar gekomen over relatief open toplagen (Basalton, Hydroblocks, etc). Tijdens de analyse van de proefresultaten is duidelijk geworden dat de golfklap verantwoordelijk kan zijn voor de maatgevende belasting. Het is gebleken dat ANAMOS (het rekengereedschap voor de gedetailleerde toetsing, zelfde rekenregel als in Steentoets) de sterkte en de belasting voor dit type onderschat, maar dat het desondanks de stabiliteit nog redelijk nauwkeurig voorspelt (geen klemming, maar ook geen invloed van golfklap). Het nieuwe programma ZSteen, dat nu als testversie gereed is, maakt in veel gevallen scherper rekenen mogelijk, maar moet nog geverifieerd worden aan de hand van de Deltagootresultaten.

2. Ingegoten steenzettingen

Sommige natuursteen bekledingen zijn in het verleden vol en zat ingegoten met gietasfalt of met beton. De stabiliteit van een dergelijke constructie tijdens golfaanval is vrij groot, maar hoe groot is nog niet bekend. Een belangrijk verschil met een asfaltbekleding is de grote stijfheid van de toplaag. Daarnaast ondervindt een ingegoten bekleding een statische belasting als de waterstand onder de bekleding hoger is dan de buitenwaterstand. Voor vele bekledingen is dit de maatgevende belasting. De grootte van de belasting en de sterkte kan echter nog nauwelijks berekend worden. Recent is een prototypeproef uitgevoerd waarmee veel kennis is vergaard, maar voor algemeen toepasbare regels is nog onderzoek nodig.

3. Noorse steen

Noorse steen worden ook wel aangeduid met termen als Noordse steen, Drentse steen, etc. Kenmerkend voor dit type toplaag zijn de grote afgeronde stenen van 20-50 cm op grof filter. Thans kan de stabiliteit slechts bij benadering en conservatief bepaald worden door het te schematiseren als breuksteen (dus met zeer weinig interactie). Er is onderzoek nodig om uit te zoeken hoe de doorlatendheden en de interactie tussen de toplaagelementen zich verhouden tot die van standaard steenzettingen.

4. Klemming

Met klemming wordt de interactie tussen de stenen bedoeld. De huidige rekenmodellen (ANAMOS en Steenzet) gaan uit van een los toplaagelement dat met weinig of geen klemming tussen de andere toplaagelementen ligt. Ingeschat wordt dat er in veel gevallen winst haalbaar is, maar daarbij is wel van belang dat in de bekleding op de dijk ook werkelijk klemming aanwezig is. Het lopende en bestaande onderzoek richt zich op het bepalen van een vermenigvuldigingsfactor voor de sterkte die in de rekenmodellen kan worden verwerkt.

5. Inzanding / inslibbing granulaire laag

Veel bekledingen in de getijzone zijn ingeslibd of ingezand, waardoor de waterdoorlatendheid sterk afneemt. Dit is in principe gunstig voor de toplaagstabiliteit, maar de vraag is of het zand en slib onder maatgevende golfaanval niet uitspoelt. Er is onderzoek nodig om criteria vast te stellen waarbij de inslibbing ook bij hoge golven aanwezig blijft, en om de stabiliteitsverhoging te kwantificeren.

6. Lange periode

Het onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen is in het verleden steeds uitgevoerd met relatief korte golven ($\xi_{op} < 2,5$). Met het bekend worden van de nieuwe golfrandvoorwaarden is het duidelijk geworden dat kennis over de stabiliteit bij een belasting met lange golven zeer belangrijk is. Nu kan die belasting slechts geschat worden op basis van een conservatieve extrapolatie van de beschikbare formules. Overigens geven sommige experts aan dat de huidige regels voor deze leemte ook aan de 'onveilige' kant zouden kunnen liggen; in de kosten-batenanalyse is desondanks aangenomen dat de huidige regels conservatief zijn. Er is onderzoek nodig om na te gaan hoe de druk in de bekleding verloopt bij lange golven en dit moet worden verwerkt in de rekenregels.

7. Afschuiving

Afschuiving is het faalmechanisme waarbij de bekleding onder golfaanval afschuift langs een ondiep glijvlak. Voor het toetsen hiervan zijn thans conservatieve methoden beschikbaar. De indruk bestaat dat in een aantal gevallen de methode onnodig conservatief is. Dit is onder andere het geval bij vrij steile taluds (steiler dan 1: 3). Verder is de invloed van de kleilaag nog onvoldoende bekend. De huidige rekenmodellen zijn onvoldoende geverifieerd en zijn voor de praktijk moeilijk toepasbaar. In het nieuwe Technisch Rapport Steenzettingen en de nieuwe LTV komt een ruimer toepasbare regel, maar verwacht wordt dat deze nog steeds zeer conservatief is.

3 STEENZETTINGENAREAAL PER KENNISLEEMTE

3.1 Inleiding

De baten in de kosten-batenanalyse zijn gelijk aan de kosten van de verbeteringswerken die worden voorkomen doordat onderzoek aan een leemte leidt tot zodanige aanscherping van de rekenregels dat de score van steenzettingvlakken wordt verbeterd tot 'goed'. In dit onderzoek wordt daarbij uitgegaan van de Steentoetsbestanden van de dijken langs Westerschelde (inclusief de monding), Oosterschelde, IJsselmeer westoever en IJsselmeer oostoever. Voor Zeeland zijn de Steentoetsbestanden aangeleverd door de beheerders (Waterschap Zeeuws-Vlaanderen en Waterschap Zeeuwse Eilanden). Voor het IJsselmeergebied is gebruik gemaakt van de Steentoetsbestanden uit het project Landelijke Inventarisatie Steenzettingen. De steenzettingen die inmiddels zijn verbeterd (Westerschelde en Noordoostpolder) zijn uit de analyse verwijderd.

Voor de kosten-batenanalyse moet ten eerste voor elk steenzettingenvlak in het Steentoetsbestand worden bepaald welke van de 7 kennisleemtes van belang zijn (identificatie). Vervolgens moet, voor de relevante kennisleemtes, met de Steentoetsbestanden kunnen worden bepaald of de score verandert in 'goed' als de rekenregel door onderzoek wordt aangescherpt (kwantificering).

3.2 Identificatie van de kennisleemtes

Voor de identificatie worden twee typen criteria gebruikt:

- constructieve of hydraulische omstandigheden waarvoor de leemte geldt;
- huidige score op de verschillende sporen.

Ten aanzien van de constructieve of hydraulische omstandigheden is bij veel leemtes in elk geval het toplaagtype van belang: bij leemte 1 moet de toplaag open zijn, dus uit niet-ingegoten zuilen bestaan, terwijl leemte 2 juist alleen relevant is voor ingegoten toplaagtypen. Daarnaast kan het type onderlaag van belang zijn. De leemtes 1, 4, 5 en 6 gelden alleen voor standaard steenzettingen, dus niet voor ingegoten bekledingen en zwerfkeien. Voor leemte 6 is daarnaast de waarde van de brekerparameter ξ_{op} van belang. Bij het bepalen van de identificatiecriteria is rekening gehouden met de praktijk van het invullen van Steentoets; dit betekent bijvoorbeeld dat bij leemte 4 (klemming) geen gebruik wordt gemaakt van de Steentoetskolommen waarin wordt aangegeven of de toplaag is ingewassen of geklemd; in de praktijk zijn deze kolommen vaak niet ingevuld, dus in plaats daarvan wordt deze leemte volledig geïdentificeerd door het toplaagtype.

De huidige scores gelden als identificatiecriteria want een steenzettingenvlak is voor de kosten-batenanalyse alleen van belang als de huidige eindscore niet 'goed' is, maar dat nog wel kan worden. Voor de leemtes 1, 4, 5 en 6 betekent dat dat de score op toplaagstabyliteit niet 'goed' of 'onvoldoende' mag zijn. Voor de leemtes 2 en 3 zijn de huidige rekenregels zodanig conservatief, dat aanscherping van de regels zelfs tot een score 'goed' op toplaagstabyliteit kan leiden als de huidige score 'onvoldoende' is. Voor al deze leemtes is in de analyse aangehouden dat de score op materiaaltransport niet 'onvoldoende' mag zijn, omdat de steenzetting in zo'n geval sowieso verbeterd moet worden. Overigens kan betwijfeld worden of dit terecht is: ten eerste is de invoer in Steentoets op dit punt waarschijnlijk niet zo betrouwbaar en ten tweede betekent een score 'onvoldoende' op materiaaltransport vaak dat er een lokaal probleem is, zodat de score niet voor het hele bekledingsvlak geldt. In theorie zou ook de score voor afschuiving niet 'onvoldoende' mogen zijn, maar het is in Steentoets niet mogelijk om op dat mechanisme een score 'onvoldoende' te halen.

Leemte 7, Afschuiving, is de enige leemte die niet over toplaagstabyliteit gaat; deze is alleen van belang voor vlakken met score 'twijfelachtig' op afschuiving en niet 'onvoldoende' op de andere twee mechanismen. Een uitzondering wordt gevormd door ingegoten bekledingen en Noorse stenen, want zoals besproken wordt het mogelijk geacht dat deze zelfs bij een huidige score 'onvoldoende' nog tot 'goed' kunnen komen.

De identificatiecriteria zijn samengevat in Tabel 3.1.

Nr.	Omschrijving leemte	inhoudelijke criteria	scorecriteria
1	Open toplaag op granulaire laag	toplaag van open betonzuilen of basaltzuilen (toplaagtype 26, 27.1, 27.2, 27.3) open onderlaag (type onderlaag st, my, gr, sl, pu of leeg)	toplaagstabyliteit = 't' materiaaltransport ≠ 'o'
2	Ingegoten steenzettingen	toplaag ingegoten (toplaagtype x.x1, x.x2 of x.x3)	toplaagstabyliteit = 't' of 'o' materiaaltransport ≠ 'o'
3	Noorse stenen	toplaag van Noorse stenen (toplaagtype 28.6 bij Ws Fryslan, 28.5 met opmerking bij overige beheerders)	toplaagstabyliteit = 't' of 'o' materiaaltransport ≠ 'o'
4	Klemming	toplaagtype met klemming (toplaagtype ≠ 28,1; 28,2; 10; 11; 11,1; 11,2; 12; 13; 17 of een ingegoten toplaagtype)	toplaagstabyliteit = 't' materiaaltransport ≠ 'o'
5	Dichtslibben granulaire laag	dichtgeslibde granulaire laag (bovenste filterlaag, slib: ja) toplaag niet ingegoten	toplaagstabyliteit = 't' materiaaltransport ≠ 'o'
6	Lange periode	brekerparameter $\xi_{op} > 2,5$ standaard type steenzetting (toplaagtype niet Noorse stenen of ingegoten toplaag)	toplaagstabyliteit = 't' materiaaltransport ≠ 'o'

Nr.	Omschrijving leemte	inhoudelijke criteria	scorecriteria
7	Afschuiving		afschuiving = 't' toplaagstabieleit ≠ 'o', tenzij toplaag ingegoten of Noorse stenen materiaaltransport ≠ 'o'

Tabel 3.1: Identificatiecriteria

3.3 Resultierend areaal per kennisleemte

Het resulterend areaal per kennisleemte staat in Tabel 3.2.

Nr.	Omschrijving leemte	areaal steenzettingen [m ²]				Totaal
		Wester- schelde incl. monding	Ooster- schelde	IJsselmeer oost	IJsselmeer west	
1	Open toplaag op granulaire laag	66.000	62.000	62.000	0	188.000
2	Ingegoten steenzettingen	321.000	379.000	27.000	2.000	729.000
3	Noorse stenen	0	0	62.000	66.000	128.000
4	Klemming	117.000	142.000	69.000	14.000	342.000
5	Dichtslibben granulaire laag	93.000	104.000	0	0	197.000
6	Lange periode	25.000	13.000	0	0	38.000
7	Afschuiving	163.000	358.000	258.000	16.000	795.000

Tabel 3.2: Areaal per kennisleemte

Veruit de grootste oppervlakken horen bij de leemtes Afschuiving en Ingegoten steenzettingen, veruit de kleinste bij Lange periode. Opvallend is dat een aantal leemtes in bepaalde systemen helemaal niet voorkomen:

- de leemte Noorse stenen is niet relevant voor Zeeland, want daar liggen niet of nauwelijks Noorse stenen;
- dichtslibben granulaire laag speelt alleen in het getijdegebied, dus niet langs het IJsselmeer;
- Lange periode speelt alleen in de buurt van de kust, dus wederom niet langs het IJsselmeer;
- Klemming speelt niet langs de westoever van het IJsselmeer: het blijkt dat bijna alle steenzettingen bestaan uit typen waarvoor dit niet speelt; de bekledingen die wel relevant zijn hebben een score 'goed'.

3.4 Onderlinge verbanden

Vanzelfsprekend is er een overlap tussen de arealen bij de verschillende leemtes: de meeste identificatiecriteria sluiten elkaar niet uit en lijken in sommige gevallen sterk op elkaar. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het bepalen van de baten per kennisleemte, zie Hoofdstuk 5. In Tabel 3.3 is dit voor elke combinatie van twee kennisleemtes weergegeven. Voorbeeld: voor kennisleemte nr. 6, Lange periode, is het areaal 38.000 m² groot; voor 93 % van dit areaal is ook leemte nr. 1, Open toplaag op granulaire laag van belang.

Nr.	Omschrijving leemte	Totaal areaal in m ²	procentuele overlap						
			1	2	3	4	5	6	7
1	Open toplaag op granulaire laag	188.000	x	0%	0%	100%	48%	13%	25%
2	Ingegoten steenzettingen	729.000	0%	x	0%	0%	0%	0%	45%
3	Noorse stenen	128.000	0%	0%	x	0%	0%	0%	9%
4	Klemming	342.000	64%	0%	0%	x	39%	9%	24%
5	Dichtslibben granulaire laag	197.000	74%	0%	0%	94%	x	12%	20%
6	Lange periode	38.000	93%	0%	0%	100%	56%	x	84%
7	Afschuiving	795.000	5%	41%	1%	8%	3%	2%	x

Tabel 3.3: Overlap arealen per kennisleemte

De leemte Afschuiving betreft een apart beoordelingsspoor en kan overlappen met elk van de andere leemtes. De leemtes Ingegoten steenzettingen en Noorse stenen overlappen nooit met elkaar of met de leemtes 1, 4, 5 en 6. De leemtes 1, 4, 5 en 6 betreffen allemaal deelverzamelingen van standaard steenzettingen, en kunnen elkaar allemaal deels overlappen.

4 BENODIGD ONDERZOEK PER KENNISLEEMTE

4.1 Inleiding

Het benodigd onderzoek is van belang voor zowel de kosten als de baten. De kosten per kennisleemte worden veroorzaakt door het benodigde onderzoek. Voor de baten is van belang hoe veel de rekenregels kunnen worden aangescherpt als gevolg van het uit te voeren onderzoek. Na een korte bespreking van de geschiedenis van het steenzettingenonderzoek wordt voor elk van de 7 geselecteerde leemtes besproken welke overwegingen door de experts zijn aangedragen. Tenslotte wordt samengevat van welke onderzoeksprogramma's voor elke kennisleemte is uitgegaan bij de kosten-batenanalyse.

4.2 Geschiedenis van het steenzettingenonderzoek

Toplaaginstabiliteit

Vanaf halverwege de jaren 80 is Deltagootonderzoek uitgevoerd, leidend tot de globale en de analytische methodes voor toplaaginstabiliteit. Het onderzoek werd alleen uitgevoerd met regelmatige golven (omdat de rekencapaciteit tekort schoot om resultaten met onregelmatige golven te kunnen verwerken), en voor het merendeel op rechthoekige blokken (omdat dat bekledingstype vanaf de jaren 60 grootschalig was aangebracht).

Eind jaren 80 en begin jaren 90 onstond het bewustzijn dat klei onder blokken kan eroderen, met uiteindelijk de huidige grootschalige verbeteringswerken tot gevolg. In de periode 1992 – 1997 is weinig Deltagootonderzoek verricht, maar is wel onderzoek verricht naar specifieke aspecten als doorlatendheid, inzanding / inslibbing en bermen.

Vanaf 1997 zijn weer Deltagootproeven uitgevoerd. Vanaf dat moment zijn de proeven uitgevoerd met onregelmatige golven. Er zijn verschillende zuiltypen onderzocht (vooral in opdracht van fabrikanten), en blokken met afstandhouders. Hierbij ontstond onder meer het inzicht dat voor bekledingen met kleine leklengte de ANAMOS-regels niet opgaan, zodat een extra criterium (6ksi-regel) aan de methode moest worden toegevoegd. Het onderzoek is sterk ingeperkt in 1998, vanuit het idee dat de kosten niet opwegen tegen de baten. Recent onderzoek is ook gericht op typische toetsingsvraagstukken: ingegoten bekledingen, havendammen.

Door experts wordt geconstateerd dat er een cyclus van ongeveer 5 jaar kan worden onderscheiden: er wordt Deltagootonderzoek verricht; daaruit komt een grote hoeveelheid data waarvan de verwerking enige tijd kost; deze bureaustudies leiden tot nieuwe vragen; voor de beantwoording van die nieuwe vragen wordt modelonderzoek voorbereid; en vervolgens wordt weer Deltagootonderzoek verricht.

Afschuiving

In de jaren 80 is voor dit onderwerp bureaustudie verricht naar steenzettingen direct op zand. Hierop zijn de vigerende rekenregels (ook voor bekledingen op klei) nog steeds gebaseerd. Op basis van recentere bureaustudies wordt gewerkt aan aanscherping en specificering van deze regels.

Materiaaltransport

In de jaren 80 zijn ontwerpregels ontwikkeld voor geometrisch open / hydraulisch dichte filters (zowel granulair als geokunststof op klei). Dit probleem is opgelost door groot opgezet, fundamenteel onderzoek.

Reststerkte

Op basis van modelonderzoek in de periode 1992 – 1997 zijn hiervoor de globale, conservatieve rekenregels opgesteld die op dit moment vigerend zijn. Voor de reststerkte van klei is de Deltagoot gebruikt, voor de toplaag+granulaire laag zijn kleinschalige proeven gedaan.

4.3 Bespreking per leemte

In aanvulling op het zevental kennisleemtes uit § 2.4 is de onderzoeksbehoefte ook bepaald voor enkele andere kennisleemtes die de experts belangrijk vonden. Daarvoor wordt verwezen naar de verslagen in Bijlage 2.

Voor de verschillende kennisleemtes worden het benodigde onderzoek en de geschatte daarmee verbonden kosten en aanscherping op een rij gezet. De geïnterviewden zijn het niet altijd eens over het onderzoekspad, en ook niet over de aanscherping. Waar dit geval is hebben wij een keuze gemaakt op basis van de gevoerde argumentatie.

1. Open toplaag op granulaire laag

De meeste experts vinden dat verdergaand onderzoek zich moet richten op het modelleren van golfklapbelasting op en onder de bekleding. In de huidige rekenregels wordt dit mechanisme afgedekt door een grove globale toepassingsgrens; meer kennis over het mechanisme kan zorgen voor scherpere regels. Voorgesteld wordt dit te doen met door-ontwikkeling van het model ZSteen. Daartoe zijn nodig nauwkeurige drukmeetproeven en bureaustudie. Vervolgens is het wenselijk dat de resultaten van de numerieke modellering geverifieerd worden met grootschalige belastingproeven in de Deltagoot. De kosten voor doorontwikkeling van ZSteen kunnen niet alleen worden toegerekend aan deze kennisleemte; aangenomen is dat één jaar van die ontwikkeling ten behoeve van deze leemte wordt uitgevoerd. Overigens geven andere experts het signaal dat het gevaarlijk is om het onderzoek te veel op het golfklapmechanisme te richten, vanwege het risico dat vervolgens een ander nog onbekend mechanisme maatgevend blijkt te worden; vanuit dat gezichtspunt moet de nadruk meer op modelproeven liggen en minder op bureaustudie en numeriek modelleren.

Kosten:

- € 150.000 voor ontwikkeling van ZSteen
- € 300.000 voor Deltagoot-proeven

Doorlooptijd:

- 1 jaar voor ontwikkeling ZSteen
- ½ jaar voor Deltagoot-proeven

Baten:

De meningen lopen hieromtrent uiteen. Men is unaniem over het feit dat het onderzoek duidelijkheid en inzicht moet verschaffen. Feitelijke winst in de zin dat bekledingen verklaarbaar sterker worden is onzeker. Uitgegaan wordt van 10%.

2. Ingegoten steenzettingen

Ingegoten steenzettingen moeten worden onderzocht met enkele grootschalige praktijkproeven waarbij het doel is om de drukopbouw onder de bekleding onder diverse condities vast te stellen. Het is onzeker of de golfbelasting in praktijkproeven vastgesteld kan worden. Er wordt dan ook aanvullend Deltagoot onderzoek bepleit. Overigens geven andere experts aan dat dit type steenzettingen nauwelijks na te bouwen is voor modelproeven. Volgens de meeste experts kan worden volstaan met 3 proeven, andere vinden dat orde 10 proeven nodig zijn, met daarbij ook bekledingstypen die nog niet beproefd zijn.

Kosten:

- € 100.000 voor de praktijkproeven
- € 300.000 voor Deltagoot-proeven

Doorlooptijd:

- 1½ jaar voor praktijkproeven
- ½ jaar voor Deltagoot-proeven

Baten:

Men is vrijwel unaniem over het feit dat hier winst te behalen moet zijn. Niet alle respondenten koppelen de mogelijkheid van de te behalen winst aan het genoemde onderzoekspad maar noemen dit meer in het algemeen voor dit type bekleding. Een procentuele winst kan niet worden ingeschat: de experts verwachten dat de helft van de ingegoten bekledingen die volgens de huidige regels niet 'goed' zijn, door de nieuwe kennis wel 'goed' worden.

3. Noorse steen

De leemte is vooral dat onbekend is hoe doorlatendheid en interactie voor dit bekledingstype zich verhouden tot standaard-steenzettingen. Ten eerste is daarom literatuuronderzoek en bureaustudie nodig om deze verhoudingen te onderzoeken. Voor verificatie daarvan volstaan kleinschalige proeven. Overigens geven sommige experts aan dat de specifieke eigenschappen van dit oude type steenzettingen niet goed fysiek te modelleren zijn, en al helemaal niet kleinschalig. Wellicht kan bewezen sterkte juist voor dit bekledingstype een rol spelen.

Kosten:

- € 25.000 voor literatuuronderzoek en bureaustudie
- € 50.000 voor Scheldegoot-proeven

Doorlooptijd:

- ½ jaar voor literatuuronderzoek en bureaustudie
- ½ jaar voor Scheldegoot-proeven

Baten:

De aanscherping kan niet goed in percentages worden gekwantificeerd. Sowieso vinden de experts het moeilijk om hiervoor inschattingen te doen. We gaan daarom uit van een grenswaarde voor de factor F van 5,5: Noorse stenen hebben zeker een ongunstiger opbouw dan standaard-steenzettingen (minder interactie), en daarvoor geldt een grens van F=6.

4. Klemming

Opvallend is dat een aantal mensen voornamelijk bureaustudie naar de theorie en de mechanismen aanbeveelt en dat anderen het vervolgen en uitbouwen van de testmethode met trekproeven aanbevelen. Deze zouden dan uitgebreid kunnen worden naar trekproeven op steengroepen en ondersteund kunnen worden met numerieke simulaties van de trekproeven. Een belangrijk aspect van het onderzoek moet zijn, hoe kan worden omgegaan met de aanwezigheid van het enkele losse toplaagelement. Aangegeven wordt, dat geavanceerde inbreng juist voor dat aspect een belangrijke rol zal moeten blijven spelen in de toetsing. Deltagootonderzoek wordt door sommigen aanbevolen, maar anderen stellen dat dat niet zinnig is vanwege het belang van het losse toplaagelement.

Kosten:

- € 150.000 voor bureaustudies gedurende een aantal jaren
- € 100.000 voor trekproefonderzoek

Doorlooptijd:

- 2 jaar voor bureaustudies
- 1 jaar voor gerichte trekproeven

Baten:

Inklemfactoren variërende per type bekleding van 1,2 tot 1,8. Sommigen noemen hogere factoren. In de analyse gaan we uit van een aanscherpingsfactor van 15%.

5. Inzanding / inslibbing granulaire laag

Doel van het onderzoek moet zijn verificatie van de hypothese dat inzanding niet uitspoelt. Als er zekerheid is over de aanwezigheid van inzandingsmateriaal, kan er vervolgens een grotere sterkte aangetoond worden. Het onderzoek kan bestaan uit het uitvoeren van kijkproeven, bureaustudies en kleinschalige verificatieproeven. Vervolgens is een grootschalige verificatie nodig met maatgevende golfcondities in de Deltagoot.

Kosten:

- €200.000 voor kijkproeven, bureaustudies en kleinschalige verificaties
- €300.000 voor verificatie met Deltagoot-proeven

Doorlooptijd:

- 2 jaar voor kijkproeven, bureaustudies en verificaties
- ½ jaar voor Deltagoot-proeven

Baten:

Een aantal geïnterviewden noemt ca. 10% winst op de sterkte van de bekledingen, maar anderen twijfelen daaraan. We gaan uit van 5%.

6. Lange periode

Deze leemte betreft puur de belastingkant van de rekenregels, dus voor het onderzoek volstaan in eerste instantie kleinschalige modelproeven. Ter verificatie wordt wel grootschalig Deltagootonderzoek aanbevolen.

Kosten:

- € 100.000 voor kleinschalige proeven (Scheldegoot)

- € 300.000 voor verificatie met Deltagoot-proeven

Doorlooptijd:

- 1½ jaar voor voor kleinschalige proeven
- ½ jaar voor Deltagoot-proeven

Baten:

Het is duidelijk dat op deze leemte winst te behalen valt, zeker in het licht van de verwachting dat op termijn zwaardere golfrandvoorwaarden met langere periodes zullen worden vastgesteld. Er wordt een aanscherping met 20 % ingeschat.

7. Afschuiving

Omtrent afschuiving is de heersende opinie dat dit zelden een maatgevend mechanisme is. Het is echter uitermate onbevredigend om het te laten bij deze vaststelling en er voor een aantal categorieën en onder een aantal voorwaarden niet meer op te toetsen. Dit gebeurt in de laatstelijk aangepaste toetsmethode en zou volgens enkele geïnterviewden nog rigoreuzer kunnen. Onderzoek in de vorm van bureaustudie wordt aanbevolen. Het plan hiervoor is al ingediend.

Kosten: € 75.000

Doorlooptijd: 1 jaar

Baten:

De eerste winst wordt veroorzaakt door de inmiddels vastgestelde verruiming van de toepasbaarheidsgrenzen. Ten opzichte daarvan wordt nog veel aanscherping verwacht; we gaan uit van 25 %.

4.4

Samenvatting

In Tabel 4.1 is het benodigde onderzoek per kennisleemte samengevat.

Nr.	Naam leemte	Benodigd onderzoek	Kosten [€]	Doorlooptijd [jaren]	Aanscherping
1	Open toplaag op granulaire laag	1. Implementatie golfklap in ZSteen 2. Verificatie met Deltagootproeven	150.000+ 300.000* = 450.000	1+ ½ = 1½ jaar	10%
2	Ingegoten steenzettingen	1. 2 à 3 prototypeproeven 2. Bureaustudie 3. Verificatie met Deltagootproeven	75.000 25.000 300.000* = 400.000	1 + ½ + ½ = 2 jaar	50% van areaal wordt 'goed'
3	Noorse stenen	1. literatuuronderzoek + bureaustudie 2. Scheldegootonderzoek	25.000 50.000 = 75.000	½+ ½ = 1 jaar	F=5,5
4	Klemming	1. bureaustudie 2. gerichte trekproeven	150.000 100.000 =250.000	2 + 1 = 3 jaar	15%
5	Inzanding / inslibbing granulaire laag	1. Onderzoek op de dijk na storm 2. Bureaustudie 3. Verificatie op kleine schaal	50.000 50.000 100.000	1+ ½+ ½+	5%

Nr.	Naam leemte	Benodigd onderzoek	Kosten [€]	Doorlooptijd [jaren]	Aanscherping
		4. Verificatie met Deltagootproeven	300.000 [*] =500.000	½ = 2½ jaar	
6	Lange periode	1. Scheldegootproeven + bureaustudie 2. Verificatie met Deltagootproeven	100.000+ 300.000 [*] =400.000	1½ + ½ = 2 jaar	20%
7	Afschuiving	Bureaustudie	75.000	1 jaar	25%

Tabel 4.1: Benodigd onderzoek per kennisleemte

Het bedrag van € 300.000 is steeds gemarkeerd: in de tabel is daarvoor uitgegaan van de aanname dat alleen de betreffende kennisleemte wordt onderzocht. Als verschillende onderzoeken worden gecombineerd kan veel efficiënter worden gewerkt: onderzoek aan elke volgende leemte kost niet € 300.000 maar € 100.000. Hiermee kan rekening worden gehouden bij het opstellen van scenario's. De doorlooptijd van de Deltagootproeven mag in zo'n geval met de helft worden gereduceerd. Uitgaand van beperking van het onderzoek tot de Nederlandse faciliteiten is grootschalig modelonderzoek alleen mogelijk in de Deltagoot; daarvan is er slechts één, dus kan op één moment slechts één grootschalig modelonderzoek lopen.

Uit de interviews blijkt duidelijk dat de meningen over het benodigde onderzoek in veel gevallen uiteen lopen. De bedragen die voor de kosten-batenanalyse worden gebruikt en ook de aanscherpingspercentages zijn grofweg een gemiddelde, maar de spreiding kan oplopen tot 100 %. Op basis daarvan wordt nadrukkelijk aanbevolen om een iets diepergaande analyse uit te voeren van het benodigde onderzoek per kennisleemte, bijvoorbeeld in de vorm van een workshop met de geïnterviewde specialisten. Deze aanbeveling is ook expliciet gedaan door geïnterviewden.

5 KOSTEN-BATENANALYSE

5.1 Inleiding

Voor de bepaling van de baten moet in de Steentoetsbestanden kunnen worden berekend welke vlakken bij een gegeven aanscherping naar een score 'goed' springen; deze kwantificering wordt in § 5.2 besproken. Het blijkt dat voor sommige delen van het areaal zoals bepaald in Hoofdstuk 3, in de Steentoetsbestanden gegevens ontbreken, zodat kwantificering niet mogelijk is. De rekenwaarden van het areaal worden daarom behandeld in § 5.3. In § 5.4 staan de baten in Euro's zoals berekend met de analyse, en deze baten worden in § 5.5 vergeleken met de kosten. Vervolgens wordt behandeld hoe met prioritering en scenario's kan worden omgegaan. Tenslotte worden de aannamen en gevoeligheden van de kosten-batenanalyse expliciet gemaakt.

5.2 Kwantificering van de aanscherping

De meeste kennisleemtes hebben te maken met het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. Voor de kwantificering is van belang in welke mate een bepaald vak onder de 'goed'-lijn ligt. Hiervoor bestaan in Steentoets verschillende mogelijkheden, elk met hun voor- en nadelen:

- de g/t-factor na eenvoudige toetsing; voordeel is dat deze factor consistent voor elk Steentoetsvakje wordt gegeven, nadeel is dat de factor zeer conservatief is, maar niet even conservatief voor elke toetsing. Om die reden is besloten om deze factor niet te gebruiken.
- de g/t-factor na gedetailleerde toetsing; deze staat in de praktijk alleen bij blokken, omdat een score 'twijfelachtig' bij zuilen bijna altijd door de zogenaamde $6\xi^{-2/3}$ -lijn wordt veroorzaakt; voor blokken is de g/t-factor wél bruikbaar; voor zuilen zou de nu verborgen g/t-factor kunnen worden gedistilleerd, maar die kan niet zomaar hetzelfde worden gebruikt als de g/t-factor van blokken;
- de F-factor; deze staat in de praktijk alleen bij zuilen.

Na overleg met experts wordt voorgesteld om voor standaard-steenzettingen alleen de resultaten van de gedetailleerde toetsing te gebruiken. Dit leidt tot de volgende werkwijze:

- Als in Steentoets een g/t-factor na gedetailleerde toetsing staat, wordt die gebruikt (dit is meestal bij blokken). De g/t-factor wordt gedeeld door $(1 + \text{de procentuele aanscherping van de regels})$, de score verandert in 'goed' als de g/t-factor onder 1,0 komt.
- Als er geen g/t-factor na gedetailleerde toetsing is (meestal bij zuilen), wordt de F-factor gebruikt. De factor wordt gedeeld door $1 + \text{de procentuele aanscherping}$, de score verandert in 'goed' als de F-factor onder 6,0 komt.
- Als in de Steentoetsbestanden geen gedetailleerde toetsing staat, worden de betreffende vakken uitgesloten van de analyse.

Overigens: in de Workshop is een alternatieve methode van kwantificering gebruikt, namelijk met behulp van het 'sterktetekort': de aanwezige toplaagdikte gedeeld door de toplaagdikte die nodig is om volgens Steentoets een score 'goed' te krijgen.

Bij ingegoten bekledingen en bij Noorse stenen is de relatie met de Steentoetsregels niet zo duidelijk: verwacht wordt dat het onderzoek naar de betreffende kennisleemtes leidt tot nieuwe rekenregels zonder directe relatie met Steentoets. Voor leemte 2 (ingegoten bekledingen) is de onzekerheid over de rekenregels zo groot, dat de experts de mogelijke aanscherping alleen maar konden inschatten als een percentage van de oppervlakte dat naar 'goed' zou kunnen springen; de kwantificering voor leemte 2 is daarop gebaseerd. Voor leemte 3 (Noorse stenen) bestaat de kwantificering uit het selecteren van de vakken met een hogere of lagere F-factor dan een in te vullen grenswaarde.

Voor Afschuiving ligt het moeilijker, omdat daarvoor in Steentoets geen g/t-factor wordt gegeven. Kwantificering is dan alleen mogelijk door de rekenregels zelf in het criterium te verwerken (maar dat kan ook omdat de regels veel minder ingewikkeld zijn dan voor topaaginstabiliteit). Een bijkomend aspect voor deze leemte is, dat er inmiddels nieuwe regels zijn vastgesteld; de essentie van die vernieuwing is dat de bestaande regels bij een grotere range van taludhellingen kunnen worden gebruikt. De kwantificering vindt voor deze leemte daarom plaats in twee stappen. Zoals in § 3.2 besproken is het identificatiecriterium dat de score volgens Steentoets 'twijfelachtig' is (en dat de bekleding niet vanwege de andere mechanismen sowieso moet worden verbeterd). Als eerste stap wordt berekend welk areaal naar 'goed' springt door verruiming van de toepasbaarheid. Voor het resterende areaal wordt het verbeteringspercentage als volgt doorgevoerd: de topaagdikte wordt in het spreadsheet verhoogd met het percentage en vervolgens wordt de nieuwe rekenregel toegepast.

Nr.	Omschrijving leemte	Kwantificering
1	Open topaag op granulaire laag	geldt alleen voor zuilen, dus: verkleining van F-factor met opgegeven percentage, $F < 6$ is 'goed'
2	Ingegoten steenzettingen	'helft van de oppervlakte'
3	Noorse stenen	kwantificering met benodigde F-factor, $F < 5$ is goed (?)
4	Klemming	indien klemfactor: < 1 is goed indien geen klemfactor: $F < 6$ is goed
5	Dichtslibben granulaire laag	indien klemfactor: < 1 is goed indien geen klemfactor: $F < 6$ is goed
6	Lange periode	indien klemfactor: < 1 is goed indien geen klemfactor: $F < 6$ is goed
7	Afschuiving	winst door nieuwe, al geaccepteerde regel apart gekwantificeerd winst door toekomstig onderzoek: dikte verhoogd met verbeteringspercentage, daarna rekenregel toepassen

Tabel 5.1: Kwantificering van de aanscherping

5.3 Rekenwaarde voor areaal per kennisleemte

Uit de Steentoetsanalyse blijkt dat er steenzettingenvlakken zijn die wel worden geïdentificeerd voor bepaalde leemtes, maar waarvoor kwantificering van de aanscherping niet mogelijk is omdat de benodigde gegevens ontbreken in de Steentoetsbestanden. Het betreft met name gevallen waarvoor in Steentoets geen gedetailleerde toetsing is uitgevoerd. Deze gevallen worden niet meegenomen in de kosten-batenanalyse; dit is een conservatieve benadering omdat de baten worden onderschat. In onderstaande Tabel 5.2 staat het areaal per leemte per watersysteem waarvoor de aanscherping kan worden gekwantificeerd. In de laatste kolom staat per leemte met hoeveel procent van het inhoudelijk relevante areaal de kosten-batenanalyse zal worden uitgevoerd.

Nr.	Omschrijving leemte	areaal steenzettingen [m ²]				Totaal	Percentage van areaal in Tabel 3.2
		Wester-schelde incl. monding	Ooster-schelde	IJsselmeer oost	IJsselmeer west		
1	Open toplaag op granulaire laag	54.000	48.000	62.000	0	164.000	87
2	Ingegoten steenzettingen	321.000	379.000	27.000	2.000	729.000	100
3	Noorse stenen	0	0	62.000	66.000	128.000	100
4	Klemming	86.000	109.000	62.000	0	257.000	75
5	Dichtslibben granulaire laag	64.000	43.000	0	0	107.000	54
6	Lange periode	18.000	4.000	0	0	22.000	61
7	Afschuiving	163.000	358.000	258.000	16.000	795.000	100

Tabel 5.2: Rekenwaarde areaal per kennisleemte

5.4 Berekening van de baten

De baten per leemte worden bepaald door het areaal aan steenzettingen dat volgens de kwantificeringsregels uit § 5.2 naar 'goed' springt als gevolg van de aanscherping van de rekenregels zoals besproken in § 4.3. De berekende oppervlakten zijn weergegeven in Tabel 5.3.

Nr.	Omschrijving leemte	areaal steenzettingen [m ²]				Totaal
		Wester-schelde incl. monding	Ooster-schelde	IJsselmeer oost	IJsselmeer west	
1	Open toplaag op granulaire laag	29.000	34.000	55.000	0	118.000
2	Ingegoten steenzettingen	161.000	190.000	13.000	1.000	365.000
3	Noorse stenen	0	0	0	66.000	66.000
4	Klemming	36.000	40.000	58.000	0	134.000
5	Dichtslibben granulaire laag	41.000	27.000	0	0	68.000
6	Lange periode	3.000	2.000	0	0	5.000
7	Afschuiving	16.000	38.000	0	2.000	56.000

Tabel 5.3: Berekend areaal per leemte dat door onderzoek 'goed' wordt

Ten aanzien van de leemte Afschuiving wordt opgemerkt dat ongeveer 60 % van het berekende areaal al 'goed' wordt door de al geaccepteerde verruiming van de rekenregels.

Voor de berekening van de baten wordt binnen deze vereenvoudigde benadering uitgegaan van een vaste eenheidsprijs voor verbeteringswerken voor steenzettingen van € 175 / m².

Nr.	Omschrijving leemte	Baten [M€]
1	Open toplaag op granulaire laag	20,5
2	Ingegoten steenzettingen	63,8
3	Noorse stenen	11,6
4	Klemming	23,6
5	Dichtslibben granulaire laag	11,8
6	Lange periode	0,9
7	Afschuiving	9,7

Tabel 5.4: Berekende baten per kennisleemte

Aan de getallen in deze tabel liggen twee belangrijke vereenvoudigingen ten grondslag:

- Verschillende steenzettingenvlakken zitten voor meer dan één leemte in de analyse en worden dus wellicht als baten meegenomen bij meerdere leemtes. Als een vlak door onderzoek aan één leemte al naar 'goed' springt, zouden de baten in werkelijkheid niet ten goede kunnen komen aan een andere leemte. Aan de andere kant zal het totale aanscherpingspercentage na onderzoek op meerdere leemtes naar verwachting groter zijn, waardoor aanvullende vlakken naar 'goed' zullen springen. Ingeschat wordt dat de totale baten (t.a.v. toetsing en binnen het projectgebied) per saldo lager zijn dan in de tabel staat.

- Leemte 1 tot en met 6 betreffen het toetspootoplaaginstabiliteit, alleen leemte 7 betreft het toetspootafschuiving. Een steenzetting hoeft alleen niet te worden verbeterd als de score op beide sporen 'goed' is.
- Zie § 5.7 voor een bespreking van de aannamen en gevoeligheden.

5.5 Kosten versus baten

De ingeschatte kosten en de berekende baten zijn in afgeronde vorm opgenomen in Tabel 5.4

Nr.	Omschrijving leemte	Kosten [M€]	Baten [M€]	Baten – kosten [M€]	Factor baten / kosten
1	Open toplaag op granulaire laag	0,45	20,5	20,0	45
2	Ingegoten steenzettingen	0,4	63,8	63,4	160
3	Noorse stenen	0,075	11,6	11,5	155
4	Klemming	0,25	23,6	23,4	95
5	Dichtslibben granulaire laag	0,5	11,8	11,3	24
6	Lange periode	0,4	0,9	0,5	2,2
7	Afschuiving	0,075	9,7	9,6	129

Tabel 5.5: Kosten en baten per kennisleemte

Het is duidelijk dat voor de meeste leemtes de kosten in geen enkele verhouding staan tot de baten. Het absolute en relatieve verschil tussen de kosten en de baten zijn weergegeven in de laatste twee kolommen. Op grond van de tabel kan direct worden geconcludeerd dat onderzoek voor alle leemtes behalve Lange periode de moeite waard is, rekening houdend met de beperkingen en uitgangspunten van de analyse.

Voor de leemte Lange periode geldt bij uitstek dat het beperkte projectgebied leidt tot een onderschatting van de baten: deze leemte speelt vooral bij bekledingen die direct aan open zee liggen. Dit is het geval voor een groot deel van de Nederlandse steenzettingen die juist niet zijn meegenomen in dit onderzoek. Ook binnen het onderzoek is een groot deel van het inhoudelijk relevante areaal niet meegerekend wegens gebrek aan gegevens.

5.6 Prioritering en scenario's

Bij het bepalen van een prioritering speelt de verhouding tussen kosten en baten alleen in zoverre een rol, dat deze verhouding bepaalt of het onderzoek überhaupt de moeite loont. In § 5.5 is geconcludeerd dat dit het geval is voor elk van de 7 onderzochte leemtes.

Voor de prioritering zijn andere aspecten van groter belang:

- efficiënte inzet van onderzoeksmiddelen (zoals de Deltagoot);
- afstemming op de voortgang van de verbeteringswerken;
- zo snel mogelijk verkrijgen van duidelijkheid over grote arealen.

Afstemming op de voortgang van de verbeteringswerken is belangrijk om de volgende reden: Projectbureau Zeeweringen en Bouwbureau Dijkversterking zijn twee grote, ingewerkte projectorganisaties die al enkele jaren bezig zijn met de voorbereiding en uitvoering van de verbeteringswerken. Het zou zeer inefficiënt en ongewenst zijn om deze organisaties voor enkele jaren te moeten ontbinden en daarna weer op te moeten zetten. Het is dus gewenst om het onderzoeksprogramma zodanig op te zetten dat er op tijd zekerheid ontstaat over steenzettingen die verbeterd moeten worden. Ten aanzien van de voortgang van de verbeteringswerken is in de Workshop (zie bijlage 3) al het volgende vastgesteld: op dit moment zijn er in Zeeland nog zoveel steenzettingen die zeker 'onvoldoende' scoren, dat de verbeteringswerken minimaal orde 5 jaar vooruit kunnen (er van uitgaande dat een begin wordt gemaakt met de verbeteringswerken langs de Oosterschelde). Vergeleken daarmee is de benodigde doorlooptijd van het onderzoek klein. Verwacht wordt dat de uitvoering niet in het gedrang komt als het onderzoeksprogramma verstandig wordt opgezet.

Binnen de uitgangspunten van de workshop zijn scenario's opgesteld voor een onderzoeksprogramma. Binnen deze uitgangspunten bleek het niet nodig om zorgvuldig uit te zoeken welke leemtes het eerst moesten worden opgelost om de uitvoering door te laten gaan, omdat de doorlooptijd van het onderzoek veel kleiner is dan tijd die nog nodig is om zeker 'onvoldoende' vakken te verbeteren. Vervolgens is vastgesteld dat het verstandig is om te beginnen met de leemtes die relevant zijn voor grote arealen (want voor elke leemte op zich zijn de baten groter dan de kosten). In de case van de Oosterschelde betrof dat vooral de leemtes Afschuiving en Dichtslibben granulaire laag. Vervolgens, afhankelijk van de beschikbare onderzoekscapaciteit, zouden de leemtes Ingegoten steenzettingen en Klemming aangepakt moeten worden. Nogmaals wordt benadrukt dat deze keuzes gemaakt zijn binnen de uitgangspunten van de workshop, en niet algemeen toepasbaar zijn.

Aanbevolen wordt om, op basis van een nauwkeuriger inschatting van het benodigde onderzoek, een aantal scenario's op te stellen en uit te werken, met behulp van de spreadsheets die binnen deze kosten-batenanalyse ontwikkeld zijn. Op basis daarvan kunnen beslissingen worden genomen over prioritering.

Bij het uitwerken van deze scenario's moeten nadrukkelijk ook de leemtes worden betrokken die wellicht 'aan de onveilige kant liggen': basaltzuilen en scheve golfval. Zoals eerder genoemd zijn deze 'ongunstige onzekerheden' alleen acceptabel in combinatie met de 'gunstige onzekerheden' van de leemtes die wel in deze kosten-batenanalyse zijn meegenomen.

5.7 Aannamen en gevoeligheden

De methode van de uitgevoerde kosten-batenanalyse is gebaseerd op een aantal aannamen en vereenvoudigingen. In deze paragraaf wordt nagegaan in hoeverre de resultaten van de analyse daardoor worden beïnvloed.

Selectie van kennisleemtes (Hoofdstuk 2)

- Er zijn in werkelijkheid meer leemtes; de keuze van de te analyseren leemtes is gebaseerd op relevantie en op bruikbaarheid voor de analyse. Het is mogelijk dat er andere leemtes zijn waarvan de verhouding tussen kosten en baten nog gunstiger is dan van de geanalyseerde leemtes. Deze vereenvoudiging heeft niet direct invloed op de kosten en baten per leemte, maar wel op de prioritering van de leemtes.

- Verder, zoals eerder opgemerkt, zijn leemtes 'aan de onveilige kant' niet geanalyseerd, maar des te belangrijker. Het is mogelijk dat de baten hierdoor worden overschat: er kunnen vlakken zijn die aan een leemte zijn toegekend omdat de verwachte aanscherping volstaat om op een score 'goed' te komen, maar die niet op 'goed' zouden komen als ook rekening werd gehouden met leemtes 'aan de onveilige kant'.

Steenzettingenareaal per kennisleemte (Hoofdstuk 3)

- Buiten het projectgebied is nog een groot areaal aan steenzettingen aanwezig. Daarmee is geen rekening gehouden bij het bepalen van de baten (de werkelijke baten van het onderzoek zijn dus groter), maar voor de kosten van het onderzoek is deze vereenvoudiging niet of nauwelijks van belang. De berekende verhouding van kosten en baten is vanwege deze vereenvoudiging dus ongunstiger dan in werkelijkheid.
- De analyse is gebaseerd op de beschikbare Steentoetsgegevens; deze zijn door verschillende personen op verschillende wijzen ingevoerd, waardoor de resultaten onzeker zijn. De belangrijkste onzekerheid in dit opzicht wordt gevormd door een aantal kwalitatieve gegevens die in Steentoets moeten worden ingevoerd, zoals de vraag of zich holle ruimtes onder de bekleding bevinden. Dit is erg arbitrair, maar wel zeer bepalend voor het toetsresultaat op het spoor materiaaltransport, en dat toetsresultaat speelt een rol in de identificatie van het areaal per leemte. In de analyse is dit aspect conservatief meegenomen (een vlak is niet in de analyse verwerkt als de score op materiaaltransport 'onvoldoende' is). Vanzelfsprekend is er daarnaast een algemene onzekerheid ten aanzien van de ingevulde parameterwaarden in Steentoets.

Benodigd onderzoek per kennisleemte (Hoofdstuk 4)

- Er zijn onzekerheden in het benodigde onderzoek; zoals al opgemerkt in § 4.4 lopen de meningen van de experts over het benodigde onderzoek én over de haalbare aanscherping uiteen; in de kosten-batenanalyse is gewerkt met een gemiddelde, maar de spreiding loopt bij sommige leemtes op tot 50 %. De kosten zouden in werkelijkheid dus een factor 1½ hoger kunnen zijn en de aanscherping een factor 1½ kleiner. Als de aanscherping een factor 1½ kleiner is, zijn de baten overigens niet direct een factor 1½ kleiner, want dat is afhankelijk van het sterktekort. De verhouding tussen kosten en baten zou door deze onzekerheid grofweg een factor 3 ongunstiger kunnen zijn dan aangegeven in de laatste kolom van Tabel 5.5; ook dan nog is de verhouding tussen kosten en baten voor de meeste leemtes ruimschoots positief.
- Voor alle relevante leemtes is een bedrag van € 300.000 in rekening gebracht voor Deltagootonderzoek. In werkelijkheid ligt het voor de hand om een uitgekiend onderzoeksprogramma op te stellen waarbij efficiënter wordt omgegaan met dit onderzoek. Zoals opgemerkt in § 4.4 kan op die manier het bedrag per kennisleemte afnemen tot € 100.000.

Kosten-batenanalyse (Hoofdstuk 5)

- De kwantificering van de aanscherping is gebaseerd op de Steentoetsinformatie; ook hiervoor is de onzekerheid van de parameterwaarden van belang.
- De methode van kwantificering brengt onzekerheden met zich mee; voor een deel van de leemtes (vooral ingegoten steenzettingen en Noorse stenen) kan met de huidige stand van de kennis nog geen helder criterium worden gesteld omdat de

uiteindelijke methode te zeer zal afwijken van Steentoets. Voor deze leemtes kan dit een belangrijke onzekerheid zijn.

- Voor een deel van het relevante areaal kan de aanscherping niet worden gekwantificeerd omdat daarvoor Steentoetsgegevens ontbreken. Een deel van dit areaal zal naar verwachting ook baten genereren; in de huidige analyse zijn deze baten verwaarloosd. Voor de leemtes Open toplaag op granulaire laag, Klemming, Dichtslibben granulaire laag en Lange periode zijn de werkelijke baten hierdoor groter dan berekend.
- De kosten-batenanalyse is uitgevoerd voor elke leemte afzonderlijk. In werkelijkheid is er op twee manieren verband tussen de leemtes:
 - Ten eerste moet de score op alle faalmechanismen 'goed' zijn om verbeteringswerken te voorkómen. Er zijn dus vlakken waarvoor in werkelijkheid zowel de leemte Afschuiving als één van de leemtes t.a.v. toplaaginstabiliteit moeten worden ingevuld om baten op te leveren. Door deze vereenvoudiging zijn bepaalde baten onterecht dubbel geteld. Uit Tabel 3.3 kan worden afgeleid dat de overlap tussen de toplaaginstabiliteit-leemtes en Afschuiving varieert tussen 9 en 84 %. Voor de leemte Noorse stenen is de overlap slechts 9 %, voor de leemte Lange periode is de overlap 84 %.
 - Ten tweede zijn er vlakken waarvoor meerdere leemtes t.a.v. toplaaginstabiliteit gelden. Dit geldt vooral voor de leemtes Open toplaag op granulaire laag, Klemming, Dichtslibben granulaire laag en Lange periode. Bijvoorbeeld: voor het gehele areaal van de leemtes Open toplaag op granulaire laag en Lange periode is ook de leemte Klemming van belang. Als wordt besloten om meer dan één van deze leemtes te onderzoeken, kunnen de baten vanuit de betreffende vlakken natuurlijk slechts één keer worden meegeteld. Anderzijds wordt er bij zo'n combinatie per saldo een grotere aanscherping verwacht, waardoor meerdere vlakken tot een score 'goed' zullen kunnen komen. Ingeschat wordt dat de totale baten per saldo door deze vereenvoudiging enigszins worden overschat.
- Bij de berekening van de baten is geen rekening gehouden met de uitvoeringstechnische praktijk dat bekledingen die boven een te vervangen vlak liggen, onafhankelijk van hun eigen score vaak ook worden vervangen. Deze vereenvoudiging werkt twee kanten op: voor sommige vlakken hoog op het talud zijn wellicht onterecht baten berekend (want door 'onvoldoende' lageregelegen vlakken moeten ze toch worden verbeterd), maar voor sommige vlakken laag op het talud zijn de werkelijke baten groter dan berekend omdat in werkelijkheid een hoger gelegen 'goede' bekleding ook zou moeten worden vervangen.
- In de kosten-batenanalyse is uitgegaan van een vast bedrag van € 175 per m². Dit bedrag is gebaseerd op de gemiddelde aanneemsom voor de grootschalige verbeteringswerken langs de Westerschelde die binnen Project Zeeweringen zijn uitgevoerd. Algemene toepassing van die eenheidsprijs is in verschillende opzichten een vereenvoudiging: de werkelijke prijs hangt vanzelfsprekend sterk af van allerlei omstandigheden. Specifiek voor de kennisleemte Noorse stenen is overwogen om een hogere eenheidsprijs toe te passen: vanwege de cultuurhistorische waarde zullen deze bekledingen waarschijnlijk niet worden vervangen (ook niet bij een score 'onvoldoende'), maar worden versterkt door andere, duurdere maatregelen.
- De berekende baten zijn alleen gerelateerd aan de toetsing, maar onderzoek levert ook baten op ten aanzien van ontwerp: aanscherping van de rekenregels leidt er toe dat lichtere bekledingen mogelijk zijn.

6 CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie uit de kosten-batenanalyse is: Onderzoek loont!

Daarnaast kunnen verschillende deelconclusies worden getrokken.

Bij de kosten-batenanalyse kan alleen worden gewerkt met kennisleemtes die in Steentoets identificeerbaar en kwantificeerbaar zijn. De belangrijkste te analyseren kennisleemtes uit het oogpunt van steenzettingenareaal en mogelijkheid voor aanscherping zijn duidelijk:

- open toplaag op granulaire laag;
- ingegoten steenzettingen;
- Noorse stenen;
- klemming;
- ingezande granulaire laag;
- lange periode;
- afschuiving.

Daarnaast zijn er verschillende kennisleemtes die wél belangrijk zijn, maar die niet in de kosten-batenanalyse worden meegenomen: reststerkte (want daarnaar wordt apart studie verricht), en een aantal leemtes waarvan verwacht wordt dat ze juist niet tot aanscherping van de regels leiden: basaltzuilen, scheve inval.

De Steentoetsgegevens zijn een belangrijke basis voor de analyse. Geconcludeerd kan worden dat deze gegevens bruikbaar zijn, maar dat de invulling niet altijd consistent en volledig is. Binnen het projectgebied (Westerschelde, Oosterschelde en IJsselmeergebied) bedraagt het areaal van alle leemtes bij elkaar ongeveer 2,4 miljoen m², maar door overlap tussen de leemtes is het netto areaal ongeveer 1,5 miljoen m². Voor dit areaal geldt dus dat één van de leemtes speelt én dat aanscherping tot een score 'goed' kan leiden. Het grootste areaal (orde 750.000 m²) hoort bij de leemtes Ingegoten steenzettingen en Afschuiving, het kleinste areaal bij Lange periode (orde 35.000 m²).

Bij de experts leven duidelijke ideeën over het benodigde onderzoek per kennisleemtes, maar in veel gevallen lopen deze ideeën uiteen. Per leemte kan een globaal 'gemiddelde' worden vastgesteld. De doorlooptijd loopt voor de verschillende leemtes uiteen van 1 tot 3 jaar en de kosten van € 75.000 tot € 500.000. Daarbij is uitgegaan van onafhankelijke uitvoering van de onderzoeken; in werkelijkheid zal een deel van de onderzoeken parallel kunnen lopen, waardoor kosten en doorlooptijd gunstiger kunnen zijn. Vanwege schaarse onderzoeksfaciliteiten kunnen naar verwachting niet alle onderzoeken parallel lopen.

De haalbare aanscherping per leemte kan door de experts worden ingeschat, met een waarde tot 25 %. De onzekerheid van deze inschatting is tamelijk groot, in de orde van 25 à 50 %.

Binnen de aannamen van het onderzoek zijn de baten veel groter dan kosten: de baten zijn een factor 2 (voor Lange periode) tot 160 (voor Ingegoten steenzettingen) groter dan de kosten. Belangrijke nuanceringen daarbij zijn:

- het areaal buiten het projectgebied is niet meegenomen bij de baten (bijv. Waddenzee);
- de baten doordat goedkoper ontwerp mogelijk wordt, zijn niet meegerekend;

- de onzekerheden in onderzoeksprogramma en aanscherping zijn relatief groot;
- er is nog geen rekening gehouden met overlappende leemtes en met het feit dat soms meerdere leemtes moeten worden ingevuld om dijkversterking te voorkomen (want de score op top laagstabiliteit én op afschuiving moet 'veilig' zijn).

Als het onderzoeksprogramma (combinatie van de onderzoeken naar de verschillende leemtes) verstandig wordt opgezet, zullen er naar verwachting geen problemen ontstaan met de voortgang van de uitvoering.

In de Workshop Kennisleemtes, die op 26 juni in Goes is gehouden, zijn de volgende algemeen gedragen conclusies getrokken (zie ook het verslag van de Workshop in Bijlage 3):

- Onderzoek m.b.t. het oplossen van kennisleemtes moet zo spoedig mogelijk opgestart worden.
- Het abstracte begrip "kennisleemtes" is tastbaar geworden.
- Het probleem "kennisleemtes" is oplosbaar.
- De kennisleemtes vormen geen conflict met de uitvoering.
- De benodigde kosten/tijd voor het oplossen van kennisleemtes staan in geen verhouding tot de baten.

De eerste en derde conclusie zijn direct in lijn met de conclusies uit deze kosten-batenanalyse. Het tijdsaspect dat in de vierde en vijfde conclusie tot uiting komt, is een aanvulling op de kosten-batenanalyse: bij de Workshop is expliciet vastgesteld dat er alleen al in Zeeland nog zoveel steenzettingen zijn die zeker 'onvoldoende' scores, dat de verbeteringswerken nog minimaal orde 5 jaar vooruit kunnen; vergeleken daarmee is de benodigde doorlooptijd van het onderzoek klein.

7 AANBEVELINGEN

De belangrijkste aanbeveling is om te investeren in onderzoek: de baten zijn naar verwachting veel groter dan de kosten.

Onderzoek naar de 7 geselecteerde leemtes wordt aanbevolen omdat de onderzoekskosten naar verwachting lager zijn dan de kosten van de verbeteringswerken die erdoor worden voorkomen. Daarnaast wordt onderzoek naar de reststerkte aanbevolen, met verwijzing naar de specifieke studie die daarnaar wordt uitgevoerd. Verder wordt stellig aanbevolen om onderzoek uit te voeren naar de leemtes die aan de 'onveilige' kant liggen (basaltzuilen, scheve golfinal); de aanscherping ten gevolge van onderzoek naar de overige leemtes mag alleen in rekening worden gebracht als ook rekening wordt gehouden met de 'onveilige' leemtes. Tenslotte: de gunstige verhouding van kosten en baten voor de uitgewerkte leemtes doet vermoeden dat onderzoek ook zou kunnen lonen voor de andere niet geanalyseerde leemtes; aanbevolen wordt om ook voor de afgevallen leemtes de kosten en baten van onderzoek na te gaan.

Aanbevolen wordt om de baten ten aanzien van de kennisleemte Reststerkte ook te kwantificeren met behulp van de Steentoetsgegevens.

Aanbevolen wordt om het benodigde onderzoek per kennisleemte in meer detail vast te stellen in overleg met de geïnterviewde specialisten, bijvoorbeeld aan de hand van een workshop. Vervolgens kunnen, op basis van betrouwbaarder gegevens over het onderzoek, scenario's voor het onderzoeksprogramma worden opgesteld en geanalyseerd. Op basis daarvan kunnen beslissingen worden genomen.

Bij het opstellen van de scenario's moet rekening worden gehouden met de afhankelijkheid van kennisleemtes: ten eerste moet de score 'goed' zijn op zowel toplaaginstabiliteit als afschuiving om verbeteringswerken te voorkomen, ten tweede kunnen voor één bepaald vlak meerdere leemtes spelen die allemaal te maken hebben met toplaaginstabiliteit. De afhankelijkheden zijn het grootst bij de leemtes Open toplaag op granulaire laag, Klemming en Ingezande granulaire laag. Voor de leemtes Ingegoten steenzettingen en Noorse stenen zijn er minder afhankelijkheden.

Bijlage 1

Inventarisatie van kennisleemten met betrekking tot
steenzettingen, TAW, juni 2001 (excl. bijlagen)

INVENTARISATIE VAN KENNISLEEMTEN MET BETREKKING TOT STEENZETTINGEN

juni 2001

1. Inleiding

De waterkeringen worden in Nederland vooral bekleed met steenzettingen, asfalt (vooral waterbouwsfaltbeton), en gras. Voor elk van deze bekledingsystemen zijn er in het afgelopen decennium algemene toets- en ontwerpgereedschappen ontwikkeld. Desondanks worden vooral bij de steenzettingen in de praktijk belangrijke kennisleemten ervaren.

Daardoor loopt men bij het toetsen van bestaande steenzettingen in Nederland geregeld tegen een reeks van problemen aan die een juiste beoordeling in de weg staan. Dit kan er zelfs toe leiden dat een zetting ten onrechte wordt afgekeurd of ten onrechte blijft zitten. Daarnaast moeten er bij het ontwerpen van steenzettingen noodgedwongen conservatieve aannamen gedaan worden, die leiden tot een relatief dure constructie.

In deze notitie is een inventarisatie gegeven van het huidige kennisniveau op het gebied van de stabiliteit van steenzettingen, en of er op deelgebieden behoefte is aan uitbreiding van de kennis. In het verleden is door onderzoek belangrijke vooruitgang geboekt, zoals het onderkennen van de grote invloed van de doorlatendheid van het filter op de stabiliteit van de toplaag. Met deze kennis kunnen steenzettingen nu zonder meerkosten (met gelijkblijvende toplaagdikte) een orde anderhalf maal hogere golfhoogte weerstaan, dan wanneer een traditioneel doorlatend (grof) filter zou worden toegepast. Dit heeft echter geleid tot het toepassen van een categorie steenzettingen met een relatief open toplaag, welke helaas aanleiding geven tot een ander bezwijkmechanisme: instabiliteit als gevolg van de golfklap.

Dit bezwijkmechanisme kan helaas thans nog onvoldoende worden gekwantificeerd, terwijl dit type steenzetting desondanks veelvuldig bij de huidige renovatiewerken wordt toegepast.

Naast dit onderwerp zijn er nog vele andere onderwerpen waar men in de praktijk tegen een nijpend tekort aan kennis aanloopt.

Deze notitie is samengesteld door ir M. Klein Breteler, lid van de werkgroep Techniek van de TAW. Voor het vaststellen van de behoefte aan kennisvergroting (als gevolg van leemten in de huidige kennis) is overleg gevoerd met de volgende personen uit de praktijk:

- J. Langenberg (Waterschap Friesland)
- E. Regeling (RDIJ)
- A. Provoost (Waterschap Zeeuws Vlaanderen)
- H. van de Sande (Waterschap Zeeuwse Eilanden)

Daarnaast is overlegd met deskundigen die betrokken zijn met het onderzoek tot nu toe (namelijk Th. Stoutjesdijk van GeoDelft, A. Bezuijen van GeoDelft, H. Vrijling van TUD en R. 't Hart van DWW). Ook het commentaar van de Klankbordgroep Steenbekledingen van de TAW-Techniek is verwerkt.

Reeds eerder is met verschillende invalshoek een inventarisatie van de huidige kennis en kennisleemten gemaakt, namelijk door Van der Meer (2000) en Slijkhuis & Klaassen (1999). De huidige notitie borduurt hierop voort. De conclusies uit beide rapporten zijn als bijlage toegevoegd en zijn verwerkt in deze notitie.

2. Overzicht

Voor de inventarisatie van de kennisleemten is een aantal hoofdonderwerpen geïdentificeerd:

- type toplaag (zie tabel 1)
- invloed van klemming en dichtslibbing (zie tabel 1)
- invloed van aard en grootte van golfbelasting (golfdrukken) (zie tabel 1)
- reststerkte en faalkans (zie tabel 2)
- bermen, kruinen en gebogen dijkvakken (zie tabel 2)
- methodieken (zie tabel 2)
- afschuiving en teenstabiliteit (zie tabel 2)
- overgangsconstructies (zie tabel 3)
- uitspoeling van voegvulling en/of filter (zie tabel 3)
- bijzondere belastingen (zie tabel 3)

Voor elk van deze hoofdonderwerpen is in tabel 1 t/m 3 een aantal deelonderwerpen gegeven, en is per deelonderwerp een beoordeling van het huidige kennisniveau gegeven. Voor een toelichting op deze deelonderwerpen wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk. Het grote aantal deelonderwerpen maakte het noodzakelijk om de tabel op drie bladzijden te zetten.

In de eerste drie kolommen van de tabellen staan nummers en titels van de onderwerpen. In de volgende kolom staat de behoefte aan onderzoek, waarbij alleen twee plussen zijn vermeld als één van de praktijkmensen heeft aangegeven dat de huidige kennis onvoldoende is. De behoefte is omschreven met één plusje als de behoefte gemerkt wordt uit de vragen die komen uit de dagelijkse praktijk, of als het noodzakelijk is voor het bereiken van oplossingen op de gebieden waar wel meer kennis gevraagd is.

In de vijfde kolom is het huidige kennisniveau gegeven, waarbij een schaal is gebruikt met:

- ++ = veel kennis; onnauwkeurigheid in beschikbare methodiek is orde 20%,
- + = voldoende kennis,
- o = weinig kennis; fout van factor 2 mogelijk,
- = nauwelijks kennis,
- = geen kennis.

Het is duidelijk te zien dat op de gebieden waar geen kennisuitbreiding gevraagd wordt, dit doorgaans een onderwerp betreft waar al vrij veel kennis beschikbaar is.

In de volgende twee kolommen staan de beschikbare gereedschappen, opmerkingen en wie van de geïnterviewde praktijkmensen het als behoefte heeft gesignaleerd.

In de laatste drie kolommen staat eerst vermeld of het betreffende onderwerp ook genoemd is in het verslag van de Bouwdienst (Slijkhuis & Klaassen, 1999, zie bijlage 1) of in het verslag van Van der Meer (2000, zie bijlage 2). Vervolgens is de prioriteit van het onderwerp volgens de Klankbordgroep Steenbekledingen van de TAW-techniek gegeven. Tot slot is een ruwe schatting gemaakt van de omvang van het onderzoek:

- a = enkele maanden
- b = ongeveer een jaar
- c = enkele jaren.

Met de tabellen lijkt het als of er vele onderwerpen zijn met weinig kennis en weinig onderwerpen waar we veel van afweten. Dit is vooral het gevolg van de natuurlijke neiging om meer detail te onderscheiden in die onderwerpen waar nog veel aan gedaan moet worden.

Naast de in de tabellen genoemde onderwerpen is er ook een behoefte geuit aan een samenhangende beschouwing van de gehele dijk, om zo flexibel mogelijk te zijn bij criteria van afzonderlijke mechanismen/belastingen (A. Provoost). Juist de rigiditeit van de huidige criteria leidt volgens Provoost tot afkeuren van zettingen, terwijl dit nauwelijks aan de buitenwereld is uit te leggen. Hierdoor kalft het maatschappelijk draagvlak voor deze dure renovatie af.

Wellicht kan dit worden opgelost met een probabilistische methodiek.

Dit houdt ook verband met de vraag hoe veilig de gehele ontwerp- en toetsmethodiek is, gegeven het feit dat voor vele componenten veilige aannamen zijn gekozen.

Daarnaast kan nu of in de toekomst gewerkt worden aan een verbreding van de horizon door aandacht te besteden aan alternatieve bekledingen, zoals flauwe taluds met een dikke laag klei.

Stand van de techniek mbt Steenzettingen								
stabiliteit toplaag onder golfbelasting (of statische overdruk)								
nummer	type of aspect	behoefte aan meer kennis	kennis-niveau	gereedschappen en opmerkingen	genoemd door beheerder	eerder genoemd B/Bouwdienst Mvd/Meer	prioriteit	omvang
type toplaag								
A.1	relatief open toplaag op filter (niet-dichtgeslbd, geen gietasfalt)	**	o	thans Anamos, straks ZetSteen (in ontwikkeling)	PBZ / DWW	B & M	1	b-c
A.2	invloed van gietasfalt/beton ingetring over toplaag bij golfbelasting	*	o	resultaat oriënterende proef	vd Sande	B	1	c
A.3	invloed van gietasfalt/beton ingetring over toplaag bij statische belasting	**	o	theoretische formules, niet geverifieerde eerste aanzet	Langerberg, vd Sande	B	1	c
A.4	Noorse / Driente stenen	**	o	ondergrensbenadering	Langerberg		1	b
A.5	stabiliteit van basalt	**	o	thans Anamos, straks ZetSteen (in ontwikkeling)			1	b
A.6	grasbetonslenen op klei	**	-	geen	Langerberg, Provoost		2	b
A.7	interlockblokken en blokkenmatten	**	+	Vuustregel	Regeling		3	b
A.8	stabiliteit overtaging van beton of asfalt	**	---	theoretische formules, niet geverifieerde eerste aanzet	vd Sande		3	c
A.9	basalton op zand/asfalt	*	o	black box figuur			3	b
A.10	relatief dichte toplaag op filter (niet-dichtgeslbd, geen gietasfalt)	o	**	Anamos, Steenzet			-	
A.11	relatief dichte toplaag op klei (e.v. met geotextiel of begroeiing) (niet of meer	o	o	black box figuur			-	
invloed van klemming en dichtslibbing								
B.1	invloed van klemming op stabiliteit toplaag	**	-	enkele klemfactoren, geen vertrouwen in juistheid	allen	B & M	1	c
B.2	invloed van dichtslibbing toplaag en/of filter	**	-	black-box figuur met breed beïjvelgebied	Provoost, vd Sande	B	1	c
invloed van aard en grootte van golfbelasting (golfdrukken)								
C.1	scheve golfaanval (tot strjkgolven)	**	-	geen	Langerberg & Regeling		1	b
C.2	stabiliteit bij grote golfperiodes	*	o	verre extrapolatie van formules	DWW		1	b-c
C.3	zeer ondiepe voorlanden	**	o	eerste aanzet tot vuustregel	Provoost		2	b-c
C.4	invloed van taudhelling op toplaagstabiliteit als steiler dan 1:3	*	-	erige info van regelmatige golfproeven			3	b
C.5	ondiepe voorlanden	o	+	formules			-	
C.6	loodrechte golfaanval	o	**	Anamos, Steenzet			-	
C.7	Naukeurigheid golfandrvoorwaarden	*	+	Swan (probleem: brekerindex, lokale set-up, ...)			elders	

Tabel 1

nummer	type of aspect	behoefte aan meer kennis	kennis-niveau	gereedschappen en opmerkingen	genoemd door beheerder	eerder genoemd B=Beoordener M=Mede	prioriteit	omvang
reststerkte en faalkans								
D 1	reststerkte van toplaag en filter na inbrede schade	+	o	formule voor een van de twee mechanismen			1	c
D 2	reststerkte van kleilaag na ontstaan van gat in bekleding	**	o	conservatieve toetsmethode	vd Sande	B & M	1	c
D 3	reststerkte van dijken en kleilaag na ontstaan van gat in bekleding	+	-	theoretische formules, niet geverifieerde eerste aanzet		B & M	1	c
D 4	stormduur en stormverloop en aantal stormen tot reparatie	**	-	op te nemen in faalkansbeschouwing	vd Sande	M	1	c
D 5	kwantitatief info onzekerheden voor probsommen	+	-				1	b
D 6	Faalkans analyse t.b.v. normen acceptabele schade	+	+			B & M	1	c
bermen, kruinen en gebogen dijkvakken								
E 1	stabiliteit van havendammen onder water	**	-	geen	Langenberg, Provoost		1	b
E 2	bekleding op bermen en buitendijkse opritten	**	o	grafiekjes op basis van grove versimpeling	Langenberg & Regeling		2	a
E 3	bekleding boven bermen, en/of boven MHW	**	o	Steenzet mts er een filter is	Langenberg & Regeling		2	b
E 4	bekleding op (sterk) gebogen dijkvak	o	+	Anamos zonder klemming			3	b
E 5	Breuksteen (lage havendammen en overlagings)	**	+	formules	Provoost		elders	
methodieken								
F 1	Berusten van bewezen sterkte bij toetsingen (verkerking)	**	**	alleen in specifieke situaties uitvoerbaar	beheerders		1	b
F 2	innovatieve meettechnieken (dijkopbouw)	+	-			B	1	c
F 3	toetsresultaatverschillen van de globale en gedetailleerde toetsing	**	o	voorlopige aanbeveling is onbevredigend	Regeling, vd Sande		3	a
afschuiving en teenstabiliteit								
G 1	lokale afschuiving tijdens golfaanval (blauws 1.3 tot 1.2)	**	+	conservatieve formules uit Handboek	Langenberg, vd Sande		1	a-b
G 2	erosie van voorland tegen steenzetting	**	o	Anamos, Steenzet en Durosta (voor zand)	Langenberg, Provoost		2	c
G 3	invloed van teen op de stabiliteit van toplaag	+	**	geen			3	b

Tabel 2

nummer	type of aspect	behoefte aan meer kennis	kennis-niveau	gereedschappen en opmerkingen	genoemd door beheerder	eerder genoemd B=Beoordener M=Mede	prioriteit	omvang
overgangsconstructies								
H 1	Aansluiting van steenzetting op verticale constructies (sluizen e.d.)	**	-	geen	Provoost		2	a-b
H 2	invloed van overgangsconstructies	**	+	Anamos, Steenzet	Langenberg		3	b
uitspoeling van voegvulling en/of filter								
I 1	uitspoeling steenlag voegvulling en/of inslibbing	**	-	erige ervaring uit modelproeven	Langenberg		3	c
I 2	uitspoeling filter door openingen in toplaag	**	+	formules (beperkte geldigheid is probleem)	Langenberg		3	b
I 3	beoordelingsmethode verzakte stenen	**	o	monitoring methode gewonnen	vd Sande		3	a
I 4	invloed holle ruimte in groot puinfilter (tussen stapeltes)	**	o	erig praktisch inzicht	Langenberg		4	a
I 5	invloed DV voegvulling op stabiliteit	**	-	geen	Langenberg		4	a
I 6	erosie van klei/zand onderlaag door granulaar filter of geotextiel	o	**	formules			-	
bijzondere belastingen								
J 1	Consequenties van scheepsstrandings	-	-	erige ervaring			-	
J 2	IJsbelasting	-	-	erige ervaring			-	

Tabel 3

3. Toelichting op de onderwerpen

Onderstaand worden de onderwerpen uit de tabellen kort toegelicht.

Type toplaag

A1: RELATIEF OPEN TOPLAAG OP EEN FILTER

Met het Deltagoot onderzoek van 1997 en 1998 is voor het eerst gedetailleerde kennis beschikbaar gekomen over relatief open toplagen (Basalton, Hydroblocks, etc). Tijdens de analyse van de proefresultaten is duidelijk geworden dat de golfklap verantwoordelijk is voor de maatgevende belasting. Het is gebleken dat ANAMOS de sterkte en de belasting onderschat, maar dat het desondanks de stabiliteit nog redelijk nauwkeurig voorspeld (geen klemming, maar ook geen invloed van golfklap). Het nieuwe programma Zetsteen, dat nu als testversie gereed is, moet nog geverifieerd worden aan de hand van de Deltagootresultaten.

A2: INVLOED VAN MET GIETASFALT/BETON INGEHOTEN TOPLAAG BIJ EEN GOLFBELASTING

Voorals natuursteenbekledingen zijn in het verleden ingegoten of overgoten met gietasfalt of met beton.

Bij overgieten (oppervlakkig ingieten) is het gietasfalt of beton slechts weinig tussen de stenen doorgedrongen (5 à 10 cm diep), omdat de spelen vol zand en/of slib zaten en/of waren ingewassen. De stabiliteit van een dergelijke constructie tijdens golfaanval is eerst vrij groot, als gevolg van de goede interactie tussen de stenen en het gietasfalt, maar wordt na enige uren steeds minder. De relatie tussen de stabiliteit en de grootte en de duur van de belasting kan nog niet gekwantificeerd worden. Op basis van de Deltagootproef uit 1997 is een conservatieve toetsregel opgesteld voor gietasfalt. Voor beton is nog niets beschikbaar.

Sommige natuursteen bekledingen zijn in het verleden ingoten met gietasfalt of met beton. Hierbij is de bekleding opnieuw gezet en vervolgens vol en zat ingegoten. De sterkte van zo'n bekleding is veel groter dan een overgoten bekleding. De stabiliteit van een dergelijke constructie tijdens golfaanval is vrij groot, maar hoe groot is nog niet bekend. Een belangrijk verschil met een asfaltbekleding is de grote stijfheid van de toplaag.

A3: INVLOED VAN MET GIETASFALT/BETON INGEGOTEN TOPLAAG BIJ EEN STATISCHE BELASTING

Vooraf natuursteenbekledingen zijn in het verleden ingegoten of overgoten met gietasfalt of met beton (zie A2).

Een bekleding die overgoten is met gietasfalt of beton, of is ingegoten, ondervindt een statische belasting als de waterstand onder de bekleding hoger is dan de buitenwaterstand. Voor vele bekledingen is dit de maatgevende belasting. De grootte van de belasting en de sterkte kan echter nog nauwelijks berekend worden.

A4: NOORSE EN DRENTSE STENEN

Kenmerkend voor dit type toplaag zijn de grote afgeronde stenen van 20-50 cm op grof filter. Thans kan de stabiliteit slechts bij benadering bepaald worden door het te schematiseren als breuksteen.

A5: BASALT

Tijdens modelonderzoek in de Deltagoot is vastgesteld dat een specifieke constructie van basalt op open puin reeds bij een verrassend lage golfbelasting bezwijkt. Het is thans onduidelijk waardoor deze constructie al zo snel bezweek. Het is denkbaar dat dit lag aan de specifieke karakteristieken van de constructie, die mogelijk niet overeenkwamen met de werkelijkheid, of dat de invloed van de hoge soortelijk massa van basalt in de formules wordt overschat.

A6: GRASBETONSTENEN OP KLEI

Deze doorgroeienden worden vooral toegepast op de overgang van een harde bekleding en een grasbekleding boven de golfaanvalszone. De stabiliteit kan bepaald worden met het black-box model, dat echter erg conservatief is, waardoor de dimensionering meestal achterwege blijft.

A7: INTERLOCK BLOKKEN EN BLOKKENMATTEN

Bij het toetsen van steenzettingen komt men soms nog interlock-blokken tegen. Blokkenmatten zijn op zeedijken weinig toegepast maar wel op oevers langs rivieren en kanalen. Ook in de toekomst ligt daar het belangrijkste toepassingsgebied.

Er is een redelijk goed onderbouwde vuistregel voor het bepalen van de stabiliteit.

A8: STABILITEIT VAN OVERLAGING MET BETON OF ASFALT

Soms wordt een zwakke steenzetting gerenoveerd met een overlaging van beton of asfalt. Voor het berekenen van de stabiliteit van zo'n bekleding zijn slechts conservatieve methoden beschikbaar, die bijvoorbeeld geen rekening houden met de interactie tussen de overlaging en de oude steenzetting. Als de steenzetting op een doorlatend filter ligt, dan is dit niet zo'n logische variant.

A9: BASALTON OP ZANDASFALT

Het is mogelijk om in de toekomst geen mijnsteen in de tijzone toe te passen, maar in plaats daarvan zandafalt. Een eerste schatting van de stabiliteit van Basalton op zandafalt kan worden gemaakt op basis van een proef in de Deltagoot.

A10: RELATIEF DICHTE TOPLAAG OP EEN FILTER

In de afgelopen decennia is het onderzoek geconcentreerd geweest op relatief dichte toplagen op een filter (Haringmanblokken op vrij grof filter). Voor het berekenen van de stabiliteit zijn de rekenmodellen ANAMOS en Steenzet beschikbaar.

A11: RELATIEF DICHTE TOPLAAG (OP GEOTEXTEL) OP KLEI

Blokken op klei met een geotextiel kunnen goed toegepast worden op plaatsen waar de belasting klein is. De stabiliteit kan bepaald worden met het black-box model, dat echter erg conservatief is.

Invloed van klemming en dichtslibbing

B1: INVLOED VAN KLEMMING OP DE STABILITEIT VAN DE TOPLAAG

Met klemming wordt de interactie tussen de stenen bedoeld. De huidige rekenmodellen (ANAMOS en Steenzet) gaan uit van een los blok dat zonder klemming tussen de andere blokken ligt. Dit levert conservatieve resultaten op. Voor het toetsen van steenzettingen is het gewenst om de invloed van de klemming te kennen (interactie tussen de blokken), omdat verwacht mag worden dat vele steenzettingen goed gekeurd kunnen worden als ook de invloed van klemming wordt meegeteld.

B2: INVLOED VAN DICHTSLIBBEN VAN DE TOPLAAG EN/OF FILTER

Er zijn enkele empirische gegevens beschikbaar (Deltagootproeven in 1997), waarmee is vastgesteld dat dichtslibben de toplaag meestal niet zwakker maakt. De grootte van de extra sterkte door dichtslibbing kan echter nog niet in rekening gebracht worden, hetgeen door de beheerders wordt betreurd. Ook de overgang van een dichtgeslibde bekleding naar een schone bekleding verdient aandacht.

Invloed van aard en grootte van golfbelasting (golfdrukken)

C1: INVALSHOEK VAN GOLFAANVAL

In het verleden is vooral de belasting tijdens loodrecht invallende golven onderzocht. Een oriënterend onderzoek naar de invloed van de hoek van inval heeft laten zien dat de belasting bij scheve golfaanval toe kan nemen. De belasting bij zeer scheef invallende golven gaat weer afnemen bij toenemende hoek van golfinval.

C2: STABILITEIT BIJ GROTE GOLFPERIODEN

Het onderzoek naar de stabiliteit van steenzetting is in het verleden steeds uitgevoerd met relatief korte golven ($\xi_{op} < 2,5$). Met het bekend worden van de nieuwe golfbrandvoorwaarden is het duidelijk geworden dat kennis over de stabiliteit bij een belasting met lange golven zeer belangrijk is. Nu kan die belasting slechts geschat worden op basis van een extrapolatie van de beschikbare formules.

C3: ZEER ONDIEPE VOORLANDEN

Voor de invloed van de lokale waterdiepte vlak voor de dijk zijn formules beschikbaar. De geldigheid houdt echter op als de golfhoogte meer dan 30% reduceert als gevolg van breking. Er is dan sprake van een zeer ondiep voorland. Voor de belasting bij zeer ondiepe voorlanden is nu slechts een vuistregel beschikbaar, met een onbekend geldigheidsgebied.

C4: INVLOED VAN DE TALUDHELLING OP DE TOPLAAGSTABILITEIT BIJ STEILE TALUDS

Onze huidige rekenmethoden zijn geschikt tot een taludhelling van ongeveer 1:3. Voor steilere taluds is nog onvoldoende bekend wat de invloed van de taludhelling is, terwijl taluds tot 1:2,5 voorkomen en sommige (monumentale) dijkjes zelfs nog steiler zijn (tot 1:1).

C5: ONDIEPE VOORLANDEN

Voor de invloed van de lokale waterdiepte vlak voor de dijk zijn formules beschikbaar. De geldigheid houdt echter op als de golfhoogte meer dan 30% reduceert als gevolg van breking.

C6: LOODRECHTE GOLFAANVAL

Het meeste onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen is tot nu toe uitgevoerd met loodrechte golfaanval. Daardoor is van dit type belasting veel meer bekend dan de belasting door scheef invallende golven.

C7: GOLFRANDVOORWAARDEN

De golfcondities bij een dijk kunnen al vrij nauwkeurig berekend worden. De onnauwkeurigheden betreffen nu onder andere de modellering van het brekerproces, de invloed van stroming, het effect van turbulentie op de golfgroei, e.d.. Waarschijnlijk zal met name een verbetering van de modellering van het brekerproces een verbetering van de nauwkeurigheid geven.

Reststerkte en faalkans

D1: RESTSTERKTE VAN TOPLAAG EN FILTER NA INITIËLE SCHADE

De reststerkte van de toplaag en het filter wordt bepaald door de erosie van het filter door het gat in de toplaag dat gevormd wordt door de ontbrekende steen. Zo wordt de toplaag geleidelijk aan steeds verder ondermijnd. Als de ondermijning groot genoeg geworden is stort de toplaag in. Er zijn empirische formules voor de snelheid van de ondermijning, maar er is nog niets bekend over de grootte van de ondermijning op het moment dat de toplaag instort. Dit laatste is essentieel om de grootte van de reststerkte te kunnen bepalen.

D2: RESTSTERKTE VAN DE KLEILAAG NA HET ONTSTAAN VAN EEN GAT IN DE BEKLEDING

Er zijn empirische gegevens over de erosiesnelheid van een dunne kleilaag tijdens golfaanval (dikten tot ongeveer een halve meter). Het feit dat de erosiesnelheid afneemt naarmate het gat dieper wordt, is nog niet in de formules verdisconteerd. Veelal zal de bekleding vlak onder de berm beschadigd raken. Daar is de horizontale erosie afstand door de klei doorgaans erg lang en de invloed van de afnemende erosiesnelheid groot.

D3: RESTSTERKTE VAN DE DIJKKERN NA HET ONTSTAAN VAN EEN GAT IN DE KLEILAAG

Over het erosieproces van een dijk bestaande uit zand, klei en bekledingsresten is nog maar weinig bekend. In het verleden is getracht de reststerkte te kwantificeren door de dijk te schematiseren tot een zandduin. Dit leidde echter tot onrealistische resultaten. De grootte van de reststerkte is essentieel om een goed faal criterium voor de bekleding te kunnen afleiden.

D4: STORMDUUR, STORMVERLOOP EN AANTAL STORMEN TOT REPARATIE

De grootte van de stormduur en het stormverloop (waterstand) is nodig in relatie tot de reststerkte. Verder is dit belangrijk voor het bepalen van de overstromingskans. Als de toplaag echter relatief zwak is, dan moet ook het aantal stormen tussen de eerste schade en de reparatie ervan meegenomen worden.

D5: KWANTITATIEVE INFORMATIE OVER ONZEKERHEDEN

Voor het maken van probabilistische berekeningen ten behoeve van het bepalen van de overstromingskans is kwantitatieve informatie over onzekerheden belangrijk. Het gaat hierbij om de onzekerheid over de geometrie van de bekledingen, de modelonzekerheden. De ad hoc wijze van aandacht voor dit onderwerp heeft ons in het verleden niet veel verder gebracht.

D6: FAALKANSANALYSE TEN BEHOEVE VAN NORMEN VOOR ACCEPTABELE SCHADE

Thans worden steenzettingen getoetst en ontworpen met als uitgangspunt dat er geen schade mag optreden tijdens maatgevende omstandigheden. De grootte van de reststerkte kan echter zodanig zijn dat een (veel) soepeler criterium mogelijk is.

Bermen, kruinen en gebogen dijkvakken

E1: STABILITEIT VAN HAVENDAMMEN ONDER WATER

Bij vele havens zijn de havendammen zo laag dat ze tijdens ontwerpomstandigheden onder water zullen verdwijnen, of met de kruin rond de waterlijn liggen. De golfhoogtereductie als gevolg van deze havendammen is belangrijk voor de waterkering door de haven. Daardoor is de stabiliteit van de havendammen belangrijk. Mocht er schade ontstaan, dan is het relevant te weten hoeveel de hoogte van de havendam zal reduceren tijdens een storm.

E2: BEKLEDINGEN OP BERMEN EN BUITENDIJKSE OPRITTEN

Tijdens het onderzoek in de Deltagoot in 1997 is vastgesteld dat de huidige kennis op het gebied van de belasting op berm en buitendijkse opritten tekortschiet. De huidige rekenmethode onderschat de belasting en de sterkte. De afgeleide ontwerpgrafieken zijn beperkt bruikbaar, maar het geldigheidsgebied is onbekend.

E3: BEKLEDINGEN BOVEN DE BERMEN EN/OF BOVEN MHW

Voor bekledingen boven een berm zijn geen rekenmodellen of empirische gegevens beschikbaar. Naast de stabiliteit van de bekleding kan ook het uitspoelen van filter of ondergrond een probleem zijn. De bekleding op een filter boven de waterlijn zou gedimensioneerd of getoetst kunnen worden met Steenzet.

E4: BEKLEDING OP EEN GEBOGEN DIJKVAK

In een scherpe buitenbocht zou de klemming tussen de stenen minder kunnen zijn dan op een recht dijkvak en is de belasting hoger. Hierover is echter geen kennis

beschikbaar. Voorlopig zou men kunnen toetsen of dimensioneren zonder klemming (conservatief) .

E5: BREUKSTEEN OP LAGE HAVENDAMMEN ALS OVERLAGING

Voor de stabiliteit van breuksteen op een oude steenzetting zijn thans ontwerp- en toetsingsformules beschikbaar.

Dit geldt ook voor breuksteen op een lage havendam. Doorgaans zijn deze havendammen niet in staat om de maatgevende omstandigheden te overleven. Er is meer kennis nodig over de vormverandering die een breuksteen havendam ondergaat tijdens zware golfaanval, waarbij de waterstand om en nabij de kruinhoogte is.

Methodieken

F1: BENUTTEN VAN BEWEZEN STERKTE BIJ TOETSINGEN

Bij het toetsen van steenzettingen wordt nog geen gebruik gemaakt van de ervaring met de betreffende steenzetting tijdens stormen in de afgelopen jaren. Vooral bij de statische belasting op overgoten of ingegoten bekledingen kan het voorkomen dat de maatgevende belasting al eens is voorgekomen. Er is echter nog geen goede methodiek ontwikkeld, waarmee de steenzetting goed getoetst kan worden.

Voor de stabiliteit tijdens golfaanval kan zelden gebruik gemaakt worden van historische gegevens. Wel kan echter gebruik gemaakt worden van de ervaring op andere locaties met eenzelfde type steenzetting en een zwaardere golfbelasting. Dit kan de kennis opleveren waarmee de minder zwaar belaste dijkvakken kunnen worden getoetst.

Er liggen hiervoor mogelijkheden bij ingezande bekledingen, noorse stenen, en ingegoten bekledingen.

F2: INNOVATIEVE MEETTECHNIEKEN

Het is vaak niet bekend hoe de dijk is opgebouwd. Het is wenselijk om een meettechniek te hebben waarmee de laagdikte van bijvoorbeeld klei in de gehele dijk kan worden gemeten (continue meting). Deze informatie is noodzakelijk voor het beoordelen van de reststerkte van een dijk.

F3: VERSCHILLEN TUSSEN HET TOETSRESULTAAT VAN DE GLOBALE EN DE GEDETAILLEERDE TOETSING

Soms wordt er een strijdig resultaat verkregen bij de globale en de gedetailleerde toetsing (en geavanceerde toetsing). Thans is dat opgelost door te stellen dat de globale toetsing maatgevend is, tenzij de globale toetsing op twijfelachtig uitkomt. Dit leidt echter tot verwarring en zou voorkomen moeten kunnen worden.

Afschuiving en teenstabiliteit

G1: LOKALE AFSCHUIVING TIJDENS GOLFAANVAL

Voor het toetsen van het mechanisme afschuiving zijn thans conservatieve methoden beschikbaar. De indruk bestaat dat in een aantal gevallen de methode onnodig conservatief is. Dit is onder andere het geval bij vrij steile taluds (steiler dan 1: 3). Verder is de invloed van de kleilaag nog onvoldoende bekend. De huidige rekenmodellen zijn onvoldoende geverifieerd en zijn voor de praktijk moeilijk toepasbaar. Daarnaast zijn de grondparameters in de praktijk niet altijd beschikbaar.

G2: EROSIE VAN VOORLAND TEGEN STEENZETTING

Vele steenzettingen zijn in de loop der jaren onder het voorland terechtgekomen. Als bij de toetsing net wordt gedaan alsof het voorland er niet is, blijken deze bekleding onvoldoende te zijn, maar deze werkwijze is te conservatief. Als het voorland van zand

is, kan met Durosta berekend worden hoe diep de erosiekuil zal worden tijdens een storm. Een voorland van klei met gras, zal echter nauwelijks eroderen. De mate van erosie is bepalend voor de grootte van de belasting. Hierover is nog onvoldoende bekend. Dit is ook relevant voor de rivierdijken.

G3: INVLOED VAN DE STIJFHEID VAN DE TEENCONSTRUCTIE OP DE STABILITEIT VAN DE STEENZETTING

Doorgaans worden teenconstructies op hun plaats gehouden door de bestorting op de vooroever, omdat de teenconstructie meestal relatief licht wordt uitgevoerd. Als desondanks de teenconstructie gaat wijken, kan de steenzetting deels naar beneden afglijden, waardoor het verband of de klemming verloren kan gaan.

De huidige rekenmodellen voor damwanden zijn voor de praktijk moeilijk toepasbaar, o.a. omdat de grondparameters in de praktijk niet altijd beschikbaar zijn.

Overgangsconstructies

H1: AANSLUITING VAN STEENZETTING OP VERTICALE CONSTRUCTIES

Bij kunstwerken en andere bijzondere constructies komt het voor dat een steenzetting aansluit op een verticale muur. Lokaal kan dit betekenen dat de golfbelasting zwaarder is dan elders.

H2: INVLOED VAN OVERGANGCONSTRUCTIES

De invloed van overgangsconstructies op de grootte van de verschildrukken kan berekend worden met ANAMOS en Steenzet. Doorgaans worden er constructieve maatregelen genomen om de consequenties van de overgangsconstructie te beperken: Er wordt een strook ingegoten met gietasfalt.

Een bijzondere overgang is de overgang van het deel van de bekleding dat een dichtgeslibd filter en toplaag heeft naar het deel van de bekleding dat niet is dichtgeslibd. In de praktijk blijkt ook bij deze overgang soms schade op te treden.

Uitspoeling van voegvulling en/of filter

I1: UITSPOELING VAN STEENSLAG VOEGVULLING EN/OF INSLIBBING

Steenzettingen ontlenen de goede interactie tussen de afzonderlijke blokken aan de steenslag voegvulling (zie ook bij klemming). Het uitspoelen van de voegvulling is daarom ongewenst. De vraag is of de voegvulling tijdens een storm blijft zitten. Tijdens het Deltagootonderzoek in 1997 en 1998 zijn enige gegevens vergaard over de relatie tussen de golfcondities, de geometrie van de spleten (tapse of parallelle spleetwanden) en het uitspoelen. Veel is echter nog steeds onbekend, hetgeen bijvoorbeeld de toepassing van blokken op hun kant met brede ingewassen langsvogen in de weg staat.

I2: UITSPOELING VAN FILTERMATERIAAL DOOR DE TOPLAAG

Bij sommige steenzettingen blijkt de voegvulling steeds opnieuw weer uit te spoelen. Er bestaat dan ook gevaar voor het uitspoelen van het filtermateriaal. Hoewel dit met Deltagootproeven is aangetoond, zijn er in de praktijk nog geen duidelijke voorbeelden van gevonden. In de praktijk is het moeilijk om vast te stellen waardoor een bepaald schadebeeld is ontstaan. Het uitspoelen van filtermateriaal veroorzaakt een verlaging van de stabiliteit van de toplaag.

Voor het uitspoelen is een empirische relatie ontwikkeld met een beperkte geldigheid.

13: BEOORDELINGSMETHODE VERZAKTE STENEN

Soms is slechts één steen in een steenzetting verzakt. Soms is een paar vierkante meter verzakt. Het is moeilijk om op basis van zo'n constatering een oordeel te geven over een dijkvak.

14: INVLOED VAN HOLLE RUIMTE IN EEN GROF PUIN FILTER

Tijdens het toetsen van natuursteen bekledingen komt men soms niet dichtgeslibde bekledingen tegen, waarvan het filter is opgebouwd uit grof puin met grote holle ruimten. De toplaag staat dan op stapeltjes filterstenen, met daar omheen veel hole ruimte. Er moeten praktische toetsingsregels opgesteld worden op grond waarvan dergelijke bekledingen beoordeeld kunnen worden.

15: INVLOED VAN DV-VOEGEN VULLING OP DE STABILITEIT

In het noorden van het land is DV-voegvulling toegepast teneinde het uitspoelen van de voegvulling te voorkomen en omdat dit goedkoper was dan grind of steenslag. De voegen werden eerst gevuld met zand tot 5 cm onder het oppervlak van de bekleding. Vervolgens werd de DV-voegvulling aangebracht, die bestond uit een mengsel van rivierzand, bitumen en cement. Deze methode is alleen toegepast bij Harlingen en op de Afsluitdijk. Tegenwoordig wordt deze methode niet meer toegepast, maar men loopt er nog wel tegenaan tijdens de toetsing.

16: EROSIE VAN KLEI/ZAND ONDERLAAG DOOR GRANULAIR FILTER OF GEOTEXTIEL

Voor het beoordelen van materiaaltransport in het granulaire filter of door het geotextiel is in het kader van het steenzettingenonderzoek veel onderzoek gedaan (migratie van basismateriaal). Met de beschikbare formules is de toetsing en het ontwerp goed mogelijk.

Bijzondere belastingen

J1: CONSEQUENTIES VAN SCHEEPSSTRANDINGEN

Er is een aanzienlijke kans dat juist tijdens een zware storm een schip strandt op de dijk. Als het schip niet te grote diepgang heeft kan hierdoor een grote initiële schade ontstaan aan de bekleding, die verder groeit tijdens de storm.

J2: IJSBELASTING

Bij het optreden van kruierend ijs kunnen steenzettingen zwaar beschadigd raken, vooral als het talud steil is (steil er dan 1:3) of aangrijpingspunten kent, zoals Noordse stenen. Waarschijnlijk is de kans klein dat dit optreedt vlak voor een zware storm, nadat het ijs weer verdwenen is maar de schade nog niet is gerepareerd.

4. Prioriteiten en vervolg

Ondanks dat er al lange tijd onderzoek wordt uitgevoerd naar de stabiliteit van steenzettingen blijkt uit het vorige hoofdstuk dat er nog vele kennisleemten zijn. Dit komt enerzijds door de complexiteit van het onderwerp en anderzijds door de vele soorten steenzettingen. Maar het beeld wordt ook vertekend door het feit dat andere constructietypen (zoals breuksteen) op vele plaatsen in de wereld onderzocht worden, terwijl het onderzoek aan steenzettingen vrijwel uitsluitend in Nederland plaatsvindt.

De lange lijst van kennisleemten maakt het noodzakelijk om prioriteiten te stellen. De prioriteiten zouden op een objectieve manier vastgesteld kunnen worden op basis van een probabilistische analyse. Een dergelijke analyse brengt de invloed van verschillende aspecten op het resultaat van een ontwerp of toetsing aan het licht, en laat tevens zien in hoeverre onzekerheid of kennistekort doorwerkt in het eindresultaat.

In het verleden zijn verschillende van dergelijke analyses uitgevoerd of zijn nog gaande, zoals:

- Sprint: TAW-verslag “van overschrijdingskans naar overstromingskans, juni 2000”.
- Den Heijer: Dimensioneringsmethode ‘Blokken op hun kant met Brede voegen’ (mei '99).
- Stroeve: Veiligheidsanalyse steenzettingen, voor enkele dijkvakken langs de Westerschelde (thans in uitvoering).
- Voortman: promotiestudie bij Vrijling (thans in uitvoering).

Deze studies waren/zijn echter steeds gericht op het type steenzetting waarover het meeste bekend is, namelijk een zetting op filter met loodrechte golfaanval, zonder berm, gietasfalt, overgangsconstructies, dichtslibbing etc. In de tabellen was er daardoor alleen aandacht voor punt A1, A10, D2, D3, D4 en C6.

Voor de andere veel voorkomende steenzettingen, zoals dicht geslibde en/of ingegoten bekledingen, geldt dat de onzekerheden nog zo groot zijn dat een probabilistische analyse slechts leidt tot triviale resultaten.

Juist door deze problematiek is het helaas nauwelijks mogelijk om op een objectieve manier te komen tot een prioritering. Er is daarom voor gekozen de prioriteiten op subjectieve wijze vast te laten stellen door de Klankbordgroep Steenbekledingen van de TAW-techniek.

Bij het vaststellen van de prioriteiten is vooral gelet op de volgende aspecten:

- hoe vaak het probleem zich voordoet (het aantal dijkvakken waarin dit speelt),
- de geschatte invloed van het aspect, vooral op het resultaat van de toetsing,
- de bijdrage aan de oplossing van de totale problematiek.

De prioritering is in de één na laatste kolom in de tabellen gegeven. Onderstaand zijn de onderwerpen met de hoogste prioriteit nog eens gegroepeerd. Bij elk onderwerp is vermeld hoeveel tijd nodig is om dit probleem grotendeels op te lossen (a = enkele maanden; b = een jaar; c = enkele jaren):

Prioriteit 1:

- relatief open toplaag op filter (niet-dichtgeslibd, geen gietasfalt) (invloed golfklap), b - c*
- invloed van dichtslibbing toplaag en/of filter, c
- invloed van gietasfalt/beton ingieting over toplaag bij golfbelasting, c
- invloed van gietasfalt/beton ingieting over toplaag bij statische belasting, c*
- invloed van klemming op stabiliteit toplaag, c*
- stabiliteit bij belasting met zeer lange golven ($\xi > 3$), b - c
- lokale afschuiving tijdens golfaanval (taluds van 1:3 tot 1:2), a - b*
- scheve golfaanval (tot strijkgolven), b
- Benutten van bewezen sterkte bij toetsingen (eerst verkennende studie), b
- stabiliteit van havendammen onder water, b
- Noorse / Drentse stenen, b*
- Stabiliteit van basalt, b
- reststerkte van dijk kern en kleilaag na ontstaan van gat in bekleding, c*

- stormduur en stormverloop en aantal stormen tot reparatie, c
- kwantitatief info onzekerheden voor probsommen, b
- Faalkans analyse tbv normen acceptabele schade, c
- innovatieve meettechnieken (dijkopbouw), c

Prioriteit 2:

- bekleding op bermen (en buitendijkse opritten), a
- bekleding boven bermen, en/of boven MHW, b
- Aansluiting van steenzetting op verticale constructies (sluizen e.d.), a - b

Van sommige onderwerpen is het onderzoek reeds gestart. Deze zijn in bovenstaande lijst gemarkeerd met een *.

Na deze inventarisatie van de behoefte aan uitbreiding van de kennis op specifieke onderwerpen, moet een plan uitgewerkt worden hoe (en of) dat bereikt kan worden. Vanuit de praktijk is de behoefte geuit om bij het opstellen van zo'n plan ook rekening te houden met de spanning tussen de korte termijn en de lange termijn. Op de korte termijn is het nodig dat de verbeteringswerken voortgang vinden, zonder dat er gewacht moet worden op onderzoeksresultaten, maar ook zonder dat er dijkvakken onterecht gerenoveerd worden. Het onderzoek kan vooral op de langere termijn helpen bij de effectieve besteding van de middelen, terwijl het budget ten koste gaat van de renovatiewerken van nu.

Daarnaast hecht de praktijk eraan dat nieuwe methoden eerst goed overdacht worden en beoordeeld worden door de TAW alvorens ze toegepast worden. Dit traject moet een onderdeel zijn van de plannen.

Het is van belang om tijdens toekomstig onderzoek goed gebruik te maken van metingen in de praktijk. Verder moet de belastingkant (golfdrukken op het talud en verschildrukken over de toplaag) en de sterktekant (interactie tussen de stenen) evenwichtig worden uitgewerkt.

Thans wordt voorgesteld om ca. 10 onderwerpen te selecteren en voor elk van deze onderwerpen een gedetailleerd onderzoeksplan te maken waarin de onderzoeksmethoden, het benodigde budget en de tijdsplanning goed tot uiting komen. Gezien de complexiteit van de onderwerpen is het te verwachten dat het opstellen van elk van dergelijk plannen ongeveer 3 à 4 mensenweken werk kost. Het maken van de tien plannen zal dus een aanzienlijke inspanningen vergen (en budget), maar is waarschijnlijk de enige manier om te komen tot verantwoorde keuze uit de onderwerpen en een goede afweging tussen investering en verwacht resultaat.

Bijlagen (niet bijgevoegd)

Bijlage 1: Inventarisatie onzekerheden steenzettingen, Conclusies uit het eindrapport van de Bouwdienst, Karin Slijkhuis en Danielle Klaassen, sept. '99.

Bijlage 2: Veiligheid in rekentechnieken van steenzettingen, Conclusies uit het rapport van Infram, Jentsje van der Meer, febr. 2000

Bijlage 2

Resultaten enquête

@A3 invoegen met samenvatting enqueteresultaten

Bijlage 3

Verlagen interviews

Aan : Robert 't Hart (RtH) - Rijkswaterstaat DWW

Van : Jaap-Jeroen Flikweert (JJF)

Datum : 30 mei 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C00001/JJF/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT DIENST WEG- EN
WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen**

Interview met Robert 't Hart d.d. 29 mei 2002

Actie

1 **Inleiding**

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door JJF op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- geschiedenis van het steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

2 **Geschiedenis**

RtH is sinds ongeveer 5 jaar betrokken bij het onderzoek, als opdrachtgever en inhoudelijk begeleider.

Toplaagstabiliteit

In het verleden werd het grootschalige onderzoek vooral uitgevoerd met regelmatige golven (want voor verwerking van onregelmatige golven was de rekencapaciteit onvoldoende).

Verder zijn in het verleden vooral proeven uitgevoerd met rechthoekige blokken en nauwelijks met zuilen. De volgende zuilenproeven zijn uitgevoerd:

- enkele proeven in opdracht van fabrikanten
- basalt op zandasfalt (maar dat bezweek zo snel dat deze constructie niet veel praktische waarde heeft)
- basalt ingegoten met mastiek (maar betwijfeld kan worden of deze steenzetting in de Deltagoot waarheidsgetrouw kon worden nagebouwd)

Een normale standaard-zuilenzetting is nooit in de Deltagoot beproefd omdat daarvoor niet echt aanleiding was (voldoende vertrouwen in de regels voor dit type). Overigens is wel ander onderzoek op zuilen uitgevoerd, bijvoorbeeld doorlatendheidsproeven. De kleinschalige Scheldegoot is recentelijk niet gebruikt; RtH vindt dat deze schaal te

Actie

klein is voor metingen in de steenzettingen, maar wel geschikt voor metingen van waterdrukken op het talud.

Afschuiving

RtH schat in dat veel van de theorievorming gebaseerd is op bureaustudie; recentelijk is in elk geval geen labonderzoek uitgevoerd.

3 **Bespreking per kennisleemte**

Ten opzichte van het tiental in de enquête worden drie leemtes niet meer behandeld: op basis van de antwoorden is besloten dat doorgroeistenen, steile taluds en bermen minder belangrijk zijn. Naar aanleiding van de enquête worden daarnaast ook inzanding en reststerkte van de bekleding behandeld.

Per kennisleemte wordt de invulling van de eigen enquête besproken, vervolgens wordt vergeleken met de andere enquêtes en tenslotte worden de winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

Het doorlatendheidsonderzoek in de enquête betreft een laboratoriumonderzoek waarbij een stroming van onder naar boven door een steenzetting (filter en toplaag) wordt gesimuleerd, met het doel om de Forcheimercoëfficiënten van filter en toplaag te meten. Er wordt gemeten met gekantelde blokken met spleet en met Hydroblocks. De behoefte hieraan is voortgekomen uit Deltagootmetingen van drukken en in het veld gemeten doorlatendheden die niet overeen kwamen met de modellen. De resultaten kunnen leiden tot aanpassingen in ANAMOS en in ZSteen.

Voor deze kennisleemte is van belang dat er nieuwe, type-afhankelijke "6-ksi"-lijnen zijn ontwikkeld, maar die kunnen pas worden toegepast als ze geverifieerd zijn met ZSteen.

De verdere ontwikkeling van ZSteen kost in de komende jaren orde 1,5 \times -ton per jaar. Daarnaast wordt door geavanceerde toetsingen kennis opgedaan die tot verbetering van ZSteen leidt.

Wellicht is aan het eind van dit proces (over ongeveer 3 jaar) een verificatieproef met de Deltagoot nodig. Een goed geïnstrumenteerde Deltagootproef, inclusief analyse, kost ongeveer 3 \times -ton, maar vervolgprouven met dezelfde basisopstelling (maar andere bekleding of golfaanval) is veel goedkoper.

2. Ingegoten steenzettingen

Met 'verwerven van draagvlak' in de enquête bedoelt RtH de Klankbordgroep Steenzettingen van TAW, omdat hij de indruk heeft dat de ontwikkelingen nu vooral liggen bij Hans Johanson en in

Actie

Zeeland.

Verificatie met Deltagootproeven is niet zo zinnig omdat een ingegoten steenzetting nauwelijks na te bouwen is (op basis van de ervaring met basalten die was ingegoten met mastiek en granietzettingen die waren dichtgeslibd met bentoniet).

Het is niet nodig om de mechanisme volledig te begrijpen, maar een puur empirische regel volstaat niet. Concreet is het wel belangrijk om te weten hoe bijvoorbeeld de waterdruk fluctueert als functie van belasting en constructie, maar het waarom is niet de essentie.

Combinatie met het asfaltonderzoek ligt niet voor de hand. Statische overdruk speelt vaak geen rol wegens imperfecties in de ingegoten steenzetting.

Over het benodigde onderzoek: tot nu toe is één ruim geïnstrumenteerde proef gedaan en één waarbij slechts stijghoogtes zijn gemeten. Er zijn nog 2 à 3 vergelijkbare proeven nodig (alleen stijghoogte meten) ter verificatie en uitbreiding van de geldigheid. Dit volstaat om te komen tot een regel voor ingegoten bekledingen op een dicht filter. Voor de kosten van de proeven verwijst RtH naar Hans Johanson en Nisa Nurmohamed. Over ongeveer een jaar kan er een geaccepteerde regel zijn, die dan voor geavanceerde toetsing kan worden gebruikt. Na een paar jaar kan deze regel wellicht ruimer toepasbaar worden, maar het vaststellen of de regel geldt, blijft wellicht een geavanceerde zaak.

3. Noorse steen

RtH kan zich, net als Jentsje van der Meer, voorstellen dat dit bekledingstype niet moet worden vervangen en stelt (in de enquête) een versterkingsmethode voor om de klemming te garanderen. Ten aanzien van buitenlandse literatuur geeft hij aan dat Zweden misschien meer voor de hand ligt dan Noorwegen. Hij betwijfelt of het mogelijk is om bekledingen van Noorse steen goed in een laboratorium na te bouwen.

5. Klemming

Deze leemte kan niet los worden gezien van nr.1; de nieuwe “6-ksi”-lijnen bijvoorbeeld zijn gebaseerd op meetpunten en bevatten impliciet dus ook klemming.

Het losse blok is, zoals Mark Klein Breteler aangeeft, inderdaad het probleem.

Om numerieke modellering mogelijk te maken zullen waarschijnlijk behalve bureau-onderzoek ook trekproeven nodig zijn, maar dan van meerdere blokken tegelijk.

Actie

RtH schat in dat een algemeen toepasbare klemfactor misschien wel nooit zal worden vastgesteld omdat altijd een 'geavanceerde' verificatie nodig is of er overal klemming is. Een minimumfactor t.b.v. geavanceerde toetsing kan wellicht dit jaar al worden vastgesteld, maar de verwachting is dat die nog niet veel hoger dan 1 zal zijn.

Op een termijn van enkele jaren is wellicht meer nodig (20 à 40 % volgens de enquête). Het bureau-onderzoek kost ongeveer 1 \boxtimes -ton per jaar, een trekproef met meerdere blokken zou ongeveer 0,5 \boxtimes -ton kosten (maar misschien veel meer), en mogelijk is ter verificatie Deltagootonderzoek nodig (3 \boxtimes -ton, maar in de praktijk goedkoper door combinatie met andere proeven). Per toetsing zal ook dan nog steeds 'geavanceerde' verificatie in het veld nodig.

6. Scheve inval

Benodigd labonderzoek betreft een golfbak, dus geen goot. In de eerste plaats moet duidelijk worden of het probleem werkelijk bestaat. Modelproeven leveren de belasting en die kan in ZSteen worden ingebracht.

Het huidige ZSteen kan nog niet met scheve golfaanval uit de voeten. Het is nog niet duidelijk welke oplossing hiervoor zal worden gekozen: teruggrijpen naar Steenzet (de voorloper van ZSteen), getrucd rekenen met ZSteen of ZSteen aanpassen tot een meer-dimensionale versie.

Benodigd onderzoek: orde 1 \boxtimes -ton om zicht op het probleem te krijgen, nogmaals 1 \boxtimes -ton t.b.v. methodeontwikkeling + 0,5 \boxtimes -ton voor de bijbehorende analyse / bureaustudie.

7. Lange periode

Er moeten twee dingen worden onderscheiden: de modellen zijn gebaseerd op proeven voor $\xi < 3$, dus om de onzekerheid te verkleinen zijn proeven nodig voor $\xi > 3$. Daarnaast speelt het probleem dat de randvoorwaarden zwaarder lijken te gaan worden (maar dat valt buiten dit onderzoek).

Benodigd onderzoek: gedurende een of twee jaar kennis opdoen met kleinschalige proeven (1 \boxtimes -ton voor proeven, 0,5 \boxtimes -ton voor bureaustudie), vervolgens verificatie met Deltagootproef.

10. Afschuiving

RtH heeft de indruk dat het geen werkelijk probleem is. Boven Toetspeil wordt de constructie niet belast en onderin voorkomt de teenconstructie het mechanisme. Daartussen zou golfterugtrekking moeten zorgen voor voldoende druk, maar net als bij ingegoten bekledingen is het wellicht zo dat de bekleding niet bezwijkt omdat een kleine vervorming al voldoende drukafname oplevert.

Actie

Het is RtH niet duidelijk of deze kwestie opgelost wordt in het nu voorgestelde onderzoeksprogramma. In elk geval kan enig onderzoek op deze leemte zorgen voor zeer grote winst, als daar uit komt dat afschuiving bij de meeste constructies geen faalmechanisme is.

Inzanding

RtH heeft het gevoel dat inzanding, als deze een kleiïge fractie bevat, ook onder maatgevende omstandigheden blijft zitten. Een constructie mét inzanding kan worden doorgerekend met de bestaande rekenregels en levert dan winst op.

Tot nu toe is altijd aangenomen dat inzanding uitspoelt en zijn geen geavanceerde toetsingen op dit aspect uitgevoerd. RtH schat in dat invulling van deze leemte een langdurig proces zou kunnen worden, met name wegens commitment bij de beslissers. Als eerste stap zouden enkele geavanceerde toetsingen moeten worden uitgevoerd, waarbij op de dijk de lokale erosiebestendigheid van de inzanding wordt getest (met hoge-drukspuit bijvoorbeeld). Als die winst opleveren komt er meer aandacht en commitment en kan meer onderzoek worden gedaan. Als er commitment is zou het naar schatting niet meer dan een jaar hoeven te duren voordat er een geaccepteerde regel is.

Reststerkte van de bekleding

In de regels wordt onderscheid gemaakt tussen de reststerkte van topklaag + filter en de reststerkte van de klei. De onderbouw voor topklaag + filter is erg twijfelachtig, en gebaseerd op kleinschalige proeven (topklaagelementen van enkele cm). Bij de reststerkte van de klei is een twijfelpunt dat de onderliggende proeven zijn gedaan met een kleipakket, terwijl volgens RtH juist de beweging van de topklaagelementen de meeste erosie veroorzaakt. Vanzelfsprekend dienen in de toetsing de bestaande regels te worden toegepast, maar de indruk is niet dat het veel scherper kan.

Overige punten

In de enquête heeft RtH twee aanvullende leemtes genoemd. Voor bekleding boven de berm geldt dat slechts weinig inspanning nodig zal zijn, waardoor onderzoek al snel kosteneffectief is. Ten aanzien van voorlanderosie zijn met name bedekte steenzettingen van belang, naast de invloed op de randvoorwaarden.

Aan : Mark Klein Breteler (MKB) - WL Delft
Jaap-Jeroen Flikweert (JJF) - Royalhaskoning
Dirk Jan Peters (DJP) - Royalhaskoning

Datum : 7 juni 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/DJP/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT
DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen
Interview d.d. 29 mei 2002**

Actie

1 **Inleiding**

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door JJF op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- geschiedenis van het steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

2 **Geschiedenis**

Ter opening van het gesprek schetst JJF beknopt het volgende beeld:

- sinds begin jaren 80 wordt er 'echt' onderzoek gedaan
- aanvankelijk had dit zijn weerslag in analytische ontwerpmethoden
- sinds ca. 1992 is het onderzoek wat meer incidenteel
- sinds ca. 1992 is er onderzoek gedaan met onregelmatige golven
- tot 1995 veel onderzoek op blokken en vanaf 1997 op zuilen

MKB benadrukt dat er sterk gehecht moet worden aan onderzoek met voldoende omvang en diepgang om zaken echt op te lossen.

Onderzoek met een beperkte scope heeft wel zin voor een concrete vraag, maar draagt niet veel bij voor het totale steenzettingenonderzoek. Voorbeelden van goed opgeloste issue's zijn:

- Filterregels (onderzoek in jaren '80, vond zijn aanleiding in steenzettingen)
- Geotextielen op klei

Aanvankelijk werd er onderzoek gedaan naar systemen met een relatief dichte toplaag (nieuwe constructies van de jaren '60 en '70). Vervolgens kwam er aandacht voor de toplaaginstabiliteit versus de lek lengte van het systeem. In '91-'92 werd ontdekt dat de eigenschappen van de blokkenbekledingen op klei sterk afhangen van de kwaliteit van de klei. Er is een risico op erosie onder de blokken, wat instabiliteit van de toplaag kan veroorzaken. Er was een probleem onderkend. Er was toen nog geen goede oplossing.

De Wet op de waterkering vereiste toetsing met grote gevolgen. De wet heeft nog een tijdje op zich laten wachten.

Nadien is meer expliciet en gericht onderzoek gepleegd, zonder dat er mogelijkheden waren dit uitputtend te doen. Onderwerpen zijn:

- inzanding / inslibbing
- klei – reststerkte
- filters – reststerkte

Actie

- bermen en onregelmatige golven
Eind '98 is het onderzoek op een aantal onderwerpen stopgezet. Daarvoor waren meerdere redenen. Het idee was dat winst in ontwerp en toetsing die theoretisch kan worden behaald door specifieke onderwerpen goed uit te zoeken te veel tijd kosten, en er op korte termijn niet geïncasseerd kan worden omdat er te veel correlatie is tussen de onderwerpen. Verder speelt mee dat er reeds enige tijd een praktijk van toetsing en ontwerp is. Als men nu kennisleemtes invult, kan (achteraf) blijken dat er onterecht afgekeurd is. Sommigen zijn benauwd voor die wetenschap.

Regelmatige versus onregelmatige golven

Er is begonnen met regelmatige golven. Pas in de jaren '90 is er beproefd met onregelmatige golven. In de Scheldegoot is er gewerkt aan een database van drukken op de bekleding. Destijds was dit bedoeld voor een opvolger van Anamos, waarin ondiepe voorlanden, bermen en ook onregelmatige golven in zouden zitten.

Nu wordt feitelijk alleen gewerkt aan de evolutie van het numerieke programma ZSteen.

Omdat er relatief veel data beschikbaar is over regelmatige golven acht MKB het wenselijk en acceptabel om resultaten met regelmatige proeven via een vertaalslag te gebruiken voor de rekenregels. Dit gebeurt ook.

Blokken versus zuilen

Pas in 1997 is de aandacht verlegd naar zuilen. Men moet zich daarbij wel realiseren dat er tussen 1992 en 1997 geen grootschalig Deltagoot-onderzoek is gedaan.

Baslon is in 1982 in de Deltagoot geweest. Niet uitgebreid geïnstrumenteerd.

Er is één keer (1985) een basaltbekleding in de Deltagoot geweest.

De geschiedenis van het tot nu toe uitgevoerde steenzettingen-onderzoek lijkt te leren dat er zoiets als een (onbewuste) Deltagoot-cyclus bestaat. Om de 5 jaar een proevenseries, daarna 5 jaar verwerken en toewerken naar nieuwe proeven.

3 **Bespreking per kennisleemte**

Ten opzichte van het tiental in de enquête worden drie leemtes niet meer behandeld: op basis van de antwoorden is besloten dat doorgroeistenen en steile taluds minder belangrijk zijn. Het onderwerp bermen komt in het interview nog wel aan de orde. Naar aanleiding van de enquête worden daarnaast ook inzanding en reststerkte van de bekleding behandeld.

Per kennisleemte wordt de invulling van de enquête besproken. Waar relevant wordt MKB ook geconfronteerd met de respons van andere geënquêteerden. Tijdens het interview wordt de mening van MKB

Actie

inzake de te behalen winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

De kennisleemte A5 komt voort uit het feit dat er slechts één proef is met een afwijkende dichtheid van het bekledingsmateriaal. De bezwijkbelasting van de betreffende basaltbekleding was zorgelijk laag. Het is onduidelijk waardoor deze veroorzaakt is. Of er sprake was van een golfklap of dat de proef misschien niet goed uitgevoerd is, is onbekend. Het kan ook zijn dat de invloed van de dichtheid in de regels wordt overschat.

Onbekende effecten die een destabiliserende invloed zouden kunnen hebben op de open bekledingen zijn:

- scheve inval
- golfklap
- soortelijk gewicht
- inzanding / inslibbing van de toplaag (soms hogere stabiliteit)

Het fenomeen golfklap is in '96-'97 'snel' getackled met de 6-ksi-regel. In '97 en '98 is men goed van start gegaan. Implementatie in ZSteen loopt nog. Er is een ontwerp voor een nieuwe eenvoudige toetsregel voor bekledingen. Hierin bestaat een aparte categorie voor ingezande bekledingen. De toetsregel is echter nog niet geaccepteerd. Er wordt gewacht op verificatie met ZSteen om aan te tonen dat het golfklapverschijnsel door de nieuwe regels wordt afgedekt.

Over inzanding / inslibbing van de toplaag is weinig bekend. Het lijkt soms een geringe negatieve invloed te hebben op de stabiliteit, en soms een positieve.

Benodigd onderzoek:

Implementatie golfklap in ZSteen: ca. ½ jaar.

Deltagoot proeven (te combineren met ander onderzoek), serie van 2 à 3 proeven: € 300.000.

2. Ingegoten steenzettingen

Benodigd onderzoek:

- Praktijkmetingen 2 à 3 stuks à la de proef bij Kruiningen
- Bureaustudie ter verificatie (tesamen ca. € 100.000).
- Deltagoot proeven (te combineren met ander onderzoek), serie van 2 à 3 proeven: € 300.000.

Winst is te behalen bij $H_s < 2$ m.

Bij grotere golven wordt toch afkeuring verwacht. Het is nog niet mogelijk om aan te geven hoe de rekenregels er uit zouden komen te zien (bv. een grenswaarde voor de F-factor).

Het volgens MKB niet onmogelijk om een ingegoten bekleding in te bouwen en goed te proberen in de Deltagoot.

3. Noorse steen

Benodigd onderzoek:

Actie

- Scheldegoot proeven € 50.000.

Vooraf moet beoordeeld worden of het onderzoek inderdaad in de Scheldegoot uitgevoerd kan worden. Het is naar de mening van MKB niet onmogelijk om een onregelmatige en 'oude' bekleding zoals die van Noorse steen in te bouwen en goed te beproeven in de Deltagoot.

5. Klemming

Benodigd onderzoek:

- Trekproeven
- Trekproeven op groepen ter verificatie
- Bureaustudies

Kosten: € 100.000

Deltagootproeven liggen niet voor de hand omdat het juist om de zwakke schakel gaat.

Onderzoek moet resulteren in een klemfactor.

MKB stelt voor om nu reeds toe te passen (in geavanceerde toetsing, of met een waarschuwing dat zorgvuldig naar imperfecties moet worden gekeken):

- ongeveer 1,8 voor ingewassen open bekledingen (dus net iets hoger dan de 1,7 die al verborgen in de rekenregels zit)
- 1,2 voor alle overige bekledingen

In het verleden was er wel enige acceptatie van rekenen met klemming. Er is een case geweest waarbij met een inklemfactor van 2,5 gerekend is voor een bekleding van ingezande koperslablokken. Deze factor had weinig fysische achtergrond, en was voornamelijk gebaseerd op wat nodig was om het dijkvak goedgekeurd te krijgen.

Het rekenen aan klemming blijft voorlopig een geavanceerde kwestie omdat de zwakke schakel opgezocht moet worden

6. Scheve inval

Bij andere geïnterviewden bestaat twijfel of golfaanval tussen 30° en 60° werkelijk een grotere belasting oplevert. MKB geeft aan dat deze kennisleemte geïdentificeerd is door bureaustudie en oriënterende proeven in de Vinjébak. Bovendien is schade geconstateerd bij bekledingen in de Beaufortzee die mogelijk verband houden met zwaardere belasting bij golfaanval tussen 30° en 60°.

Zoals aangegeven in de enquête is alle voorbereidende bureaustudie uitgevoerd. Het plan van aanpak voor onderzoek is duidelijk en ingediend bij DWW. De kosten bedragen ongeveer €200.000.

7. Lange periode

De proeven aan de basis van de rekenregels zijn uitgevoerd in het gebied met $\xi < 2,5$. De regels kunnen worden toegepast tot $\xi = 3$, maar bij hogere ξ zouden de afwijkingen te groot kunnen zijn.

De benodigde kleinschalige proeven om het drukbestand van ZSteen

Actie

aan te kunnen vullen kosten ongeveer € 100.000, inclusief de bijbehorende bureaustudies. Zoals aangegeven in de enquête zijn wellicht verifiërende Deltagootproeven nodig.

10. Afschuiving

Voor deze leemte verwijst MKB in de enquête naar zijn notitie van 11 februari 2002. Het benodigde onderzoek kost ongeveer een jaar, en ongeveer 50 k€. Het is waarschijnlijk niet nodig om voor deze leemte verificatieproeven in de Deltagoot uit te voeren.

Inzanding/dichtslibbing

In geval toplaag en filter beide dichtgeslibd zijn werkt dit significant verhogend op de sterkte. Er wordt een gunstig effect van 10% ingeschat. Deze winst is kleiner in het geval dat klemming reeds benut wordt.

Onderzoek: een ingezande constructie kan met ZSteen worden doorgerekend, alhoewel niet gemakkelijk en niet altijd. Dat is echter niet de essentie van de leemte: dat is eerder de moeilijkheid om aan te tonen dat de inslibbing blijft zitten in maatgevende omstandigheden. Hierbij zou een 'Bewezen sterkte'- aanpak moeten worden gevolgd: een aantal ingezande vakken selecteren en monitoren of de inzanding al dan niet uitspoelt door 'jaarlijkse' stormen. Wat op de ene locatie 'jaarlijkse' stormen zijn, kunnen op de andere locatie maatgevende omstandigheden zijn.

Ter verificatie moet ook voor deze leemte worden gedacht aan Deltagootonderzoek.

Reststerkte van de bekleding

Het gaat daarbij om reststerkte van de toplaag, de filterlaag en de kleilaag.

De reststerkte van de kleilaag wordt zwaar onderschat in de toetsmethode. De onderliggende proeven zijn uitgevoerd zonder bekleding, maar MKB schat in dat de eroderende werking daarvan verwaarloosbaar is. Op dit punt kan op eenvoudige wijze winst geboekt worden. MKB schat in dat het relatief makkelijk zal zijn om tot bruikbare rekenregels te komen. Daarbij zal wel Deltagootonderzoek nodig zijn, te combineren met andere onderwerpen.

Inschatting van de winst: bij $H_s < 2$ m is de reststerkte relevant en zou versterking in een aantal gevallen niet nodig zijn. (Dit kan zeer relevant zijn voor de Oosterschelde.)

Overige punten

Bermbekledingen: in de huidige regels worden zowel de sterkte als de belasting onderschat, maar 'toevallig' klopt het met de proefresultaten. Dit is een ongewenste situatie. Het is niet zeker of onderzoek naar deze leemte aanscherping van de regels ('winst') zou opleveren: het is ook mogelijk dat de huidige regels juist aan de onveilige kant zijn. Het benodigde onderzoek betreft in elk geval uitbreiding van ZSteen; het is niet zeker of verificatie met de Deltagoot nodig is.

Actie

Havendammen: de 'winst' in vierkante meters is wellicht niet groot, maar het betreft wel moeilijk te verbeteren bekledingen in stadjes, waardoor de winst in geld groter is. De huidige regels (ook de recent ontwikkelde regels) zijn gebaseerd op de Afsluitdijkproeven van Van Kruiningen. Op dit moment worden Deltagootproeven uitgevoerd voor geavanceerde toetsing van enkele havendammen langs het IJsselmeer, maar deze zijn om financiële redenen niet geïnstrumenteerd. Misschien worden na de zomer wel geïnstrumenteerde proeven uitgevoerd.

Bekledingen boven de berm: voor deze leemte is kleinschalig onderzoek nodig plus verwerking van de resultaten in ZSteen. De kosten zijn € 100.000.

Aanwezig : Theo Stoutjesdijk (TS) - GeoDelft
Dirk Jan Peters (DJP) - Royalhaskoning

Datum : 7 juni 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/DJP/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT
DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen
Interview d.d. 31 mei 2002**

Actie

1 **Inleiding**

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door DJP op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- bespreking per leemte, waarbij de onderwerpen inzanding, reststerkte en probabilistiek extra ingebracht zijn.

2 **Bespreking per kennisleemte**

Per kennisleemte wordt de invulling van de enquête besproken. Waar relevant wordt TS ook geconfronteerd met de respons van andere geënuquêteerden. Tijdens het interview wordt de mening van TS inzake de te behalen winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

Bij deze kennisleemte is het bezwijkmechanisme van de bekleding van groot belang. Het gaat om de golfklap als maatgevende belasting. Nu geldt daarvoor de 6-ksi-regel.

Als het criterium is dat er geen enkel blok uit mag vliegen, dan is de regel feitelijk nog te licht. Ook bij 6-ksi vliegt er nog wel eens een (los) blok uit. De vraag is echter wanneer de bekleding als geheel zijn functie verliest. Dit gebeurt pas bij waarden hoger dan 6-ksi.

Een open bekleding kan naar de inschatting van TS 7 à 7,5-ksi hebben.

De winst zit in de differentiatiemogelijkheid. Regel als functie van de openheid van de toplaag.

Benodigd onderzoek:

- a) Studie en metingen wanneer blokken aan de haal gaan (€20.000)
- b) Golfrandvoorwaarden verder ontwikkelen. Proeven met grote meetdichtheid. Drukmodel is er al (ZSteen).
- c) Golfrandvoorwaarden berekenen met onregelmatige golven.

Actie

Nadeel is dat dit veel reken capaciteit vergt. Voordeel is dat dit nauwkeurig is.

Of b) of c) moet uitgevoerd worden. Beide trajecten kosten naar schatting € 300.000.

2. Ingegoten steenzettingen

De belasting op de bekleding is statische belasting door getij en belasting door golf rugtrekking en door een golfklap.

Uit beproeving tot nu tot blijkt dat de bekleding wel gelift kan worden., maar dat er dan onmiddellijk afstroom ontstaat en geen verdere drukopbouw. Daar waar de bekleding ingezand is gebeurt dit door een soort pipingmechanisme. De bekledingselementen blijven stabiel.

Indicatie van de winst:

Circa de helft van de bekledingen die nu twijfelachtig zijn kan worden goedgekeurd.

Benodigd onderzoek:

- Praktijkmetingen 2 à 3 stuks à la de proef bij Kruiningen
- Bureaustudie ter verificatie (tesamen ca. € 500.000).

3. Noorse steen

niet besproken

5. Klemming

Zowel aan de kant van de belasting als aan de kant van de sterkte moet er geoptimaliseerd worden. Er zijn effecten van de verminderde doorlatendheid en van de klemkracht.

Indicatie van winst:

Bij ingewassen bekledingen relatief veel winst: 1,5

Bij basalt is er nog meer winst ten gevolge van de onregelmatige vorm. Er is meer weerstand tegen de uittreding van een enkel blok.

Benodigd onderzoek:

- Diana sommen voor parameter bepaling en ijking van verondersteld bezwijkgedrag
- ZSteen berekeningen voor realistische drukken
- Trekproeven voor parameterbepaling van de bekleding

Hele pakket kost €500.000.

6. Scheve inval

niet besproken

7. Lange periode

niet besproken

10. Afschuiving

Er kunnen vier typen dijken onderscheiden worden.

Bekleding op kleidijk > afschuiving is geen criterium

Bekleding op zand > huidige kennis volstaat

Bekleding op kleilaag op een zandscheg > gaat om beperkte

Actie

hoeveelheid dijken

Bekleding op kleilaag op zandkern > berekeningen maken van de freatische lijn in de dijk. Geen grote besparing verwacht. Kosten berekeningen € 50.000 à 100.000.

Inzanding/dichtslibbing

Alle bekledingen onder gemiddeld hoogwater kunnen hieronder vallen. Alhoewel deze bekledingen soms afgekeurd worden, gelooft niemand van de betrokkenen dat ze inderdaad niet voldoen. Bij TS zijn ook geen schadegevallen bekend laag op de glooiing van de dijk. Het idee bij toetsing tot nu toe is dat het niet te garanderen is dat het zand blijft zitten. De praktijk zal naar de mening van TS zijn dat je lokaal piping krijgt. Dit betekent dat de bekleding gewoon vast blijft zitten, en dat er geen druk onder de bekleding kan ontstaan die bedreigend is voor de stabiliteit van de toplaag.

Indicatie van te behalen winst:

- Vilvoordse steen zal onvoldoende blijven.
- Van de overige bekledingen kan naar verwachting van TS alles wat nu een factor 1,5 onvoldoende sterk is, kan worden goedgekeurd.

Benodigd onderzoek:

- Kijkproeven,
- Bureaustudies,
- Verificatie op kleine schaal en vervolgens
- Eén afsluitende proef in de Deltagoot

Het onderzoek kan theoretisch nogal complex zijn omdat naast drukken uit potentiaalstromen, ook het fenomeen elastisch berging een rol kan spelen.

Kosten € 500.000.

Reststerkte van de bekleding

In ontwerp is er mogelijk reeds acceptatie van dit fenomeen. Er is nu een proefvak met een onbektele kleidijk in Saeftinge. Er is ieder jaar wat schade. Eens in de paar jaar is onderhoud nodig.

Bij toetsing is het tot nu toe nauwelijks acceptabel. Men moet schade accepteren en er van overtuigd zijn dat dit geen gevaar oplevert voor inundatie. Kostentechnisch is het meerekenen van reststerkte zeer interessant.

Nu is er ook regelmatig schade. Het is onzinnig dat dat niet meer toelaatbaar is. Bij grote oppervlakken oude bekledingen kan / kon na penetratie de schade teruggebracht worden tot eens in de 30 jaar. Als je een grotere kans op schade accepteert kan de F-waarde voor toetsing naar 6 à 7.

Onderzoek:

Er zijn twee proeven gedaan op klei (in 1996 en in 1998). Het verloop van de erosie is gemonitord en er is een vluchtige analyse gepleegd.

Nog benodigd onderzoek:

ST schat in dat met weinig extra inspanning (€50.000) een 100% verbetering tot stand gebracht kan worden door ontwikkeling van een

Actie

erosiemodel. Verbetering van zo'n model is vervolgens mogelijk door verificatie bijvoorbeeld in de Deltagoot of in de praktijk. De kosten voor dit laatste trjact bedragen bij benadering €1.000.000.

Probabilistiek

Van deterministische berekeningen naar niveau II berekeningen.

Nu zijn feitelijk alle parameters voor toplaag, filter en kleilaag conservatief ingeschat. Dit geeft nog een mogelijkheid voor optimalisatie van 10 à 20%. Ook de kansen op extreme belastingen moeten meegewogen worden. Een boventafel die bijvoorbeeld maar 3 à 5 uur belast wordt, kan met veel minder veiligheid af.

Potentiële winst:

Steenzettingen die 10 à 20% te licht zijn, zijn er door te slepen.

Benodigd onderzoek:

Opzetten veiligheidsfilosofie, kosten ca. €200.000.

Aanwezig : Roy Stroeve (RS) - RWS Bouwdienst
Dirk Jan Peters (DJP) - Royalhaskoning

Datum : 7 juni 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/DJP/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT
DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen
Interview d.d. 17 mei 2002**

Actie

1 Inleiding

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door DJP op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- huidige toestand steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

2 Huidige toestand steenzettingen onderzoek

RS is betrokken geweest bij diverse inventarisatiestudies en heeft een probabilistische analyse uitgevoerd voor enkele dijkvakken langs de Westerschelde. Hij is vanuit de Bouwdienst RWS gedetacheerd geweest bij het projectbureau Zeeweringen in Zeeland.

RS schets een algemeen beeld van de huidige toetspraktijk en de achtergrond van de toetsregels.

In het algemeen kampt men met te veel onzekerheden. Deze worden niet opgelost en blijven een veel te sterke invloed op de toetsresultaten houden.

RS mist een integrale en systematisch aanpak in het onderzoek, waarbij een of twee leemtes met een model (een hypothese) te lijf worden gegaan. Vervolgens moet er gericht en beperkt modelonderzoek worden gedaan. Altijd meerdere proeven per probleem omdat er tot nu toe altijd te veel spreiding opgetreden is. Onderzoek afsluiten met Deltagootproeven om schaalfouten te elimineren. Het resultaat moet dan zijn: een onderbouwde gemiddelde bezwijkrelatie en een onzekerheidsband.

De huidige praktijk is dat het model Anamos gebruikt wordt. Dit model is naar oordeel van RS erg ingewikkeld is te sterk empirisch en is ook niet getoetst met proeven met onregelmatige golven. Er is een groot verschil tussen proefresultaten en Anamos.

3 **Bespreking per kennisleemte**

Per kennisleemte wordt de invulling van de enquête besproken. Waar relevant wordt RS ook geconfronteerd met de respons van andere geënquêteerden. Tijdens het interview wordt de mening van RS inzake de te behalen winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

Naar de inschatting van RS is de basiskennisleemte hier dat Anamos niet onderbouwd is.

Het effect van de filterlaagdikte, het inwasmateriaal, spleten, de leklengte, de veroudering en het effect daarvan op de klemming is onbekend, dan wel naar de mening van RS niet op een modelmatig verantwoorde wijze ingepast.

De 6-ksi-regel, die tegelijkertijd een toepassingsgrens voor Anamos is, is maatgevend voor 95% van de bekledingen. Dit is een zeer onbevredigende situatie.

Benodigd onderzoek:

Een model baseren op 90% van het hydraulisch klimaat.

Zie ook pt. 2 van deze notulen.

Te behalen winst:

Het verschil tussen de toetswaarden en een goede proef is nu een factor 1,6 voor zuilen met relatief grote spleten. Een deel hiervan is als winst te incasseren. Veel bekledingen kunnen ca. 10 cm lichter.

2. Ingegoten steenzettingen

Zie 1.

Voor situaties met kleine spleten is er relatief weinig winst te voorspellen.

3. Noorse steen

Zie 1.

5. Klemming

Zie 1.

6. Scheve inval

RS adviseert dit nu nog niet mee te nemen.

7. Lange periode

Moet integraal worden meegenomen en als dat relevant is ingepast worden.

8. Steile taluds

Actie

Kijken wat er in Nederland ligt en als er reden voor is om tot ca. 90% dekking te komen, steile taluds meenemen.
(Eventueel 1: 2,5 meenemen.)

Reststerkte

Vanuit zijn ervaring met de waterschappen adviseert RS om reststerkte niet in de berekeningen mee te nemen. Het zal op sterke weerstand stuiten,
Het is verstandiger de reststerkte er altijd als extra veiligheid in te laten zitten.

Aanwezig : K. Pilarczyk (Pil) - RWS, DWW
Dirk Jan Peters (DJP) - Royalhaskoning

Datum : 7 juni 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/DJP/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT
DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen
Interview d.d. 14 mei 2002**

Actie

1 **Inleiding**

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door DJP op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- geschiedenis van het steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

2 **Geschiedenis**

Pil licht de ontwikkeling van de ontwerpfilosofie toe. 'Vroeger' was iedereen tevreden met enige schade. Een bekleding mag ca. 10 maal eerder bezwijken dan een dijk. Op een gegeven moment is dit middels onderzoek gekwantificeerd. Er is in de jaren '80 enige progressie in het inzicht in de werkelijke sterkte van de bekleding geboekt. Dit proces is echter nog niet afgerond. Het is wel gestagneerd. Een benadering waarbij interlocking, klemming, doorlatendheid en een aangepaste onderlaag in relatie tot elkaar worden onderzocht, zou het proces verder moeten helpen. In deze denkbeeldige tussenfase echter, waarbij alle bekledingen theoretisch een factor 1,5 à 2 te licht zijn, is de Wet op de waterkering van kracht geworden. Nu deze wet er is telt het oordeel van de expert niet meer, doch telt alleen de letter. En omdat men (nog) niet in staat is de veiligheid van de bekledingen aan te tonen, wordt besloten tot vervangingen waarbij geld geen rol lijkt te spelen. Veel oude systemen worden naar de overtuiging van Pil onterecht aangepakt en ook ervaart Pil een oneigenlijk element in het feit dat provinciale organen beslissen over de besteding van Rijksgeld. Het lijkt zo te zijn dat de bekleding de dijk zelf is, en zo mogelijk sterker moet zijn dan de dijk.

3 **Bespreking per kennisleemte**

Per kennisleemte wordt de invulling van de enquête besproken. Waar

Actie

relevant wordt Pil ook geconfronteerd met de respons van andere geënuquêteerden. Tijdens het interview wordt de mening van Pil inzake de te behalen winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

Benodigd onderzoek:

Bureaustudie naar hoe de constructie werkt. Dit is de eigenlijke leemte. Informatie over hoe de fysische condities zijn is niet in de eerste plaats relevant. Geen modelonderzoek meer. Ook geen nieuwe Deltagootproeven.

Toetsing:

Per locatie de opbouw van de constructie bestuderen. Dan zijn er feitelijk geen verrassingen meer. Als er geen problemen zijn met de ondergrond moet men de oude basalt-bekledingen laten liggen.

2. Ingegoten steenzettingen

Pil beveelt aan kennis uit de wegafalt-industrie te gebruiken. Er is daar veel kennis van interacties. Deze vervolgens toepassen op ingegoten bekledingen.

Er moeten twee typen ingegoten steenzettingen onderscheiden worden:

1. Oppervlakte dicht gemaakt / overgoten (Pil: “Moet verboden worden”)
2. Volledige penetratie, waarbij de voegen gevuld zijn en het geheel werkt als een plaat / ingegoten.

Allen het tweede type kan door de ingieting sterker geworden zijn. Alhoewel dat niet bij voorbaat vast staat. Bij een dichte toplaag wil je eigenlijk geen doorlatende ondergrond hebben. Er is de mogelijkheid om de doorlatendheid van de toplaag weer te vergroten door kleine gaten te boren.

De verminderde doorlatendheid wordt reeds goed ingeschat en is nu geen kennisleemte meer. De veroudering en het effect van de tijd op de doorlatendheid is wel een lacune. Pil waarschuwt echter voor al te omslachtig onderzoek hiernaar. (Leemte inzanding / dichtslibbing)

Bij ingewassen open bekledingen (oud en nieuw) wordt een winst van een factor 2 verwacht. Oude bekledingen zijn ook vaak geklemd met wiggan (stopwerk) en ingewassen met basaltsplit.

(Pil: Blokken op een geotextiel op klei (ook een hydraulisch dichte constructie) is in principe een goede constructie, waarbij de hydraulische belastingen en sterkte in balans zijn. Met deze constructie (zonder geotextiel) is begonnen op de Oesterdam in 1970. Later kwam er een geotextiel bij om uitspoeling te voorkomen. Een uitvullaag is slechts nodig als werkconditie bij aanleg of, indien nodig, voor grondmechanische stabiliteit.

3. Noorse steen

Actie

Geen aanvulling ten opzichte van enquête

Zie ook literatuur uit Denmark en Norwegen; 1 laag geplaatste steen

5. Klemming

Pil vraagt zich af waarom dit nog steeds niet is ingevoerd in de regels. Bij klemming het minimum dat altijd aanwezig is direct implementeren; voor blokken en apart voor ingewassen zuilen.

6. Scheve inval

Bekende voorbeelden zijn scheepsgolven in vaarwegen en bijvoorbeeld de langsgolven (windgolven) in de Nieuwe Waterweg. Korte golffronten kunnen scheve inval geven. Ze worden beïnvloed door de bodem. Het probleem niet te veel aandacht geven. Bijvoorbeeld een afstudeerder. Bij scheve inval worden de drukverschillen onder de bekleding in lengterichting van de dijk beïnvloed. Bij rechte inval van onregelmatige golven heb je dat ook.

7. Lange periode

Niet van groot belang in Nederland. De brekerparameter is sterk te beïnvloeden door ondiepe voorlanden. Dit wordt niet meegenomen bij de huidige toetsing, terwijl er een significant effect op de sterkte van de bekleding is. De golf raakt de bodem, verliest energie. Het spectrum verandert.

8. Steile taluds

Komt nauwelijks voor. In Nederland is er alleen schade geweest aan bekledingen langs de Nieuwe Waterweg. Pil beveelt aan het invoeren van een factor voor steile taluds: $\cos\alpha$ of $\cos\alpha \cdot f \sin\alpha$ (zie Coastal Protection, 1990)

9. Bermbekledingen

Een eventueel probleem met de bermen wordt opgeblazen. Vanaf de berm tot tegen de boventafel is er alleen stromingsbelasting. Er zijn geen schades bekend bij Pil. Pil beveelt aan een goede beschrijving van snelheden boven de berm te maken.

10. Afschuiving

Het bezwijkmechanisme is gebaseerd op een snelle spiegeldaling. Dit kan optreden in scheepskanalen. Het wordt ook toegepast bij daling door getij en door golfsterugtrekking. Dit is niet terecht en veel te conservatief. Pil beveelt aan de deskundigen bij elkaar te halen. "Nu gaat het niet goed."

Aan : Hans Johanson (HJ) - Rijkswaterstaat DWW
Hans van der Sande (HvdS) - Ws Zeeuwse
Eilanden

Van : Jaap-Jeroen Flikweert (JJF)

Datum : 7 juni 2002
Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief
Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/JJF/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT DIENST WEG- EN
WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen**

**Interview met Hans Johanson en Hans van der
Sande d.d. 6 juni 2002**

1 Inleiding

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door JJF op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- geschiedenis van het steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

Voorafgaand aan het interview merkt HvdS op dat zorgvuldig moet worden omgegaan met de aannamen die voor de analyse van dit project worden gedaan:

- als een m² van twijfel naar goed springt levert dat niet altijd even veel baten op, afhankelijk van de omliggende vakken (binnen een dwarsprofiel, maar ook er omheen).
- in werkelijkheid is de grens tussen twijfel en goed niet zo scherp vanwege allerlei onzekerheden in de basisinformatie: waarden van de Steentoetsparameters, toekomstige wijzigingen in de randvoorwaarden en in de kennis.

Deze onzekerheden zijn niet te vermijden, maar bij de analyse moet worden opgelet dat hierdoor de volgorde van de leemtes niet wordt beïnvloed.

2 Geschiedenis

JJF schetst beknopt het volgende beeld:

- begin jaren 80 onderzoek naar hydraulisch dichte filters
- eind jaren 80, begin jaren 90 opstellen globale en analytische methode aan de hand van Deltagootproeven op rechthoekige blokken en met regelmatige golven
- jaren 80 opstellen rekenregels voor afschuiving aan de hand van bureaustudie
- begin jaren 90 opkomend inzicht over structuurvorming onder blokken op klei

- begin jaren 90 opstellen rekenregels voor reststerkte van toplaag + filterlaag en van kleilaag aan de hand van laboratoriumproeven
- eind jaren 90 werd anamosprogramma uitgebreid met afkapcriterium ($6 \text{ ksi}^{-(2/3)}$)

HJ en HvdS stemmen in met dit beeld, met de aanvulling dat al in de jaren 80 inzichten ontstonden over structuurvorming onder blokken op klei.

HvdS vindt het zorgelijk dat veel van de rekenregels minimaal deels zijn gebaseerd op proeven met regelmatige golven, omdat juist de onregelmatigheid een bepalende factor kan zijn. Resultaten met regelmatige golven zijn alleen soms bruikbaar om een bovengrens te bepalen.

Het merendeel van de proeven zijn met blokken uitgevoerd terwijl zuilen nu het meest worden toegepast en ook voor toetsing belangrijk zijn (basaltzuilen). DWW heeft in de jaren 90 gepleit voor Deltagootproeven met zuilen, maar dat is niet gedaan. Dat in de jaren 80 vooral blokken werden beproefd komt doordat onderzoek van oudsher vooral op ontwerp wordt gericht (zoals recent bij blokken met afstandhouders, alhoewel recent ook granietblokken en overgoten basalt zijn beproefd).

Geconstateerd wordt dat bekledingen tegenwoordig een andere rol hebben dan vroeger: de oude kleidijken hadden reststerkte en de bekleding alleen een onderhoudsbeperkende functie. Toen klei schaars werd is overgestapt naar zandkernen (IJsselmeergebied) en na 1953 zijn de Zeeuwse dijken weliswaar opgebouwd vanuit de oude kleidijk maar daarbij is veel klei uit de oude dijk afgegraven (aan de boven- en binnenkant) om als kleilaag op het veel hogere nieuwe zandlichaam te worden aangebracht. Min of meer ongemerkt heeft de bekleding daardoor een veiligheidsfunctie gekregen, en dat wordt expliciet nu er veel kwantitatiever wordt gerekend aan de dijken.

HvdS vindt het erg jammer dat de dijken hierdoor een broos faalgedrag hebben gekregen: ook al voldoet de faalkans aan de eis, het falen zal veel sneller en ernstiger zijn dan wanneer de dijk faalt na een geleidelijk proces zoals erosie van een kleikern. Het feit dat een steenzetting bezwijkt, door overdrukken op de toplaag vanuit het filter, terwijl de constructie is bedoeld voor golfaanval van buiten af, ziet hij als een signaal dat de huidige brosse constructie eigenlijk geen goede keus is. Hij pleit voor herbezinning op de huidige filosofie, maar schat in dat dit een kwestie voor de zeer lange termijn is (tientallen jaren). De overgang naar inundatierisicobenadering kan hierbij een belangrijke rol spelen.

3 Bespreking per kennisleemte

Ten opzichte van het tiental in de enquête worden drie leemtes niet meer behandeld: op basis van de antwoorden is besloten dat doorgroeistenen, steile taluds en bermen minder belangrijk zijn. Naar aanleiding van de enquête worden daarnaast ook inzanding en reststerkte van de bekleding behandeld.

Per kennisleemte wordt de invulling van de eigen enquête besproken, vervolgens wordt vergeleken met de andere enquêtes en tenslotte worden de winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd. HvdS heeft vooraf geen enquête ingevuld, HJ wel.

1 Open toplaag op granulaire laag

HvdS vindt het zorgelijk dat het effect van dichtheid nooit goed is beproefd omdat bijna alle proeven met standaard-beton zijn uitgevoerd. Wellicht levert het iets op om de uitgevoerde proeven met graniet op dit punt te analyseren. Anders zou dit aspect bij een volgende proevenserie zeker moeten worden meegenomen (proeven met verschillende oplopende dichtheden).

HJ licht toe dat het golfklapmechanisme onder de aandacht kwam toen Deltagootproeven met zuilen werden gedaan. HvdS vindt dat bij het onderzoek niet moet worden blindgestaard op het golfklapverschijnsel (bijvoorbeeld door inbouwen in ZSteen), wegens het risico dat dan weer een ander verschijnsel over het hoofd wordt gezien. Het onderzoek moet worden gericht op het bezwijken van open toplagen, los van het precieze verschijnsel. Hij vindt daarom dat Deltagootonderzoek nodig is. Te veel vertrouwen in geavanceerde rekenregels is gevaarlijk, want daarvoor moet al worden aangenomen welke verschijnselen van belang zijn.

In relatie met de uitvoering (de aanleg van steenzettingen) heeft HvdS behoefte aan duidelijkheid over de optimale / maximale open ruimte per toplaagtype: een té grote open ruimte zorgt blijkbaar juist weer voor sterkteafname wegens golfklap.

2. Ingegoten steenzettingen

Met 'verificatie' bedoelt HJ in zijn enquête dat meer infiltratieproeven nodig zijn om de geldigheid en het geldigheidsgebied van de resultaten van de Kruiningenproef te vergroten. Er zouden nog ongeveer 5 proeven met een vergelijkbare constructie nodig zijn (basalt ingegoten met asfalt) om voor dat type geaccepteerde regels te krijgen. Parallel daaraan zijn nog ongeveer 5 proeven nodig met afwijkende constructies (overgoten i.p.v. ingegoten, Vilvoordse met beton i.p.v. basalt met asfalt).

De kosten hangen sterk af van de bemeting. Een geavanceerde toetsing (ruim bemeten) kost ongeveer 45 kE (100 kf), een beperkt bemeten proef kan de helft kosten. De eerste proeven zouden ruim bemeten moeten zijn, maar dat kan geleidelijk afnemen.

HvdS benadrukt dat per proef een grote lengte (orde 50 m) moet worden beproefd om randeffecten te beperken en variaties uit te vlakken. Het belangrijkste resultaat is de constatering of hetzelfde fenomeen optreedt als bij Kruiningen (toplaag licht een beetje op waardoor de druk kan ontsnappen). Een indicatie van waterdrukken kan ook worden verkregen door de hoogte van fonteintjes te meten.

Verificatie in de Deltagoot is niet nodig voor de wateroverdruk (constructie moeilijk na te bouwen en te specifiek), maar waarschijnlijk wel voor de combinatie met golfaanval waarvan nu wordt onderzocht welke invloed golfbeweging heeft op de stormbestendigheid van dergelijke constructies. Daarbij zou een constructie eerst zonder statische overdruk maar wel met golven moeten worden belast, en daarna de combinatie. Hiermee wordt getest of de combinatie inderdaad maatgevend is.

Intermezzo over Deltagootproeven: één proef kost ongeveer 220 kE (500 kf), waarbij één bekledingsconstructie tot bezwijken wordt belast. HvdS vraagt zich af of het niet mogelijk is om meer 'grafiekpunten' uit één proef te halen door bij verschillende ξ -waarden de belasting op te voeren tot bijna-bezwijken.

3. Noorse steen

HJ denkt dat bureaustudie nodig is om doorlatendheidsformuleringen op te stellen zodat Noorse steen met de analytische methode kan worden doorgerekend.

5. Klemming

HvdS denkt dat de belangrijkste winst kan worden geboekt bij constructies die niet in ANAMOS passen (bv. zonder granulaire laag). Een bezwaar tegen het meerekenen van klemming is dat het bezwijkgedrag daarmee nog brosser wordt. Hij schat in dat klemming niet op hoge tafels, dus alleen op lage tafels zal werken (vanwege de bovenbelasting). Een absoluut maximum voor de klemming lijkt 50 % van het blokgewicht. (bekledingen zonder filter zijn voornamelijk blokken op klei, daaraan is veel getrokken met vaak teleurstellende trekfactoren)

De losliggende steen is binnen de huidige rekenmethodiek ('geen beweging') een belangrijke beperking. Een grote bijdrage van klemming kan pas worden meegerekend als er een andere, probabilistische rekenmethodiek is, en dat is voorlopig nog niet het geval. De ooit vastgestelde klemfactor voor een bekleding van ingezande koperslabblokken was gebaseerd op een uitgebreide gegevensverzameling, waardoor er voldoende vertrouwen was in de klemming van alle blokken. Vooralsnog zal toepassing van klemming daarom alleen in geavanceerde toetsing kunnen.

6. Scheve inval

HJ geeft aan dat de recente schade in de Beaufortzee misschien niet goed vergelijkbaar is omdat het een bekleding van grote blokken (1 m bij 1 m) op zand is. Adam Bezuijen heeft onlangs berekeningen uitgevoerd waaruit het verschijnsel ook bleek. De wijze waarop de overdrukken zijn berekend dient met zsteensommen te worden geverifieerd. Om juiste invoergegevens te verkrijgen zullen toch proeven nodig zijn, in een golfbak. HvdS geeft aan dat dit onderzoek kan worden gecombineerd met kennisleemte nr. 7 (lange periode).

7. Lange periode

Er is inmiddels duidelijkheid dat onderzoek naar deze kennisleemte alleen aanscherping / winst kan opleveren. Kleinschalig onderzoek volstaat, mogelijk in combinatie met de leemte scheve inval.

10. Afschuiving

De geplande bureaustudie zal binnenkort beginnen. Er zijn gedachten dat afschuiving niet voor kan komen bij steenzettingen met een kleilaag omdat de overdruk door een kleine verplaatsing af zou kunnen vloeien (zoals bij ingegoten bekledingen). HJ merkt op dat er wel een verschil is tussen oplichting bij een gepenetreerde bekleding op een granulaire filter en het oplichten van de kleilaag op zand. Omdat zand makkelijker kan verplaatsen bij een eventuele oplichting van enige mm dan granulaire materiaal, zal eerder een S-profiel kunnen ontstaan.

Inzanding

HvdS denkt dat de oppervlakte en de winst niet groot kunnen zijn, maar enige winst onderin de glooiing is wel denkbaar. Het is HJ niet duidelijk of met de huidige rekenregels de winst door inslibbing al kan worden gekwantificeerd. Wellicht met ANAMOS door de doorlatendheid klein te maken? Maar dan moet het wel duidelijk zijn dat de inslibbing onder maatgevende omstandigheden aanwezig blijft.

Tot dusver is alleen bij Mosselbanken een ingeslibde bekleding geavanceerd getoetst, maar daar bestond de onderlaag uit zeer dichte slakken. HJ geeft aan dat er een verband is met de infiltratieproef in Kruiningen, waar bleek dat de onderlaag volledig schoon spoelde bij een belasting die ongeveer gelijk aan de maatgevende was (maar dan niet door golven opgewekt). De vraag is of het ook bij een niet-ingegoten steenzetting voor kan komen dat de toplaag dicht blijft (bijvoorbeeld door wieren) maar de onderlaag spoelt schoon. Binnenkort zal daarvoor een verificatieproef plaatsvinden (op een ander dijkvak). Als de inslibbing wel blijft zitten is het denkbaar om er rekening mee te gaan houden, maar dan zijn meer van dat soort verificatieproeven nodig. Eén zo'n proef kost ongeveer 9 kE (20 kf).

Reststerkte van de bekleding

HJ denkt dat reststerkte binnen de huidige uitgangspunten en met de huidige rekenregels in Zeeland weinig zal opleveren. Van belang zijn de opbouw van de dijken na 1953, de vele doorbraaklocaties waar helemaal geen kleikern is en de onzekerheden over de kleikwaliteit. Gegevensverzameling op dit punt moet worden gezien als een belangrijke kennisleemte. Een uitgangspunt hierbij is ook het oprolmechanisme (schade op een lagergelegen deel van de bekleding plaats in het dwarsprofiel breidt zich snel naar boven toe uit bij hoger wordende waterstand, waardoor reststerkte waarde heeft als het over de hele klapzone aanwezig is); wellicht zou dit oprolmechanisme nader moeten worden onderzocht. Verder speelt de overweging dat, als een deel van de veiligheid vanuit de reststerkte moet komen, er na storm te veel schade zou zijn om in korte tijd te worden gerepareerd.

Het is niet duidelijk of de huidige LTV-regels al dan niet te conservatief zijn; daarover bestaat discussie tussen GD en WL. HvdS twijfelt aan de zin van het rekenen met de reststerkte van toplaag en filterlaag.

Tot dusver is nog niet doorgerekend welke bijdrage de reststerkte voor bijvoorbeeld de Oosterschelde zou kunnen leveren en ook het werkelijke risico van teveel schade na de maatgevende storm is nooit gekwantificeerd. Voor de Oosterschelde geldt overigens een lange stormduur: minimaal twee getijden.

HJ en HvdS schatten in dat de reststerkte van een zandkern verwaarloosbaar is, ook al betreft het een dwarsprofiel van 'Zeeuwse' afmetingen. HJ denkt dat in dat kader wellicht onderzoek nodig is naar bresgroei van een totale Zeeuwse situatie waarbij de bekleding, de resterende hoeveelheid klei en het zandlichaam meedoen.

Overige punten

Bermbekledingen: HJ betwijfelt of het zinnig is om dit nader te onderzoeken, omdat de huidige regels blijkbaar correcte resultaten geven. De nieuw geïntroduceerde klokken suggereren in ieder geval een grote mate van kennis tav dit probleem

Stabiliteit hoog voorland: op detailniveau is deze leemte zeker relevant voor kosten-baten, want als op een voorland kan worden vertrouwd is vaak geen nieuwe teenconstructie nodig. Verder levert het veel baten op als juist door een hoog voorland een ondertafel niet hoeft te worden vervangen, terwijl de bekleding er boven zelf sterk genoeg is.

Aanwezig : Jentsje van der Meer (VdM) - Infram
Jaap-Jeroen Flikweert (JJF) - Royalhaskoning
Dirk Jan Peters (DJP) - Royalhaskoning

Datum : 7 juni 2002

Kopie : projectteam Royal Haskoning, file, archief

Onze referentie : 9M0327.A0/C0000@/DJP/RPET/Nijm

**Betreft : RIJKSWATERSTAAT
DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE
Kosten-batenanalyse kennisleemtes
steenzettingen
Interview d.d. 31 mei 2002**

Actie

1 **Inleiding**

De opzet van het interview is als volgt:

- toelichting door JJF op kader en status project (niet uitgewerkt in dit verslag)
- geschiedenis van het steenzettingenonderzoek
- bespreking per leemte

2 **Geschiedenis**

VdM heeft veel steenzettingenonderzoek van nabij gevolgd, doch is er zelf niet bij betrokken geweest. In het interview geeft hij het volgende overzicht en enige reflecties.

Jaren '80: onderzoek naar de hydraulische dichtheid van filters

Eind jaren '80 formulering toplaaginstabiliteit met focus op het ene blok '92 Handboek

Begin jaren '90 proeven met blokken op klei (werden reeds lang toegepast)

Enige commotie vanwege verontrustende proefresultaten leidde uiteindelijk tot de oprichting van het Projectbureau Zeeweringen in '97. Van '92 tot '96 geen Deltagoot-onderzoek, wel doorlatendheids-onderzoek.

Het onderzoek verloopt telkens in stapjes, waarbij geconstateerd kan worden dat het Deltagoot-onderzoek sterk initiërend werkt.

In '92 is ook onderzoek naar reststerkte uitgevoerd. Toplaag en filterlaag zijn onderzocht in de Scheldebak, de kleilaag in de Deltagoot.

Betreffende afschuiving zijn theoretische beschouwing van voor '92 (steenzettingen op zand) in de LTV beland. Recent is er bureaustudie uitgevoerd om te komen tot minder conservatieve rekenregels.

Heden

Actie

In het algemeen heeft VdM de indruk dat de onzekerheid in de methoden groot is en men daarom (zeer) conservatieve aannamen doet. Men heeft de kritiek dat er altijd wel een blok uit gaat. En er zijn nog steeds geen rekenregels die dat coveren en zo mogelijk toelaten. Van daaruit ontstaat de filosofie dat er dan maar geen blok uit mag. VdM stelt dat de eis dat er 1/10000 jaar geen blok uit mag absurd is. Voorts bespeurt hij ook de tendens om de hydraulische randvoorwaarden ook nog eens conservatief te formuleren.

VdM is overigens van mening dat er sprake is van een onzuiver element als de beheerder een stem heeft in beslissing tot vervanging van bekledingen, omdat de beheerder belang heeft vanuit het (dagelijks) beheer.

Toekomst

VdM brengt in dat het niet ondenkbaar is dat de inundatiekans in de toekomst bijgesteld wordt. De gevolgschade is sinds de formulering van de Deltawet met een factor 100 toegenomen. Bij gelijk blijven van het geaccepteerde risico dat de opstellers van de Deltawet voor ogen hadden, zou men de kans (nu 10^{-4}) naar beneden moeten bijstellen.

Zo beschouwd hoeft de huidige veilige praktijk van werken niet te betekenen dat er sprake is van verspilling van middelen.

3 **Bespreking per kennisleemte**

Ten opzichte van het tiental in de enquête worden drie leemtes niet meer behandeld: op basis van de antwoorden is besloten dat doorgroeistenen, steile taluds en bermen minder belangrijk zijn. Naar aanleiding van de enquête worden daarnaast ook inzanding en reststerkte van de bekleding behandeld.

Per kennisleemte wordt de invulling van de enquête besproken. Waar relevant wordt VdM ook geconfronteerd met de respons van andere geënquêteerden. Tijdens het interview wordt de mening van VdM inzake de te behalen winst en het benodigde onderzoek zo goed mogelijk gekwantificeerd.

1 Open toplaag op granulaire laag

De kennisleemten A1 en A5 betreffen respectievelijk de golfklap en een proef op een basalt-bekleding met een verrassend lage bezwijkwaarde.

VdM vraagt zich af waarom het golfklap-mechanisme in andere proeven nooit eerder is voorgekomen en stelt dat het eigenlijk niet nodig zou moeten zijn om de aparte 6-ksi-regel aan de toets- en ontwerpformules toe te voegen.

2. Ingegoten steenzettingen

Geen aanvulling op enquête.

Actie

3. Noorse steen

Als de bekleding wordt afgekeurd mag ze vanwege de cultuur-historische waarde niet worden verwijderd. De inspanning moet worden gericht op aanvullende en beschermende maatregelen die het mogelijk maken de bekleding te behouden. Bij inschatting van de 'winst' wordt ook aandacht gevraagd voor de monumentale waarde. Bij onderzoek op deze leemte zou ook gekeken moeten worden naar Reststerkte. VdM stelt geen waarde te hechten aan het zogenaamde oprolmechanisme. Ook de mogelijkheid van benutten van bewezen sterkte is interessant. De bekledingen zijn zeer oud.

5. Klemming

VdM bepleit een andere filosofie. Er ligt altijd wel een blok los. Men moet zich niet richten op het sterk genoeg maken van de kleine zwakke schakel, doch lokale schade accepteren. Probabilistisch benaderen hoeveel blokken er los liggen en potentiëel kunnen verdwijnen bij storm. Vervolgens rekenen met reststerkte.

6. Scheve inval

Bij onderzoek tot nu toe zijn alleen drukken boven op het talud gemeten. VdM plaatst vraagtekens bij de conclusie van reeds uitgevoerd onderzoek dat de belasting op de steenzetting bij scheve inval onder een kleine hoek hoger is. Dit verschijnsel is in elk geval niet geconstateerd bij laboratoriumonderzoek naar golfoploop dat hij heeft uitgevoerd.

7. Lange periode

VdM breekt een lans voor meer proeven met onregelmatige golven. Regelmatige golven bestaan in de natuur niet. Daarom is het in zijn ogen ook niet relevant om te weten wat er bij een specifieke golf gebeurt. Deze is namelijk niet bepalend voor de stabiliteit. De interactie van de afzonderlijke onregelmatige golven kan zorgen voor een andere belastingssituatie dan van regelmatige golven. Altijd rekenen en beproeven met een golfspectrum. Wel geeft VdM aan dat ten behoeve van de huidige kennisleemte aanvullend onderzoek naar de belasting door lange periodes (langere piekperiodes bij een golfspectrum) gewenst is. VdM vindt het onterecht dat de nu beschikbare proeven met $\xi < 2,5$ zomaar worden geëxtrapoleerd.

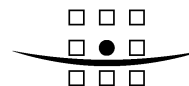
9. Bermbekledingen

VdM merkt op dat de relevantie van onderzoek op dit terrein afhangt van de hoeveelheid afkeur op dit moment.

10. Afschuiving

Bij afschuiving meldt VdM dat hij geen geotechnicus is.

Inzanding / dichtslibbing



Actie

Het issue hier is: hoe kun je aantonen dat het zand / slib onder maatgevende omstandigheden blijft zitten?

De praktijk bij toetsing is nu dat het twijfelachtige gebied is verruimd en dat er geen mogelijkheid tot afkeur is voor dat er geavanceerd getoetst is. In de praktijk tot nu toe, heeft dit echter nog niet tot meer goedkeuringen geleid.

Reststerkte van de bekleding

Er is ca. 5 jaar bewust niet meer naar reststerkte gekeken. De potentiële winst is echter enorm. Beginnen met dijken waarbij de golfhoogte relatief beperkt is. Bij $H_s < \text{ongeveer } 1,5 \text{ m}$ hoeft er naar het gevoelen van VdM niet snel tot vervanging van bekledingen te worden besloten.

Ook bij grotere dijken en heviger golfaanval is er winst te behalen. Zeker als er overhoogte en overbreedte in het spel is. Als de bekleding 'bezwijkt' is het niet afgelopen

- Eén blok verdwijnt
- Op boogwerking blijven de andere blokken nog hangen
- Het filter ligt echter bloot en spoelt uit. Dit ondermijnt de andere blokken.
- De bekleding zakt in en wordt instabiel.
- Blokken en filtermateriaal migreren en de dijkelling wordt flauwer.
- Deze situatie kan stabiel zijn als er maar voldoende materiaal is. Bij zuidwal van de Maasvlakte was er geen noemenswaardige schade aan het dijkprofiel nadat er grote schade was opgetreden aan de bekleding van steenzettingen op het grindstrand (1:10).

Voorts is er dan nog de sterkte van een eventueel aanwezige kleilaag of kleikern.

De vraag is echter of dit uit het oogpunt van beheer wenselijk is. Wat moet je aan onderzoek doen om een dergelijk benadering geaccepteerd te krijgen?

Van der Meer heeft zelf een notitie geschreven om onderzoek op dit onderwerp te initiëren.

Hij gaat uit van een potentiële winst van € 120 à 240 miljoen. De stelling is dat met onderzoek op het onderwerp reststerkte in ieder geval de vervanging van de bekledingen van de Wieringermeerdijk en de binnenzijde van de afsluitdijk worden voorkomen.

Kosten van het onderzoek:

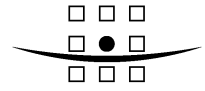
Bureaustudie: € 80.000 à € 260.000

Deltagoot: € 3.000.000 à € 6.000.000

Golfoverslagsimulaties (praktijkproeven): € 100.000 à € 1.000.000

Bewezen sterkte

Bij het IJsselmeer en het Markermeer kan het principe van bewezen sterkte mogelijk diensten bewijzen. Vroeger, in de tijd van de Zuiderzee, waren de condities slechter en veel bekledingen dateren uit die tijd.



ROYAL HASKONING

Actie

Bijlage 4

Verslag Workshop Kennisleemtes

Deelnemers
Roel Cirkel
Peter Donk
Jaap-Jeroen Flikweert
Herbert Geernaart
Frank den Heijer
Wilgerd Heldens
Leo van Herwerden
Kor van der Hoek
Hans Johanson
Hans Koevoets
Tonny Maranus
Nisa Nurmohamed
Joris Perquin
Hans van der Sande
Martin Stroo
Wim Veldhuis

Afschrift aan
Deelnemers
Pieter Brolsma (DGW)
Luit-Jan Dijkhuis (DGW)
Tjalle de Haan (DWW)
Ale van der Hoek (DGW)
Harry de Looff (DWW)
Jan-Willem Nieuwenhuis (DNH)
Bart Parmet (DWW)
Albert Prakken (DNN)
Eric Regeling (RDIJ)
Diederik Timmer (DWW)
Simon Vereeke (DZL)

Van
Nisa Nurmohamed
Datum Workshop Kennisleemtes
26-6-2002
Onderwerp
Workshop Kennisleemtes

Doorkiesnummer
015-2518529
Bijlage(n)
3
Kenmerk
PZAO-V-02012

Inleiding

Op 26 juni 2002 is bij het projectbureau Zeeweringen in Goes de Workshop Kennisleemtes gehouden, waarbij in subgroepen gewerkt is aan mogelijke uitvoeringsscenario's voor herstelwerkzaamheden aan dijkbekledingsvakken in de Oosterschelde.

De Workshop Kennisleemtes past in het kader van het project "Kennisleemtes versus uitvoering" dat in opdracht van de DWW wordt uitgevoerd door Haskoning. In dit project wordt voor een aantal geselecteerde kennisleemtes m.b.t. dijkbekledingen, een kosten/baten analyse uitgevoerd. De watersystemen Westerschelde, Oosterschelde en het IJsselmeer worden hierbij beschouwd, omdat voor deze watersystemen de toetsing op veiligheid is uitgevoerd. In bijlage 1 zijn de geselecteerde kennisleemtes weergegeven inclusief een toelichting. De kennisleemtes zijn geselecteerd op basis van wetenschappelijke noodzaak en op basis van de grootte van bekledingsoppervlak waarvoor de kennisleemte van toepassing is. In de Workshop Kennisleemtes is grafisch materiaal verstrekt waarbij per geselecteerde kennisleemte inzichtelijk is gemaakt waar deze langs de Oosterschelde voorkomt en om hoeveel m² het gaat. Verder is informatie verstrekt m.b.t. het oplossen van de kennisleemtes, door aan te geven wat het aan tijd en geld kost om de kennisleemtes om te zetten in werkbaar toetsmethodieken. Zie hiervoor bijlage 2.

Doel van de Workshop Kennisleemtes

“Inzicht in het omgaan met kennisleemtes” werd door iedere deelnemer als doel van de Workshop Kennisleemtes vastgesteld.

Wanneer de toetsing van een dijkbekleding niet leidt tot een definitieve score, wordt dit in veel gevallen veroorzaakt door een kennisleemte (ontbreken van kennis). Een andere oorzaak is bijvoorbeeld, dat te weinig veldwerk is verricht. Een kennisleemte kan ook een reden zijn dat bekledingen (vanwege “de dan maar gehanteerde marges”) onterecht worden afgekeurd.

Het is denkbaar dat bekledingen met een score “twijfelachtig” niet worden verbeterd totdat voldoende inzicht bestaat over de kennisleemte om wel tot een definitieve score te komen. Het is ook denkbaar dat de bekledingen worden hersteld en de kennisleemte onopgelost blijft. De keuze voor het omgaan met kennisleemtes wordt niet alleen door kosten bepaald.

Scenario's Oosterschelde in subgroepen

In vier subgroepen (zie bijlage 3) is onder leiding van een subgroepentrekker gewerkt aan scenario's voor de Oosterschelde om zo tot het vastgestelde doel te komen. Het is hierbij de bedoeling geweest aan te geven hoe herstelwerkzaamheden moeten worden uitgezet (welke dijkvakken wanneer herstellen), met parallel daaraan eventueel het opstarten van onderzoek t.b.v. het oplossen van kennisleemtes (welke kennisleemtes wanneer oplossen). Het bijbehorende tijdschema en kostenplaatje diende eveneens aangegeven te worden. De resultaten zijn per subgroep plenair gepresenteerd.

Ten behoeve van de eenvoud en werkbaarheid zijn de onderstaande uitgangspunten gehanteerd, bij het werken aan de scenario's.

- De golfrandvoorwaarde zijn een vast gegeven.
- Het oplossen van een kennisleemte leidt per definitie tot een toetsmethodiek.
- Het toepassen van een toetsmethodiek leidt tot de score “goed” of “onvoldoende”, elk met een kans van 50%.
- Wanneer op een dijkvak meerdere kennisleemtes tegelijk aanwezig zijn, moeten alle aanwezige kennisleemtes opgelost worden om tot een definitieve toetsscore van het dijkvak te komen. De kans dat de definitieve toetsscore op “goed” zal uitkomen is hierbij 30%, de kans op een score “onvoldoende” is 70 %.
- De kosten voor dijkherstel bedragen 2,5 miljoen euro per strekkende kilometer dijk.
- Per jaar is 10 kilometer dijkherstel realiseerbaar.

Conclusies

Het werken aan scenario's voor de Oosterschelde is in de subgroepen als positief en verhelderend ervaren. Het verstrekte grafische materiaal heeft voor de deelnemers een belangrijke bijdrage geleverd tot het verkrijgen van inzicht in de problematiek rond kennisleemtes.

De onderstaande conclusies zijn door alle deelnemers gedragen.

- Onderzoek m.b.t. het oplossen van kennisleemtes moet zo spoedig mogelijk opgestart worden.
- Het abstracte begrip “kennisleemtes” is tastbaar geworden.
- Het probleem “kennisleemtes” is oplosbaar.
- De kennisleemtes vormen geen conflict met de uitvoering.
- De benodigde kosten/tijd voor het oplossen van kennisleemtes staan in geen verhouding tot de baten.

Als aandachtpunten zijn genoemd het bepalen van de hardheid van de onderzoekskosten en doorlooptijden en het parallel opstarten van onderzoek, eventueel met behulp van bureaus in het buitenland.

De bovenstaande conclusies moeten worden gezien binnen het kader van een groter geheel. De kennisleemtes die beschouwd zijn, hebben bijvoorbeeld alleen betrekking op het toetsen. Verder is de prioritering binnen de Oosterschelde niet representatief voor het beeld in heel Nederland. Ook is m.b.t. de golfrandvoorwaarden nadere nuancering mogelijk.

Het geschetste kader waarbinnen de Workshop Kennisleemtes is gehouden, is door de deelnemers niet als beperkende factor gezien m.b.t. de gedragen conclusies. Deze blijven naar het oordeel van de deelnemers onverkort van kracht. Het vooraf gestelde doel van de Workshop Kennisleemtes: "Inzicht in het omgaan met kennisleemtes", werd door iedereen gekwalificeerd als: "ruimschoots gehaald".

Hoe verder

De resultaten van de Workshop Kennisleemtes zullen als bijlage opgenomen worden in de rapportage van het project "Kennisleemtes versus uitvoering". In dit project wordt de kosten/baten analyse uitgebreider uitgevoerd, onder andere omdat meerdere watersystemen worden beschouwd en omdat meerdere aspecten worden meegenomen zoals aanwezige sterkte-tekorten bij de dijkvakken en mogelijk op te lossen sterkte-tekorten m.b.v. het oplossen van kennisleemtes.

De resultaten van het project "Kennisleemtes versus uitvoering" zullen breed verspreid worden, zodat de discussie m.b.t. kennisleemtes helder kan worden gevoerd.

Bijlage 3A: Geselecteerde kennisleemtes

Nr.	Omschrijving leemte	Toelichting
1	Open toplaag op granulaire laag	Met het Deltagoot onderzoek van 1997 en 1998 is voor het eerst gedetailleerde kennis beschikbaar gekomen over relatief open toplagen (Basalton, Hydroblocks, etc). Tijdens de analyse van de proefresultaten is duidelijk geworden dat de golfklap verantwoordelijk kan zijn voor de maatgevende belasting. Het is gebleken dat ANAMOS de sterkte en de belasting voor dit type onderschat, maar dat het desondanks de stabiliteit nog redelijk nauwkeurig voorspelt (geen klemming, maar ook geen invloed van golfklap). Het nieuwe programma ZSteen, dat nu als testversie gereed is, maakt in veel gevallen scherper rekenen mogelijk, maar moet nog geverifieerd worden aan de hand van de Deltagootresultaten.
2	Ingegoten steenzettingen	Sommige natuursteen bekledingen zijn in het verleden ingegoten met gietasfalt of met beton. Hierbij is de bekleding opnieuw gezet en vervolgens vol en zat ingegoten. De stabiliteit van een dergelijke constructie tijdens golfaanval is vrij groot, maar hoe groot is nog niet bekend. Een belangrijk verschil met een asfaltbekleding is de grote stijfheid van de toplaag. Daarnaast ondervindt een ingegoten bekleding een statische belasting als de waterstand onder de bekleding hoger is dan de buitenwaterstand. Voor vele bekledingen wordt verondersteld dat dit de maatgevende belasting is. De grootte van de belasting en de sterkte kan echter nog nauwelijks berekend worden. Recent is een prototypeproef uitgevoerd waarmee veel kennis is vergaard, maar voor algemeen toepasbare regels is nog onderzoek nodig.
3	Noorse stenen	Kenmerkend voor dit type toplaag zijn de grote afgeronde stenen van 20-50 cm op grof filter. Thans kan de stabiliteit slechts bij benadering en conservatief bepaald worden door het te schematiseren als breuksteen (dus met zeer weinig interactie). Er is onderzoek nodig om uit te zoeken hoe het werkt met de doorlatendheden en de interactie tussen de toplaagelementen.
4	Klemming	Met klemming wordt de interactie tussen de stenen bedoeld. De huidige rekenmodellen (ANAMOS en Steenzet) gaan uit van een los blok dat met weinig of geen klemming tussen de andere blokken ligt. Ingeschat wordt dat er in veel gevallen winst haalbaar is, maar daarbij is wel van belang dat in de bekleding op de dijk ook werkelijk klemming aanwezig is. Het lopende en bestaande onderzoek richt zich op het bepalen van een vermenigvuldigingsfactor voor de sterkte die in de rekenmodellen kan worden verwerkt.

Nr.	Omschrijving leemte	Toelichting
5	Scheve inval	In het verleden is vooral de belasting tijdens loodrecht invallende golven onderzocht. Een oriënterend onderzoek naar de invloed van de hoek van inval heeft laten zien dat de belasting bij scheve golfaanval toe kan nemen (tussen 30 en 60 graden). Bij zeer scheef invallende golven (groter dan 60 graden) gaat de belasting weer afnemen. Er is onderzoek nodig om dit te verifiëren en vervolgens, indien nodig, te verwerken in de rekenregels.
6	Lange periode	Het onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen is in het verleden steeds uitgevoerd met relatief korte golven ($\xi_{op} < 2,5$). Met het bekend worden van de nieuwe golfrandvoorwaarden is het duidelijk geworden dat kennis over de stabiliteit bij een belasting met lange golven zeer belangrijk is. Nu kan die belasting slechts geschat worden op basis van een conservatieve extrapolatie van de beschikbare formules. Er is onderzoek nodig om na te gaan hoe de druk in de bekleding verloopt bij lange golven en dit moet worden verwerkt in de rekenregels.
7	Afschuiving	Afschuiving is het faalmechanisme waarbij de bekleding onder golfaanval lokaal afschuift langs een ondiep glijvlak. Voor het toetsen hiervan zijn thans conservatieve methoden beschikbaar. De indruk bestaat dat in een aantal gevallen de methode onnodig conservatief is. Dit is onder andere het geval bij vrij steile taluds (steiler dan 1: 3). Verder is de invloed van de kleilaag nog onvoldoende bekend. De huidige rekenmodellen zijn onvoldoende geverifieerd en zijn voor de praktijk moeilijk toepasbaar. In het nieuwe Technisch Rapport Steenzettingen en de nieuwe LTV komt een ruimer toepasbare regel, maar verwacht wordt dat deze nog steeds zeer conservatief is.
8	Inzanding / inslibbing granulaire laag	Veel bekledingen in de getijzone zijn ingeslibd of ingezand, waardoor de waterdoorlatendheid sterk afneemt. Dit is in principe gunstig voor de toplaagstabiliteit, maar de vraag is of het zand en slib onder maatgevende golfaanval niet uitspoelt. Er is onderzoek nodig om criteria vast te stellen waarbij de inslibbing ook bij hoge golven aanwezig blijft, en om de stabiliteitsverhoging te kwantificeren.

Bijlage 3b: Kennisleemtes oplossen?

Nr.	Kennisleemte	Benodigd onderzoek	Kosten [euro]	Doorlooptijd [jaren]
1	Open toplaag op granulaire laag	1. Implementatie golfklap in ZSteen 2. Verificatie met Deltagootproeven	150.000+ 300.000* = 450.000	1+ ½ = 1½
2	Ingegoten steenzettingen	1. 2 à 3 prototypeproeven 2. Bureaustudie 3. Verificatie met Deltagootproeven	75.000 25.000 300.000* = 400.000	1 + ½ + ½ = 2
3	Noorse steen	1. literatuuronderzoek + bureaustudie 2. Scheldegootonderzoek	25.000 50.000 = 75.000	½+ ½ = 1
4	Klemming	1. bureaustudie 2. gerichte trekproeven	150.000 100.000 =250.000	2 + 1 = 3
5	Scheve inval	Golfbakproeven	200.000	1 jaar
6	Lange periode	1. Scheldegootproeven + bureaustudie 2. Verificatie met Deltagootproeven	100.000+ 300.000* =400.000	1½ + ½ = 2
7	Afschuiving	Bureaustudie	75.000	1 jaar
8	Inzanding / inslibbing granulaire laag	1. Onderzoek op de dijk na storm 2. Bureaustudie 3. Verificatie op kleine schaal 4. Verificatie met Deltagootproeven	50.000 50.000 100.000 300.000* =500.000	1+ ½+ ½+ ½ = 2½ jaar

Tabel 0.1: Benodigd onderzoek per kennisleemte

Bij de raming van Deltagootonderzoek is in de tabel uitgegaan van de aanname dat alleen de betreffende kennisleemte wordt onderzocht. Als verschillende onderzoeken worden gecombineerd kan veel efficiënter worden gewerkt: onderzoek aan elke volgende leemte kost niet 300.000 euro maar 100.000 euro. Hiermee kan rekening worden gehouden bij het opstellen van scenario's. De doorlooptijd van de Deltagootproeven mag in zo'n geval met de helft worden gereduceerd. Omdat er maar één Deltagoot is kan op één moment slechts één Deltagootonderzoek lopen!

Bijlage 3c: Indeling subgroepen

Groep 1

Hans Johanson (trekker)

Wilgerd Heldens

Frank den Heijer

Hans Koevoets

Groep 2

Hans van der Sande (trekker)

Roel Cirkel

Joris Perquin

Tonny Maranus

Groep 3

Jaap-Jeroen Flikweert (trekker)

Herbert Geernaart

Leo van Herwerden

Martin Stroo

Groep 4

Nisa Nurmohamed (trekker)

Peter Donk

Kor van der Hoek

Wim Veldhuis