

# Memo Werkgroep Kennis



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Projectbureau Zeeweringen



Betreft (actie en nr.)  
Motivering 2 cm marge bij gekantelde blokken - uitwerking gevoeligheidsstudie door  
WL  
aktienr. 52

Vraagsteller	Datum
Toetsgroep	dec. 98
Beantwoord door	Datum
Doorkiesnummer	25 feb 1999
Status	Bijlage(n)
	case study veiligheidsbeoordeling 'blokken op kant' Margerethapolder
	Kenmerk
	K-99-02-16

Door de toetsgroep is in december 1998 een aantal kanttekeningen gezet bij de toepassing van een marge van 2 cm bij de blokken op de kant. In het verleden nl. hebben we als wg kennis op basis van de Simtech studie een marge van 5 cm gepropageerd. De toetsgroep vraagt zich af waarom we hiervan zijn afgeweken.

Ter ondersteuning van het antwoord is door WL een case study uitgevoerd op probabilistische basis waarbij de invoerparameter 'spleetbreedte' de belangrijkste stochast is. Op basis van deze studie kan de conclusie getrokken worden dat het ontwerp van blokken op de kant koud tegen elkaar vergelijkbare veiligheden oplevert als de ontwerpmethodode van betonzuilen. Als zodanig wordt hier ook mee omgegaan in onze handleiding ontwerpen.

Bijgevoegd ter lering ende vermaak is de case study van WL.

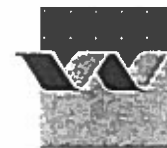
Projectbureau Zeeweringen  
Postadres p/a postbus 114, 4460 AC Goes  
Bezoekadres p/a waterschap Zeeuwse Eilanden,  
Piet-Heinstraat 77 Goes

Telefoon (0113) 24 13 70  
Telefax (0113) 21 61 24

Het project Zeeweringen wordt uitgevoerd i.s.m. de Zeeuwse waterschappen en de provincie Zeeland.  
Vanaf NS station richting centrum, na 150 m. rechts.

**Case studie veiligheidsbeoordeling 'Blokken op  
kant' Margarethapolder**





OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

TITEL: Case studie veiligheidsbeoordeling 'Blokken op kant' Margarethapolder

## SAMENVATTING:

In het kader van de reconstructie van de dijkbekledingen in Zeeland is een case studie uitgevoerd naar de veiligheid van het constructietype 'Blokken op kant' vergeleken met het constructietype Pit Polygoonzuilen. De spleetbreedte blijkt zoals verwacht bij kleine waarden van groot belang te zijn. Het resultaat geeft aanleiding de veiligheid als gelijkwaardig in te schatten, indien aangetoond wordt dat de spleetbreedte relatief groot is, of voorkomen wordt dat de spleetbreedte over een groter oppervlak relatief klein wordt.

REFERENTIES: 31504624 (AK)

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING.
1	[REDACTED] EA	15-2-99		[REDACTED] WKB	[REDACTED] WL
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
Veiligheid, Dijkbekledingen.			TEKST: 10	TABELLEN:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG
			FIGUREN: 1	APPENDICES 3	<input type="checkbox"/> CONCEPT
			PROJECTNUMMER: H3506		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

# I Inleiding en probleemstelling

De aanleg variant 'blokken op kant' is zeer aantrekkelijk omdat de oude materialen dan hergebruikt kunnen worden. Een beperking ervan is echter dat de maximale blokdikte 50cm bedraagt. Zodra ontwerpberekeningen aangeven dat een grotere blokdikte nodig is, kan dit constructietype niet meer worden toegepast.

Ten aanzien van het ontwerp van het constructietype 'blokken op kant' worden er momenteel vraagtekens gezet bij een eerder voorgestelde veiligheidsmarge van 5 cm extra blokdikte zoals die op grond van (Simtech, 1997) is bepaald. Deze marge vond zijn oorsprong in een groter ingeschatte modelonzekerheid dan bijvoorbeeld betonzuilen. Deltagootproeven indiceren echter dat de stabiliteit van 'blokken op kant' voldoende is. Indien de veiligheid van 'Blokken op kant' vergelijkbaar of groter is dan die van andere constructietypen kan worden overwogen de marge te laten vervallen.

Bij het ontwerp van de dijkbekledingen worden, bij de huidige methode, een aantal veiligheidsmarges aangehouden. Er wordt vanuit gegaan dat deze tezamen aan het ontwerp voldoende veiligheid geven. Aangezien de veiligheidsmarges voor elk constructietype apart gekozen worden is een vergelijking van het beveiligingsniveau van de verschillende constructietypen niet goed meer mogelijk. Er kan vanuit de huidige ontwerpmethodiek voor dijkbekledingen daarom geen argument worden gevonden op basis waarvan het al dan niet toepassen van de marge van 5cm kan worden heroverwogen.

In (Den Heijer, 1998) is een aanzet gegeven voor een meer integrale veiligheidsbeoordeling en is hiervoor een instrument gebouwd. In absolute zin kan een dergelijke veiligheidsbeoordeling in de toekomst worden gebruikt bij het goed- of afkeuren van een ontwerpvoorstel. Nu is dit nog niet goed mogelijk omdat:

- de invoer in de vorm van kansverdelingen nog niet eenduidig vastligt, en
- nog niet is uitgewerkt welk veiligheidsniveau (per dijkdoorsnede, per faalmechanisme en per niveau op de dijk) moet worden gehanteerd, en
- het instrument nog verder moet worden uitgewerkt. Momenteel kan met het instrument wel reeds goed een faalkansanalyse worden uitgevoerd voor de toplaag van dijkbekledingen op de boventafel.

Wel kan deze veiligheidsbeoordeling in relatieve zin worden gebruikt om het al dan niet toepassen van de extra marge van 5 cm te 'waarderen'. Het gaat dan met name om de consistentie van de ontwerp-uitgangspunten van de toplaag. Ondanks dat processen zoals reststerkte nog niet kunnen worden beschouwd kan wel de veiligheid van de toplaag op zich worden vergeleken. Dit wordt hier uitgewerkt.

## 2 Doel en aanpak

Het doel van de studie is het vergelijken van de veiligheid van een toplaag bestaande uit 'Blokken op kant' met de veiligheid van een toplaag bestaande uit Pit Polygoon zuilen. Aan de hand van deze vergelijking wordt een aanbeveling gedaan over het al dan niet aanhouden van een extra marge van 5cm op de blokdikte bij 'Blokken op kant'.

In hoofdlijn luidt de aanpak als volgt:

1. Er worden op basis van de hydraulische randvoorwaarden ontwerpberoeeningen gemaakt volgens de huidige ontwerp-methode voor zowel 'Blokken op Kant' (excl. de extra marge van 5cm) als Pit Polygoonzuilen.
2. Voor beide constructietypen wordt een vrij eenvoudige ('quick and dirty') faalkansanalyse uitgevoerd voor de blokdikten die volgen uit de ontwerpberoeeningen.
3. Tenslotte wordt de marge van de blokdikte bepaald waarbij beide ontwerpen dezelfde indicatieve faalkans hebben.

Met behulp van de resultaten van bovenstaande werkzaamheden kunnen conclusies worden getrokken ten aanzien van de extra marge van 5cm in de ontwerp-procedure voor het constructietype 'Blokken op kant'.

### 3 Uitgangspunten

Van belang bij het uitvoeren van de studie is dat wanneer er keuzen moeten worden gemaakt, bij voorbeeld voor invoergegevens, deze voor beide hier beschouwde constructietypen gebaseerd worden op dezelfde filosofie en/of werkwijze. Alleen dan resulteert er informatie die in relatieve zin vergeleken mag worden. De volgende uitgangspunten zijn genomen:

- De vergelijkende analyse wordt uitgevoerd voor het hoogste deel van de steenbekleding (boven ca. 3m+NAP). De extra kans op falen door ook het laagste deel van de bekleding in de beschouwing te betrekken zou hierop nog moeten worden gesuperponeerd, maar deze is hier niet beschouwd.
- Er wordt alleen gekeken naar het faalmechanisme 'instabiliteit toplag'. Andere faalmechanismen waardoor de bekleding zijn functie verliest is bijvoorbeeld afschuiving van de bekleding.
- Voor de modellering van het gedrag van de bekleding onder zware belasting wordt uitgegaan van ANAMOS (zowel het rekenmodel als de zogenaamde  $6\xi^{-2/3}$ -regel), conform de huidige ontwerp-procedure.
- De golfrandvoorwaarden zijn net als bij de huidige ontwerp-berekening op 50m vanaf de dijk genomen (de afstand vanaf de dijk heeft voor dit dijkvak overigens niet erg veel invloed vanwege de grote diepte). Bij het bepalen van de golfrandvoorwaarden is meegenomen dat RIKZ heeft aangegeven dat het golfmodel hier de golfhoogte met 10% overschat en de piekperiode met 1 seconde onderschat.
- Bij het uitvoeren van de faalkansanalyse wordt gebruik gemaakt van het model uit (Den Heijer, 1998). Dit model is in het kader van het onderhavige werk aangepast, zodat ook het constructietype 'Blokken op kant' kan worden beschouwd.
- De keuze van de Deltagootproeven die worden gebruikt bij het afleiden van de modelonzekerheid van ANAMOS is van groot belang. Aangezien er momenteel vraagtekens zijn gerezen over de directe vertaalbaarheid van de resultaten van proeven met regelmatige golven, is ervoor gekozen om alleen de Deltagootproeven met onregelmatige golven te selecteren. Bij elke beschikbare proef is beschouwd of de resultaten betrouwbaar zijn. Proeven waarbij bezwijken optrad door een mechanisme dat in werkelijkheid niet kan optreden zijn weggelaten. Van elke proef is bekeken of de realisatie onafhankelijk was. Herhalingen van proeven zijn weggelaten zodat alleen onafhankelijke proeven overbleven. Er resteerden 14 proeven. Voor elke proef is getracht het punt 'begin van bewegen' te vinden. Met name bij de wat oudere proeven vergde dit aandacht. De vergelijking van de proeven met ANAMOS is in bijlage 2 weergegeven. De proeven zijn ingedeeld in twee groepen: relatief open toplagen en relatief dichte toplagen. Die constructies die ontworpen zouden worden met de  $6\xi^{-2/3}$ -regel zijn het beste te vergelijken met de relatief open toplagen. Die constructies die ontworpen zouden worden met het rekenmodel ANAMOS zijn het beste te vergelijken met de relatief dichte toplagen. In bijlage 3 zijn de resulterende verhoudingen tussen model en Deltagoot gepresenteerd.\* Van belang is hierbij op te merken dat er relatief weinig proeven beschikbaar zijn (in totaal 14 'onafhankelijke') die met onregelmatige golven zijn uitgevoerd.

## 4 Ontwerp volgens huidige methodiek

Er is gekozen voor een case studie ter plaatse van de Margarethapolder in de Westerscheide. De randvoorwaarden en de (rekenwaarden van de) constructie-eigenschappen voor zowel Pit Polygoon zuilen als de 'Blokken op kant' zijn in onderstaande tabel vermeld. Tevens is hierin de met ANAMOS berekende benodigde blokdikte voor de boventafel aangegeven. De resulterende blokdikte voor 'Blokken op kant' is exclusief de extra marge van 5cm.

Grootheid	Blokken op kant	Pit Polygoon
waterstand	6.05 m +NAP	6.05 m +NAP
Golfhoogte	2.7 m	2.7 m
Golfperiode	6.8 s	6.8 s
taludhelling	1:4.1 (1:3.9 voor tonrondte)	1:4.1 (1:3.9 voor tonrondte)
soortelijke massa	2300 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
Blokbreedte	0.20 m	nvt
Bloklengte	0.50 m	nvt
spleetbreedte	1 mm	nvt
wrijvingsfactor	0.5	nvt
dikte filter	0.15 m	nvt
D <sub>15</sub> filtermateriaal	0.005 m	nvt
porositeit	0.35	nvt
Benodigde steendikte	0.54m	0.34m

Tabel 1 Gegevens case studie en resultaten berekening met huidige ontwerpmethodiek.

## 5 Relatieve veiligheidsbeoordeling

### 5.1 Pit Polygoonzuilen

In (Den Heijer, 1998) is verslag gedaan van een faalkansanalyse voor een dijkbekleding van Pit Polygoonzuilen. Deze aanpak wordt hier toegepast met iets aangepaste randvoorwaarden.

De voor dit constructietype aanvullende uitgangspunten luiden:

- Er zijn oriënterende berekeningen uitgevoerd met ANAMOS voor de boventafel van de Margarethapolder. Hieruit bleek dat de  $6\xi^{-2/3}$ -regel telkens maatgevend was (open toplaag). Deze laatste is in de faalkansanalyse meegenomen.
- De blokdikte is hier aangenomen op 0.34 m, conform de berekening in paragraaf 4 volgens de huidige methodiek. De modelonzekerheid is aangenomen als een normale verdeling met een gemiddelde van 0.81 en een standaardafwijking van 0.16.

De betrouwbaarheidsfunctie luidt:

$$\left( \frac{H_s}{\Delta D} \right)_{\text{toelaatbaar}} = 6\xi^{-\frac{2}{3}}$$

Een meer uitgebreide omschrijving van het totale model is in (Den Heijer, 1998) gegeven.

### 5.2 Blokken op kant

#### 5.2.1 Aanpak en uitgangspunten

De aanpak voor het constructietype 'Blokken op kant' is anders dan die voor de Pit Polygoon zuilen in (Den Heijer, 1998). De Pit Polygoon zuilen hebben een vrij open toplaag waarbij al gauw de zogenaamde  $6\xi^{-2/3}$ -regel geldig was in plaats van het rekenmodel ANAMOS. Bij de 'Blokken op kant' is de toplaag veel minder open en zal het rekenmodel ANAMOS moeten worden gebruikt.

Dit impliceert dat bij de faalkansanalyse veel meer stochasten een rol spelen zodat het rekenmodel in principe moet worden gekoppeld aan de probabilistische schil uit (Den Heijer, 1998). In het kader van een eenvoudige ('quick and dirty') analyse wordt hiervoor een benaderende oplossing gekozen. De spleetbreedte wordt als extra stochastische variabele meegenomen en de andere onzekerheden worden a priori klein ingeschat en weergegeven door een extra modelonzekerheid.

De voor dit constructietype aanvullende uitgangspunten luiden:

- De parameters waarvan het gedrag en de spreiding zodanig van belang is dat ze stochastisch in de analyse zouden moeten worden betrokken zijn afgeleid uit de waarde



van  $\sigma_{X_i} \frac{dD}{dX_i}$ . Hierin is  $\sigma_{X_i}$  de standaardafwijking van parameter  $X_i$  en  $dD/dX_i$  de

relatieve invloed van  $X_i$  op de benodigde blokdikte  $D$ . In bijlage 1 is een tabel opgenomen waarin de parameters die een relatief belangrijke rol spelen vet zijn gedrukt. De 'belangrijkste' constructieparameter bij 'Blokken op kant' is de spleetbreedte. Deze wordt, naast de stochasten in het model uit (Den Heijer, 1998), ook stochastisch meegenomen in de analyse. Het model uit (Den Heijer, 1998) is hiervoor aangepast. De andere parameters, dus ook de filterlaagdikte en de filterkorrelgrootte, worden deterministisch meegenomen. In plaats hiervan is nog een extra stochastische variabele meegenomen die model staat voor deze vereenvoudiging. De variatiecoëfficiënt als gevolg van deze vereenvoudiging is ingeschat op ca. 10%.

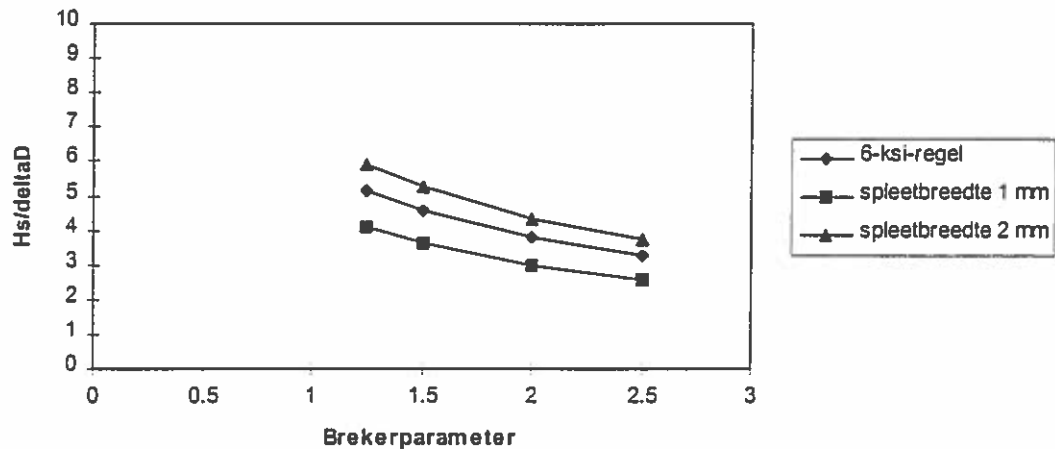
- De blokdikte is hier aangenomen op 0.54 m, conform de berekening in paragraaf 4 volgens de huidige methodiek. De modelonzekerheid is aangenomen als een lognormale verdeling met een gemiddelde van 0.77 en een standaardafwijking 0.17.
- Het constructietype 'Blokken op kant' wordt in de praktijk zodanig uitgevoerd dat er zich zowel relatief dichte plekken (rekenmodel ANAMOS) als relatief open plekken ( $6\zeta^{-2/3}$ -regel) kunnen voordoen binnen een dijkdoorsnede. De grenstoestandsfuncties voor beide zijn niet (volledig) afhankelijk. Een doorsnede kan bezwijken doordat de top laag vrij open is, en doordat de top laag juist vrij dicht is. De faalkansen voor beide worden opgeteld. Met behulp van Ditlevsen is aangetoond dat deze elementaire bovengrens hier voldoende nauwkeurig is. De bijdrage van de open plekken is erg klein, wat ook mocht worden verwacht.

### 5.2.2 Betrouwbaarheidsfunctie

De betrouwbaarheidsfunctie voor 'Blokken op Kant' is gebaseerd op ANAMOS berekeningen. In figuur 1 is een weergave te zien van de grens falen- niet falen voor verschillende spleetbreedten, en voor de  $6\zeta^{-2/3}$ -regel. De grenstoestand is, voor dit constructietype, nog afhankelijk van vele andere parameters. De extra onzekerheid die ontstaat door de vereenvoudiging wordt ingeschat op ca. 10%. Deze waarde is onder andere

gebaseerd op de waarden voor  $\sigma_{X_i} \frac{dD}{dX_i}$  uit bijlage 1. Er is een extra stochast geïmplementeerd:  $m_{\text{vereenv}}$ .

Figuur 1: Sterkte 'Blokken op Kant' als functie van de spleetbreedte rekenmodel ANAMOS en 6-ksi-regel



Zodra de berekende sterkte met het rekenmodel ANAMOS boven die op basis van de  $6\xi^{-2/3}$ -regel uitkomt geldt deze laatste regel. Zoals uit de figuur blijkt zal dit zijn bij een spleetbreedte van ongeveer 1,5 mm. De vorm van de krommen uit ANAMOS is verder ongeveer gelijk aan die van de  $6\xi^{-2/3}$ -regel. De resulterende betrouwbaarheidsfunctie luidt nu:

$$Z_{\text{toplaag steenbekleding}} = \text{MIN} \left( \frac{1}{m_{A1}} 6, \frac{m_{\text{vereenv}}}{m_{A2}} (2.65 + 2.11 \times spl) \right) \xi^{-\frac{2}{3}} - \left( \frac{H_s}{\Delta D} \right)_{\text{optredend}}$$

### 5.3 Invoergegevens

De invoergegevens zijn overgenomen uit (Den Heijer, 1998), op enkele punten iets bijgesteld, en weergegeven in tabel 2. De gegevens betreffende de spleetbreedte zijn toegeleverd door Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde:

- voor plat liggende Haringmanblokken voor de individuele spleten een normale verdeling met een gemiddelde van 3mm en een standaardafwijking van 2mm, waarbij de spleten niet kleiner dan 0.5mm kunnen zijn. Deze waarden zijn gebaseerd op doorlatendheidsmetingen en zijn relatief nauwkeurig.
- voor 'Blokken op kant' voor 'halve blokken' een lognormale verdeling met een gemiddelde van 2.25mm en een standaardafwijking van 1.8mm. Ook hier geldt dat de spleten niet kleiner dan 0.5mm kunnen zijn. Deze waarden zijn gebaseerd op handmatige metingen en zijn vermoedelijk minder nauwkeurig dan de metingen voor Haringmanblokken.

De spleetbreedte die moet worden gebruikt in het rekenmodel is feitelijk een representatieve spleetbreedte over een groter oppervlak. Wanneer een van de spleten rondom een blok klein is betekent dit nog niet direct dat alle spleten klein zijn. In (CUR, 1992) is een relatie gegeven waarmee een representatieve spleetbreedte is te berekenen. Er is echter geen oppervlak aangegeven waarover de representatieve spleetbreedte berekend moet worden.

Hier is voor een bovengrensbenadering gekozen van de veiligheid: er is uitgegaan van een representatieve spleetbreedte bepaald op basis van de spleten rondom 1 blok. Deze is uit de gegevens van Rijkswaterstaat berekend. Voor de normale verdeling is dit analytisch uitgevoerd, voor de lognormale verdeling is een probabilistische model gebouwd om de berekening uit te voeren. De resultaten zijn in onderstaande tabel vermeld.

Onzekere grootte	verdelingstype (parameters)	parameters
Windsnelheid, $U_w$	Weibull (a,b,c)	240° :14.924, 4.20, 1.453 270° :15.046, 4.313, 1.40 300° :12.423, 4.94, 1.481 330°: 11.996, 3.543, 1.416
Modelfactor waterstand, $m_h$	Normaal ( $\mu, \sigma$ )	1, 0.1
Modelfactor golven, $m_g$	Normaal ( $\mu, \sigma$ )	1, 0.1
Modelfactor golfsteilheid, $m_s$	Normaal ( $\mu, \sigma$ )	1, 0.2
Modelfactor sterkte, $m_{A1}$	Normaal ( $\mu, \sigma$ )	0.81, 0.16
Modelfactor sterkte, $m_{A2}$	Lognormaal ( $\mu, \sigma$ )	0.77, 0.17
Modelfactor sterkte, $m_{verenv}$	normaal ( $\mu, \sigma$ )	1.0, 0.1
Representatieve Spleetbreedte	Afgekapt normaal ( $\mu, \sigma, \min$ ) Lognormaal ( $\mu, \sigma$ )	3, 0.82, 0.5 2.23, 1.04
Modelfactor taludhelling, $m_\alpha$	Normaal ( $\mu, \sigma$ )	1, 0.03

Tabel 2 statistische gegevens

## 5.4 Resultaten en interpretatie

Er zijn 3 berekeningen uitgevoerd. De resultaten zijn in onderstaande tabel vermeld.

Constructietype	faalkans
Pit Polygoon zuilen	$1.10^{-4}$
Blokken op kant (spleetbreedte L(2.23, 1.04) gemeten bij 'Blokken op kant')	$2.9.10^{-4}$
Blokken op kant (spleetbreedte N(3,0.82) gemeten bij liggende Haringman blokken )	$4.3.10^{-3}$

Tabel 3 Resultaten

De veiligheid van de constructievariant 'Blokken op kant' is, uitgaande van bovenstaande berekeningsresultaten, van dezelfde grootte orde als die van Pit Polygoonzuilen. De belangrijkste bijdrage aan de faalkans voor het constructietype 'Blokken op kant' wordt geleverd door de onzekerheid van de spleetbreedte. Het is daarom nuttig diverse aspecten hiervan nader te belichten:

- De meetreeks van de Haringmanblokken is vermoedelijk nauwkeuriger gemeten (de metingen van de spleetbreedte voor 'Blokken op kant' zijn handmatig uitgevoerd). Het

is hierbij ook van belang op te merken dat het niet direct logisch is dat de spleetbreedten tussen reeds gebruikte blokken kleiner zijn dan die van nieuw gezette. Het is denkbaar dat de minimum spleetbreedte van 0.5mm in werkelijkheid groter is.

- Bij de metingen voor de spleetbreedten bij de 'Blokken op kant' zijn op diverse lokaties zowel 'gemiddelde' spleten, als meer extreme kleine of grote spleten gezocht. Dit kan betekenen dat de spreiding in de meetreeks voor 'Blokken op kant' nu wat ongunstig (groot) uitvalt.
- Voor het berekenen van de spreiding in de representatieve spleetbreedte is hier een bovengrensbepaling toegepast. De vraag dringt zich op of deze bovengrens niet te ver van de 'werkelijkheid' ligt. In de praktijk wordt de representatieve spleetbreedte bepaald door te kijken naar ongeveer een vierkante meter rondom het betreffende blok. Hierover is echter niets in leidraden voorgeschreven. De kernvraag is hoe de drukverdeling onder de blokken afhangt van verschillen in spleetbreedten in de omgeving van een blok. Hier is nog geen systematisch onderzoek naar verricht. Een expertmening is dat de representatieve spleetbreedte wel over een wat groter oppervlak mag worden bepaald dan over 1 blok. Dit zou een veiliger resultaat geven.
- Aan de andere kant rijst dan direct de vraag of er binnen een dijkvak niet altijd wel ergens een plek te vinden is waar over een wat groter oppervlak de spleetbreedten klein zijn. Er liggen immers op een dijkvak rondom de aangevallen zone duizenden blokken. Bij de toepassing van de geldende veiligheidsfilosofie (gebaseerd op de veiligheid van een dijkvak) worden de waterkeringen ontworpen en getoetst voor dijkdoorsneden, waarbij de gegevens representatief voor een dijkvak moet zijn. Dit wordt dan geëffectueerd door binnen een dijkvak de slechtste doorsnede te nemen. Deze is voor dit type dijkbekleding echter niet aan te wijzen. Binnen de hier beschouwde dijkdoorsnede kan een gunstiger resultaat worden bereikt door uit te gaan van een groter oppervlak waarover de spleetbreedte moet worden berekend. Dit gunstiger resultaat is het gevolg van het feit dat de breedte van elke spleet onafhankelijk mag worden verondersteld. Maar juist dit feit veroorzaakt dat de veiligheid van een enkele doorsnede niet representatief is voor een dijkvak. Dit maakt het resultaat weer onveiliger. Dit aspect speelt wel bij 'Blokken op kant' omdat de spleetbreedte daarin zo belangrijk is, maar niet bij Pit Polygoonzuilen, omdat daarbij de belasting veel belangrijker is, en die is 'gelijk' langs een dijkvak.

Enkele andere opmerkingen die van belang zijn bij de interpretatie van de resultaten zijn:

- De vereenvoudiging door in de probabilistische berekeningen een fit op basis van ANAMOS te gebruiken in plaats van ANAMOS zelf heeft niet veel invloed gehad op de resultaten. Er is een verfijning uitgevoerd door de filterlaagdikte op pragmatische wijze ook stochastisch in te brengen en de spreiding van de modelfactor voor de vereenvoudiging te verkleinen. Het resultaat was een iets grotere faalkans.
- De faalkansen zijn nu veel kleiner dan die welke in (Den Heijer, 1998) zijn gepresenteerd. Dit wordt veroorzaakt doordat de spreidingen van enkele variabelen zijn verkleind. De spreiding van bijvoorbeeld de modelfactor voor ANAMOS is kleiner. Dit is een variabele met een grote bijdrage aan de faalkans. De reden voor het verkleinen van de spreiding is te vinden in de data die ten grondslag ligt aan de verdeling. Voor dit onderzoek zijn alleen de -onafhankelijke- Deltagoot proeven gebruikt, die met onregelmatige golven zijn uitgevoerd.

## 6 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Ten aanzien van het ontwerp van het constructietype 'blokken op kant' worden er momenteel vraagtekens gezet bij een eerder voorgestelde veiligheidsmarge van 5 cm extra blokdikte zoals die op grond van (Simtech, 1997) is bepaald. Deze marge vond zijn oorsprong in een groter ingeschatte modelonzekerheid dan bijvoorbeeld betonzuilen. Deltagootproeven indiceren echter dat de stabiliteit van 'blokken op kant' voldoende is. Indien de veiligheid van 'Blokken op kant' vergelijkbaar of groter is dan die van andere constructietypen kan worden overwogen de marge te laten vervallen.

Het onderhavige onderzoek had ten doel de marge te 'waarderen' door voor twee verschillende typen constructies een faalkansanalyse uit te voeren: Pit polygoonzuilen en 'Blokken op kant'. Hiervoor is het bestaande model uit (Den Heijer, 1998) uitgebreid.

Uit het resultaat blijkt dat de constructies met 'Blokken op Kant' bij een ontwerp volgens de huidige methodiek (exclusief de extra marge van 5 cm) zowel veiliger als onveiliger zouden kunnen zijn dan Pit Polygoonzuilen, ook ontworpen volgens de huidige methodiek. Dit is afhankelijk van de wijze waarop de statistische eigenschappen van de representatieve spleetbreedte worden bepaald.

1. Wanneer alleen een dijkdoorsnede wordt beschouwd zijn er aanwijzingen dat de veiligheid van 'Blokken op Kant' hoger is dan hier berekend. Dit houdt verband met de minder nauwkeurige meetreeks voor 'Blokken op kant', de wijze waarop de meetreeks is samengesteld, en het oppervlak waarover de representatieve spleetbreedte moet worden berekend.
2. Wanneer ook in de beschouwing wordt betrokken dat een dijkdoorsnede binnen de geldende veiligheidsfilosofie model moet staan voor een dijkvak zal de veiligheid van 'Blokken op Kant' lager zijn dan hier berekend (dit aspect speelt voor Pit Polygoonzuilen nauwelijks een rol).

Er wordt aanbevolen om het effect op de veiligheid van het tweede punt verwaarloosbaar klein te maken door:

- Aan te tonen dat de spleten bij het constructietype 'Blokken op kant' zodanig groot zijn dat de constructie wat betreft het gedrag lijkt op de Pit polygoonzuilen. De spleetbreedten, en de onderlinge afhankelijkheid daarvan, spelen dan geen (of een minder grote) rol. Een dijkdoorsnede kan dan representatief voor een dijkvak worden gesteld.
- Te zorgen dat de spleten voldoende groot zijn, bijvoorbeeld door afstandhouders van enkele millimeters dik in de langsvogen. In dat geval zijn de representatieve spleetbreedten in alle doorsneden weer vrijwel volledig afhankelijk en is in dit geval een dijkdoorsnede representatief voor een dijkvak.

In beide gevallen is de invloed van punt 2 marginaal. In deze gevallen is er voldoende reden om de extra marge van 5cm blokdikte te laten vervallen, omdat punt 1 vrij duidelijk aangeeft dat de hier berekende faalkansen een bovengrens betreffen.

## Referenties

- Den Heijer, 1998    Veiligheid huidige ontwerpmethodiek dijkbekledingen, WL|Delft Hydraulics, december 1998.
- CUR, 1992        Handboek voor dimensionering van gezette talusbekledingen, rapport 155, CUR, TAW.

## Bijlage I

Relatief belang spreiding in variabelen voor de toplaag van de dijkbekleding te Margarethapolder

Parameter $X_i$	repr. waarde	$\Delta X_i$	$\Delta D (\Delta X_i)$	$V (X_i) *$	$\sigma_{X_i} \frac{dD}{dX_i}$
Modelonzekerheid golfhoogte $H_s$	2.70m	0.1	0.014	10%	0.038
Modelonzekerheid golfsteilheid $s_{op}$	3.75%	-0.5	0.020	20%	0.030
Spleetbreedte $s$	1 mm	0.25	-0.058	30-50%	0.093
Filterkorrelgrootte	5 mm	-1 +1	-0.029 0.023	10%	0.016
dikte uitvullaag $b$	0.15m	-0.025 0.025	-0.023 0.020	20%	0.026
porositeit $n$	0.35	-0.05 0.05	-0.035 0.029	5%	0.011
taludhelling $\tan\alpha$	1/3.9	1/3.4 1/4.4	0.039 -0.032	3%	0.008
wrijving $f$	0.5	0.4 0.6	0.015 -0.014	10%	0.009
relatieve soortelijke massa $\Delta$	2300	+100 -100	-0.047 0.056	1%	0.012
steenbreedte $B$	0.20m	+0.01	0.004	0.2%	0.000
steenlengte $L$	0.50m	+0.01	0.001	0.2%	0.000
modelfactor Pit Polygoonzuilen $m_{A1}$	1.0	0.1	0.034	20%	0.068
modelfactor Blokken op kant $m_{A2}$	1.0	0.1	0.054	22%	0.119
modelfactor vereenvoudiging ANAMOS $m_{vereev}$	1.0	0.1	0.054	10%	0.054

\* Variatie coëfficiënt  $X_i = (\sigma/\mu)$

proef:	op kant met brede voegen				PIT proef5	Hydro proef6	Basallon	'Dichtte' constructies				OESTERDAM BEGIN VAN BEWEGING			
	12co04	12do06	12do05	12do05				12co04	12ao08	12ao10	plal 5o04	C.1.2 dik 13	C.2.4 dun 46	C.3.1 dun 57	C.3.2 dun 59
Hs (m) (0 < Y < 3 cm)	1.400	1.400	1.250	1.250	1.600	1.600	1.235	1.230	1.000	1.410	0.604	0.384	0.432	0.456	0.384
Ksl op	1.420	1.420	1.760	1.760	1.800	2.200	1.400	1.380	1.750	1.530	1.120	1.190	1.160	1.140	1.190
F (f1s/AD < F Ksl * 2/3)	6.715	6.715	6.918	6.918	8.854	10.482	6.132	5.788	5.415	5.415	3.203	3.144	3.433	3.743	3.144
Anamos:	1.251	1.199	1.077	1.084	0.916	0.876	1.208	1.026	0.876	1.319	0.386	0.199	0.323	0.266	0.199
modelfactor = Hs_anamos/Hs_Proef	0.894	0.857	0.862	0.878	0.872	0.876	0.878	0.834	0.876	0.836	0.640	0.518	0.747	0.584	0.518
met invas met invas met invas met invas															
INVOER:															
H max [m]	1.960	1.960	1.750	1.750	2.240	2.240	1.729	1.722	1.400	1.974	0.845	0.537	0.605	0.639	0.537
Hs [m]	1.400	1.400	1.250	1.250	1.600	1.600	1.235	1.230	1.000	1.410	0.604	0.384	0.432	0.456	0.384
Ksl(sop) diep water	1.420	1.420	1.760	1.760	1.800	2.200	1.400	1.380	1.750	1.530	1.120	1.190	1.160	1.140	1.190
D [m]	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.180	0.200	0.200	0.250	0.150	0.100	0.100	0.100	0.100
B [m]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.200	0.250	0.300	0.100	0.100	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
L [m]	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.250	0.300	0.200	0.200	0.300	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
Delta	1.317	1.317	1.317	1.317	1.337	1.291	1.400	1.317	1.317	1.383	1.355	1.370	1.390	1.330	1.370
lan(fala)	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.333	0.286	0.286	0.286	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
Uitvulling: b [m]	0.050	0.050	0.050	0.050	0.100	0.100	0.150	0.050	0.050	0.050	0.100	0.150	0.150	0.150	0.150
v DI15 [m]	0.007	0.007	0.007	0.007	0.019	0.019	0.022	0.007	0.007	0.007	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
n (-)	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
Mijnsteen b [m]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.800	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
DI15 [m]	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
n (-)	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
spleetbreedte [mm]	6.400	3.900	4.500	4.500	15.000	19.000	20.000	0.800	0.800	1.800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
gal: B' (m) (galafstand)	0.100	0.100	0.100	0.100	0.200	0.250	0.300	0.100	0.100	0.500	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
L' (m) (galafstand)	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Ag (cm^2) (galopp)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	28.274	0.000
TUSSENRESULTATEN:															
Ip [s]	4.708	4.708	5.514	5.514	6.380	7.798	3.737	4.289	4.904	5.091	2.787	2.360	2.443	2.466	2.360
% open oppervlak	8.929	5.595	6.412	6.412	13.467	13.628	12.109	1.189	1.189	0.716	0.795	0.795	8.795	5.319	0.795
LABDA (langs talud)	0.279	0.352	0.328	0.328	0.187	0.198	0.255	0.460	0.460	0.563	0.800	0.836	0.369	0.453	0.836
RESUL TAAT:															
bezwijkgolp Hs (Hmax = 1.411s)	1.351	1.199	1.077	1.077	1.270	1.042	1.243	1.026	0.876	1.319	0.386	0.199	0.323	0.266	0.199
Hs toelaatbaar (anamos * 6ksl)	1.251	1.199	1.077	1.077	1.084	0.916	1.208	1.026	0.876	1.319	0.386	0.199	0.323	0.266	0.199



