

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat,  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



## Invloed klemming: statistische analyse trekproeven

Onderzoeksprogramma  
Kennisleemtes Steenbekledingen

rapport

november 2003

H4134

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde



WL | delft hydraulics



Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde

## Invloed klemming: statistische analyse trekproeven

Onderzoeksprogramma

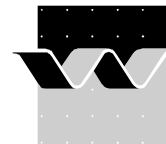
Kennisleemtes Steenbekledingen

E.M. Coeveld / M. Klein Breteler

Rapport

November 2003





<b>OPDRACHTGEVER:</b>	Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde Contactpersoon: R. 't Hart				
<b>TITEL:</b>	Invloed klemming: statistische analyse trekproeven Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen				
<b>SAMENVATTING:</b>	<p>In het kader van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, in 2003 opgestart door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek Gezette steenbekledingen, deelplan 7.3.1, Invloed klemming: statistische analyse trekproeven.</p> <p>Na de constatering van de aanwezigheid van klemming in steenbekledingen is de DWW trekproeven gaan uitvoeren om te kunnen vaststellen of de goede interactie tussen de stenen bij alle stenen aanwezig is, en bij alle typen steenbekledingen. Inmiddels zijn duizenden trekproeven uitgevoerd en gerapporteerd. Het primaire doel van deze studie is het verkrijgen van kwantitatieve informatie over de klemfactor in relatie tot het type steenzetting en de plaats op het talud middels een statistische analyse van de trekproefresultaten.</p> <p>De analyse richt zich op de trekproeven waarvan de netto trekkracht een bepaalde grenswaarde onderschrijft. Deze grenswaarde is vastgesteld op tweemaal het eigen gewicht. Gegeven de aanname dat die resultaten Rayleigh verdeeld zijn, is bij een bepaalde onderschrijdingsfrequentie met een bepaalde betrouwbaarheid de trekkracht vastgesteld. Deze trekkracht is vervolgens vertaald naar een klemfactor. Bij die trekproeven waarvoor geen resultaten onder de vastgestelde grenswaarde gevonden zijn, is ook met een bepaalde betrouwbaarheid de klemfactor bepaald. In de analyse van de trekproeven is de aandacht geheel geconcentreerd geweest op die blokken die een relatief zwakke klemming hebben ten opzichte van de andere blokken in de steenzetting. Dit komt tot uiting in de onderschrijdingsfrequentie die is gekozen: 0.1 %. Middels een beschouwing is aannemelijk gemaakt dat in dat geval het bezwijkmechanisme tijdens golfaanval goed vergelijkbaar is met dat tijdens de trekproef.</p> <p>Voor verschillende blokken op verschillende niveaus ten opzichte van NAP zijn de klemfactoren in een tabel gepresenteerd. Boven de tijzone ligt een aanzienlijk deel van de rechthoekige blokken slecht geklemd, terwijl de Hydroblocks en Basaltonzuilen en ook de PIT-Polygoonzuilen daar goed geklemd liggen. Voorlopig kunnen de gevonden klemfactoren nog niet direct in ANAMOS toegepast worden. Hiertoe dient eerst het maatgevende bezwijkmechanisme vastgesteld te worden.</p>				
<b>REFERENTIES:</b>	Overeenkomst nummer: DWW-2394 ST8/WITTE VLEKKEN				
<b>VER.</b>	<b>AUTEUR</b>	<b>DATUM</b>	<b>OPMERK.</b>	<b>REVIEW</b>	<b>GOEDKEURING</b>
0	Coeveld/Klein Breteler	04-09-2003		C. Kuiper	W.M.K. Tilmans
1	Coeveld/Klein Breteler	31-10-2003		C. Kuiper	W.M.K. Tilmans
2	Coeveld/Klein Breteler	25-11-2003		C. Kuiper	W.M.K. Tilmans
<b>PROJECTNUMMER</b>	H4134				
<b>TREFWOORDEN:</b>	dijkbekleding, steenzetting, klemfactor, klemming, trekproef				
<b>AANTAL BLADZIJDEN</b>	49				
<b>VERTROUWELIJK</b>	<input type="checkbox"/> JA, tot (datum)		<input checked="" type="checkbox"/> NEE		
<b>STATUS:</b>	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG	<input type="checkbox"/> CONCEPT	<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF		



## Inhoud

### Lijst van Figuren

### Lijst van Tabellen

### Lijst van Symbolen

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Beschrijving van het onderzoek.....</b>	<b>3</b>
2.1	Inleiding .....	3
2.2	Definitie .....	3
2.3	Probleemanalyse .....	4
2.4	Doel.....	5
2.5	Plan van aanpak .....	5
<b>3</b>	<b>Bezwijkmechanisme.....</b>	<b>7</b>
3.1	Inleiding .....	7
3.2	Belastingsduur .....	7
3.3	Wisselbelasting .....	8
3.4	Belast oppervlak .....	8
<b>4</b>	<b>Onderzoeksresultaten .....</b>	<b>17</b>
4.1	Inleiding.....	17
4.2	Overzicht van meetcampagnes .....	17
4.3	Klemfactor .....	18
4.3.1	Wél trekproeven met $F_n < 2G$ .....	20
4.3.2	Géén trekproeven met $F_n < 2G$ .....	22
4.4	Wél trekproeven met $F_n < 2G$ .....	23
4.4.1	Meetcampagnes vóór 1995 .....	23

4.4.2	Meetcampagnes ná 1995 .....	27
4.5	Geén trekproeven met $F_n < 2G$ .....	33
4.5.1	Meetcampagnes vóór 1995.....	33
4.5.2	Meetcampagnes ná 1995 .....	34
4.6	Analyse van de resultaten.....	39
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>45</b>
5.1	Conclusies .....	45
5.2	Aanbevelingen.....	48

## Literatuur

## Bijlagen

- A** Karakteristieke trekkrachten  $F_n$
- B** Beschrijving meetcampagnes
- C** Onderzoeksprogramma
- D** Alternatieve methode om klemfactor te bepalen



## Lijst van Figuren

Figuur 3.1	Schematisering golfbelasting op steenbekleding .....	8
Figuur 3.2	Z-profiel .....	9
Figuur 3.3	Goed en slecht geklemde delen in de steenzetting.....	9
Figuur 3.4	Kattenrugmechanisme. ....	10
Figuur 3.5	Zuigermechanisme.....	10
Figuur 3.6	Bovenaanzicht groep van 7 stenen.....	11
Figuur 3.7	Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van 7 blokken. ....	12
Figuur 3.8	Bovenaanzicht rij van 3 stenen. ....	12
Figuur 3.9	Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van 3 blokken in een rij. ....	13
Figuur 3.10	Bovenaanzicht groep van 10 stenen (i=1) en 13 stenen (i=2).....	14
Figuur 3.11	Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van (7 + 3i) blokken, voor $\Gamma_{kM} = 1.50$ . ....	14
Figuur 3.12	Bovenaanzicht groep van 3 stenen.....	15
Figuur 4.1	Ontwikkeling van trekkracht en verplaatsing gedurende een trekproef op een ‘los’ blok.....	19
Figuur 4.2	Klemfactor tegenover niveau ten opzichte van HW-spring, voor alle raaien afzonderlijk waarin trekproeven zijn waarvoor geldt $F_n < 2G$ . Hierin is zowel de indeling in niveaus, als de indeling in categorieën weergegeven. 41	
Figuur 4.3	Klemfactor tegenover aantal trekproeven, voor de raaien waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt $F_n < 2G$ . De bijbehorende functievoorschriften en de indeling in categorieën zijn ook ingetekend. $P_B = 99\%$ , $X = 0.1\%$ . ....	42

## Lijst van Tabellen

Tabel 4.1	Overzicht van meetcampagnes.....	18
Tabel 4.2	Klemfactoren in meetcampagne 01 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.....	23
Tabel 4.3	Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 01.....	24
Tabel 4.4	Klemfactoren in meetcampagne 01 volgens Klein Breteler (1998).....	24
Tabel 4.5	Klemfactoren in meetcampagne 02 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.....	25
Tabel 4.6	Klemfactoren in meetcampagne 02 volgens Klein Breteler (1998).....	25
Tabel 4.7	Klemfactoren in meetcampagne 07 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.....	26
Tabel 4.8	Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 07.....	26
Tabel 4.9	Klemfactoren in meetcampagne 07 volgens Klein Breteler (1998).....	26
Tabel 4.10	Klemfactoren in meetcampagne 08.....	27
Tabel 4.11	Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 08.....	28
Tabel 4.12	Klemfactoren in meetcampagne 10.....	29
Tabel 4.13	Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 10.....	29
Tabel 4.14	Klemfactoren in meetcampagne 11.....	30
Tabel 4.15	Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 11.....	31
Tabel 4.16	Klemfactoren in meetcampagne 11 uitgerekend alsof er geen trekproeven zijn waarvoor geldt $F_n < 2G$ .....	31
Tabel 4.17	Klemfactoren in meetcampagne 14.....	32
Tabel 4.18	Klemfactoren in meetcampagne 14 uitgerekend alsof er geen trekproeven zijn waarvoor geldt $F_n < 2G$ .....	33
Tabel 4.19	Klemfactoren in meetcampagne 03.....	33
Tabel 4.20	Klemfactoren in meetcampagne 04.....	34
Tabel 4.21	Klemfactoren in meetcampagne 05.....	34
Tabel 4.22	Klemfactoren in meetcampagne 06.....	34
Tabel 4.23	Klemfactoren in meetcampagne 08.....	35
Tabel 4.24	Klemfactoren in meetcampagne 09.....	35
Tabel 4.25	Klemfactoren in meetcampagne 10.....	36
Tabel 4.26	Klemfactoren in meetcampagne 11.....	37
Tabel 4.27	Klemfactoren in meetcampagne 12.....	37
Tabel 4.28	Klemfactoren in meetcampagne 13.....	38
Tabel 4.29	Klemfactoren in meetcampagne 14.....	38

Tabel 4.30	Klemfactoren in meetcampagne 16. ....	39
Tabel 4.31	Klemfactoren uit alle meetcampagnes. ....	40
Tabel 5.1	Klemfactoren uit alle meetcampagnes. ....	45

## Lijst van Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
$c$	$N^{-2}$	factor
$F_n$	N	netto trekkkracht (=gemeten trekkkracht minus eigen gewicht)
$F_{n0.1\%}$	N	netto trekkkracht welke door 0.1 % van de gevallen onderschreden wordt
$F_{n,min}$	N	minimale netto trekkkracht in een trekproefserie
$F_r$	-	relatieve netto trekkkracht ( $=F_n / gM$ )
$F_{rX\%}$	-	relatieve netto trekkkracht welke door X % van de gevallen onderschreden wordt
$g$	$m/s^2$	zwaartekrachtsversnelling
$G$	N	eigen gewicht van een blok (boven water)
$G_o$	N	eigen gewicht van een blok (onder water)
$l$	-	aantal blokken in een steekproef waarvoor geldt $F_n < 2G$
$M$	kg	massa van een blok
$N$	-	steekproefgrootte
$p$	-	geschat deel van de blokken in een steenzetting waarvoor geldt $F_n < 2G$
$P\{\}$	-	onderschrijdingsfrequentie
$P_B$	-	betrouwbaarheid
$X$	%	onderschrijdingsfrequentie
$\alpha$	$^\circ$	taludhelling in graden
$\Gamma_k$	-	klemfactor
$\rho$	$kg/m^3$	dichtheid van water
$\rho_s$	$kg/m^3$	dichtheid van steenbekleding
$\phi$	m	stijghoogte

# I Inleiding

Ingevolge de Wet op de Waterkering dienen steenzettingen op waterkeringen vijfjaarlijks getoetst te worden. In de praktijk kan aan veel steenzettingen geen definitief toetsoordeel toegekend worden wegens een gebrek aan wetenschappelijke kennis.

In 2003 is daarom door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen opgestart. Doel van dit programma is het reduceren van deze kennisleemtes teneinde te komen tot scherpere toetsregels en daarmee sneller en vaker tot definitieve toetsresultaten.

In het kader van dit onderzoeksprogramma heeft voorliggend rapport betrekking op het deelonderzoek Gezette steenbekledingen, deelplan 7.3.1, Invloed klemming: statistische analyse trekproeven.

Het onderzoek naar de invloed van klemming is in het verleden op twee manieren uitgevoerd. De eerste methode is eenvoudig van opzet en resultaatgericht. De methode gaat uit van de aanwezigheid van matig geklemde stenen in een steenbekleding waarin bijna alle stenen goed geklemd liggen. Er wordt gebruik gemaakt van trekkrachten uit trekproefresultaten die een zeer kleine kans van onderschrijden hebben, waardoor de methode zich volledig richt op de zwakke schakel in de bekleding. De resultaten worden omgerekend naar een klemfactor die in principe direct meegenomen kan worden in ANAMOS. Een nadeel van de methode is dat het niet helemaal aansluit op het werkelijke bezwijkgedrag van de steenzetting, waardoor de invloed van klemming gemakkelijk overschat kan worden.

De tweede methode is fundamenteeler van aard en richt zich op het simuleren van het werkelijke bezwijkgedrag van een geklemde steenbekleding. De hiervoor ontwikkelde rekenmodellen zijn heel geschikt om uiteindelijk de stabiliteit te voorspellen van een gemiddeld stuk steenbekleding. Een nadeel is dat het nog onduidelijk is of de mogelijkheid bestaat om ook goed om te gaan met de variatie aan klemming die men in werkelijkheid aantreft in de steenbekleding. In dit deelplan is het onderzoek verricht volgens de eerste methode, terwijl in deelplan 7.3.2 onderzoek verricht wordt naar de (numerieke) mechanicamodellen, volgens de tweede methode.

In Hoofdstuk 2 is de onderzoeksbeschrijving gegeven. Hierin komen onder andere de probleemanalyse en de doelstelling aan bod. In Hoofdstuk 3 is een beschrijving gegeven van het bezwijkmechanisme waarop de in dit onderzoek gehanteerde methodiek gebaseerd is. In Hoofdstuk 4 is de statistische bewerking behandeld. In dat hoofdstuk is onder meer een overzicht opgenomen van de uitgevoerde meetcampagnes en zijn de vastgestelde klemfactoren in een tabel gepresenteerd. In Hoofdstuk 5 zijn de conclusies en aanbevelingen gegeven. Het totale overzicht van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, zoals bij aanvang van dat programma gepland was, is weergegeven in Bijlage C.



## 2 Beschrijving van het onderzoek

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de definities geldend bij dit onderzoek gegeven. Daarna volgt een korte probleemanalyse en het doel van het onderzoek. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een plan van aanpak.

### 2.2 Definitie

In dit deelonderzoek is een statistische analyse uitgevoerd op trekproefresultaten van steenbekledingen. De analyse is nu iets verbeterd ten opzichte van de statistische analyse van Klein Breteler (1998) die de klemming van blokken in een steenbekleding eerder onderzocht.

Klemming is de interactie tussen verschillende blokken in een steenbekleding, veroorzaakt door een wrijvingskracht. Als er bijvoorbeeld aan één zuil in een Basalton zetting wordt getrokken, lukt het niet om die ene zuil er ook uit te trekken, want de hele omgeving wordt mee omhoog getrokken. De wrijvingskracht tussen de verschillende stenen is vaak zo groot, dat een trekkracht van vele malen het eigen gewicht nodig is om een afzonderlijke steen uit de bekleding te trekken.

De analyse richt zich speciaal op de klemfactor. Met de klemfactor wordt de invloedsfactor bedoeld voor de wrijving die een geklemd blok ondervindt onder golfbelasting. Deze invloedsfactor kan gezien worden als een vermenigvuldigingsfactor op het onderwatergewicht van de stenen. Bepalend voor de stabiliteit van de toplaag is de klemming van blokken in de bekleding die door toeval vrij slecht geklemd zijn: de minimale klemming. Een manier om de minimale klemming te bepalen, is door uit te gaan van de klemfactoren met een zeer kleine onderschrijdingsfrequentie. Wanneer uitgegaan wordt van enkele blokken met een hele slechte klemming in een steenzetting waarin de blokken voor de rest redelijk geklemd liggen, ligt het zuigermechanisme als bezwijkmechanisme voor de hand.

De hier gehanteerde definitie van de klemfactor komt overeen met de definitie zoals beschreven in CUR/TAW (1992) en met de definitie zoals die gebruikt is in ANAMOS, om de sterkte van en de belasting op de toplaag te berekenen. Echter, de gevonden klemfactor kan niet direct toegepast worden in ANAMOS. Hiertoe dient eerst vastgesteld te worden of het zuigermechanisme als bezwijkmechanisme maatgevend is. Daarnaast geldt de veronderstelling dat de klemming, zoals die vastgesteld is tijdens de trekproeven, ook optreedt tijdens de golfbelasting. De volgende voorwaarden volgen hieruit:

- De toplaag mag niet significant worden opgelicht, dan zullen er immers rijen blokken tegen het talud omhoog worden gedrukt, waarna er een situatie ontstaat waarbij waarschijnlijk andere mechanismen gelden.
- De inwassing mag niet uitspoelen in het geval van een ingewassen steenzetting.

In deze analyse wordt de trekfactor buiten beschouwing gelaten. De trekfactor is het quotiënt van de gemeten trekkracht en het eigen gewicht. Aangezien de trekproeven op de blokken boven water zijn uitgevoerd en de blokken tijdens de belasting juist onder water liggen, is de trekfactor niet bruikbaar. In deze analyse is een methode toegepast om de trekfactor om te rekenen naar een klemfactor.

De basis van de statistische analyse wordt gevormd door de resultaten uit duizenden trekproeven. Na de constatering van de aanwezigheid van klemming in steenbekledingen is de DWW deze trekproeven gaan uitvoeren om te kunnen vaststellen of de goede interactie tussen de stenen bij alle stenen aanwezig is, en bij alle type steenbekledingen. Een resultaat van die trekproefcampagnes was onder andere dat rechthoekige blokken boven de tijzone vrij slecht geklemd blijken te liggen (een groot deel ligt helemaal los tussen de burens), terwijl voor goed ingewassen Basalton en Hydroblocks de klemming bijzonder goed is. Bij de trekproeven is geprobeerd om blokken tot maximaal 25 mm uit de bekleding te trekken met trekkrachten tot ongeveer 900 kgf. De grootste trekkracht en de grootste verplaatsing zijn de belangrijkste resultaten van een trekproef. Deze hoeven niet op hetzelfde tijdstip opgetreden te zijn.

### 2.3 Probleemanalyse

Er zijn inmiddels duizenden trekproeven uitgevoerd en gerapporteerd in een grote stapel verslagen. De toegankelijkheid tot deze informatie is vrij beperkt en er is daarom behoefte aan een overzichtsrapportage waarin de resultaten van de trekproeven kort zijn samengevat en aangevuld met conclusies.

Het inzicht in de relatie tussen de kracht die nodig is om een blok uit de bekleding te trekken tijdens een trekproef, en de kracht die de golven daarvoor nodig hebben, is vrij beperkt. Er is behoefte aan een nadere beschrijving van deze relatie. Hierin spelen de bezwijkmechanismen van stenen in een steenzetting onder golfbelasting een belangrijke rol. In onderhavig onderzoek wordt uitgegaan van het zuigermechanisme als bezwijkmechanisme, omdat de aandacht gericht is op de minimale klemming van enkele blokken in een voor de rest redelijk geklemd steenzetting. Wanneer de blokken goed geklemd liggen, zullen ze waarschijnlijk tegelijk door de golfbelasting omhoog gelicht worden. Het zuigermechanisme ligt dan minder voor de hand en is er eerder sprake van het kattenrugmechanisme. Zo'n kattenrug genereert een extra normaalkracht in de rij die de interactie tussen de stenen sterk doet toenemen (Peters, 2002). Aan dit mechanisme wordt in onderhavige studie voorbijgegaan en wordt verwezen naar deelplan 7.3.2, "Ligger- en plaatwerking in steenzettingen".

Het onderzoek wordt al jaren getergd door de vraag of niet elke steenzetting ergens een los blok heeft. Dat zou kunnen betekenen dat de steenzetting overal keurig blijft liggen als gevolg van klemming, maar toch op die ene zwakke plek bezwijkt, waarna een dijkdoorbraak kan volgen. In deelplan 4, "Onderzoek reststerkte", is voorgesteld om dit probleem aan te pakken door onderzoek te doen naar reststerkte. Als aangetoond kan worden dat er voldoende reststerkte is na het bezwijken van een steen uit de steenzetting, dan wordt het wel verantwoord om de klemming mee te tellen.

In de veiligheidsfilosofie wordt dan de mate waarin op klemming mag worden vertrouwd, gerelateerd aan de reststerkte van de toplaag. Wanneer er sprake is van reststerkte, kan de



positieve invloed van klemming benut worden. Dus om uiteindelijk de invloed van klemming te laten meetellen, is een vereiste dat met voldoende zekerheid aangetoond kan worden dat er reststerkte aanwezig is en hoeveel reststerkte er aanwezig is. Principieel is het wel mogelijk dat er met klemming gerekend wordt zonder dat er sprake is van reststerkte, maar de klemfactor waarmee dan gerekend moet worden is ongeveer één.

Aan de verdere kwantificering van reststerkte wordt in deze studie voorbijgegaan en wordt verwezen naar deelplan 4, "Onderzoek reststerkte".

## 2.4 Doel

Het doel van deze studie is het verkrijgen van kwantitatieve informatie over de klemfactor in relatie tot het type steenzetting en de plaats op het talud. Daarnaast is het doel inzicht te verkrijgen in de relatie tussen de klemfactor en de maximaal toelaatbare dwarskracht.

Het eerste doel wordt voornamelijk gerealiseerd middels de statistische analyse van trekproeven. Het resultaat van de analyse wordt gepresenteerd in een tabel, waarin de klemfactor behorend bij een bepaalde onderschrijdingsfrequentie voor een steenbekleding op de meetlocatie wordt weergegeven. Tevens wordt de formule gegeven waarmee de klemfactor bij een willekeurige, andere onderschrijdingsfrequentie bepaald kan worden.

Ten aanzien van het tweede doel, namelijk inzicht in de relatie tussen de trekkracht tijdens een trekproef en het toelaatbare stijghoogteverschil tijdens golfbelasting, wordt een bijdrage geleverd in de vorm van een kwalitatieve beschrijving. In deze beschrijving speelt het bezwijkmechanisme een belangrijke rol.

Hierbij is de gedachte uitgewerkt dat de klemkracht gezien kan worden als een sommatie van de maximale wrijving op de vier vlakken van het blok. Zodra de dwarskracht in een bekleding groter is dan deze maximale wrijving, dan zal een deel van zetting gaan verschuiven ten opzichte van het andere deel. Op basis hiervan kunnen uitspraken gedaan worden over het al dan niet bezwijken van groepen van blokken.

## 2.5 Plan van aanpak

De analyse richt zich op de trekproeven waarvan de gemeten trekkracht een bepaalde grenswaarde onderschrijdt. De gemeten trekkracht wordt omgerekend naar een netto trekkracht door de gemeten trekkracht te verminderen met het eigen gewicht van het blok. De grenswaarde wordt vastgesteld conform Klein Breteler (1998) op tweemaal het eigen gewicht:  $F_n < 2G$ , waarin  $F_n$  de netto trekkracht (N) is en  $G$  het eigen gewicht (N) van het blok.

Verwacht wordt dat de trekproefresultaten Rayleigh verdeeld zijn, net als in het onderzoek van Klein Breteler (1998). Gegeven de aanname dat de resultaten Rayleigh verdeeld zijn, kan met een bepaalde betrouwbaarheid bij een willekeurige onderschrijdingsfrequentie de trekkracht vastgesteld worden. Deze trekkracht kan vervolgens vertaald worden naar een klemfactor. Bij die trekproeven waarvoor geen resultaten onder de vastgestelde grenswaarde gevonden zijn, wordt met een bepaalde betrouwbaarheid de klemfactor bepaald, eveneens aannemende dat de resultaten Rayleigh verdeeld zijn. Deze methodiek is vergelijkbaar met Klein Breteler (1998).

De belangrijkste parameter in dit onderzoek is de trekkracht die vastgesteld is in verschillende meetcampagnes, die vertaald wordt naar een klemfactor. Daarnaast spelen het type steen, bijvoorbeeld Haringmanblokken of Basalton, en het niveau van de steen ten opzichte van NAP, bijvoorbeeld boven de tijzone of in de tijzone, een belangrijke rol.

Naast de statistische analyse wordt gekeken naar de relatie tussen de klemfactor en de toelaatbare dwarskracht, dit teneinde, vooruitlopend op de fundamentele studie naar de invloed van klemming, enige greep te krijgen op de voorwaarden waaronder klemfactoren kunnen worden toegepast. Verder zal getracht worden om de verschillende typen steenzettingen aan de hand van de geconstateerde klemfactor in te delen in categorieën, die verband houden met de grootte van de reststerkte van die steenzettingen:

1. (Zeer) vast geklemd: het bezwijkmechanisme is nooit afschuiving, maar altijd doorslag (kans afschuiving ontwerpcriterium). Er is een relatief hoge klemfactor; de reststerkte van de toplaag is daardoor klein. Als een goed geklemd zetting bezwijkt, is de belasting immers zeer groot ten opzichte van de toplaagdikte. Doordat bezwijken optreedt in de vorm van doorslag, ontstaat er meteen een groot gat in de toplaag en is het te betwijfelen of de rest van de toplaag nog een significante reststerkte te zien zal geven.
2. Matig geklemd: Enerzijds is er een kans op het zuigermechanisme waarbij één steen uit de zetting komt. De reststerkte van de toplaag is dan waarschijnlijk groot, omdat de rest nog steeds redelijk geklemd zit en de belasting kleiner is dan bij het bezwijken van een zeer vast geklemd zetting. Anderzijds is er een kans op het doorslagmechanisme als de klemming wat beter is. Maar dan zal een groot oppervlak ineens bezwijken en is de reststerkte van de toplaag dus klein.
3. Slecht geklemd: het bezwijkmechanisme zal in dit geval waarschijnlijk het zuigermechanisme zijn. Hierbij komt één steen uit de zetting. De reststerkte van de toplaag is dan waarschijnlijk relatief groot, omdat de rest nog steeds redelijk geklemd zit en de belasting kleiner is dan bij een matig geklemd zetting.

Het gaat er hierbij om dat de gezamenlijke kans op het uitlichten van een geklemd steen (kans dat de klemfactor tekortschiet) en het vervolgens tekortschieten van de reststerkte zo klein is, dat er geconcludeerd kan worden dat de betreffende steenzetting (met onderlagen) voldoende veilig is.

Bij het onderzoek geldt het volgende plan van aanpak:

1. Het verzamelen van de resultaten van de uitgevoerde trekproeven. Naast de rapporten met resultaten die al door Klein Breteler (1998) zijn geanalyseerd, zijn de rapporten van de overige meetcampagnes verzameld. Ook de CD waarop de resultaten van alle meetcampagnes vermeld staan, wordt meegenomen in het onderzoek.
2. Het verwerken van de resultaten. De parameters die een belangrijke rol spelen in het onderzoek zijn uit de rapporten gehaald en gerapporteerd.
3. Het analyseren van de data.
4. Het opstellen van een rapport. Hierbij wordt de gevolgde methodiek beschreven, evenals de onderzoeksresultaten en de conclusies.

## 3 Bezwijkmechanisme

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is een beschouwing gegeven over de belasting op een steenzetting tijdens een trekproef en tijdens een golfaanval.

Een steenzetting die belast wordt door golven ondervindt tijdens elke golf lokaal een kortdurend opwaarts stijghoogteverschil, terwijl elders de golfkrachten neerwaarts gericht zijn. Deze belasting wijkt daardoor op een aantal punten af van de belasting tijdens een trekproef:

- **Belastingsduur:** Tijdens de golfbelasting is er slechts gedurende enkele tienden van een seconde een opwaartse belasting, terwijl een trekproef tientallen seconden duurt
- **Wisselbelasting:** De golven geven een belasting gedurende een aantal opeenvolgende golven, die afwisselend opwaarts en neerwaarts is gericht, terwijl tijdens een trekproef er slechts eenmaal aan een blok getrokken wordt
- **Belast oppervlak:** De golven geven een belasting op een groot aantal stenen tegelijk, terwijl de trekproef maar op één steen tegelijk uitgevoerd is

Deze verschillen worden in dit hoofdstuk nader belicht.

### 3.2 Belastingsduur

De belastingsduur is van belang voor materialen die een kruipgedrag vertonen, zoals asfalt. Steenzettingen zijn opgebouwd uit betonblokken of natuursteen met een bij deze belastingsduur verwaarloosbaar kruipgedrag. In de voegen kan er steenslag, klei/slib of zand aanwezig zijn. Alleen in het geval er klei of slib in de voegen aanwezig is, zonder dat dit vermengd is met steenslag, zou er een invloed van de belastingsduur kunnen zijn. Als er wel steenslag aanwezig is, dan is het de verwachting dat vooral de steenslag in de voeg de krachtsoverdracht verzorgt, en de klei en het slib een ondergeschikte rol spelen. De zeldzame situatie van klei of slib in de spleten zonder steenslag is denkbaar bij rechthoekige betonblokken die koud tegen elkaar gezet zijn, waarna er later slib is ingespoeld. In de meeste gevallen zal er echter niet alleen slib in de spleten gaan zitten, maar ook schelpen, steentjes en andere rommel.

Geconcludeerd wordt dat de belastingsduur voor de meeste steenzettingen een onbelangrijke invloed heeft. Alleen in het uitzonderlijke geval van rechthoekige betonblokken met schoon slib tussen de spleten (zonder steentjes of andere rommel) is er een mogelijke invloed denkbaar.

Gezien deze conclusie is er verder ook geen aandacht besteed aan de belastingsnelheid. Bovendien laten de voorlopige resultaten van het onderzoek in de Scheldebak in 2003 weinig invloed van de belastingssnelheid op de wrijving zien. Dat onderzoek was gericht op de wrijving tussen een steenzetting en de eronder liggende laag.

### 3.3 Wisselbelasting

Het feit dat er tijdens een storm vele golven op een steenzetting beuken leidt tot een wisselende belasting van de individuele stenen. Tijdens de ene golf kan een steen een paar centimeter omhoog gelicht worden, waarna een volgende golfklap de steen er weer in beukt. Het is daarom denkbaar dat een aantal opeenvolgende golven op deze manier kan leiden tot het geleidelijk loswerken van een steen.

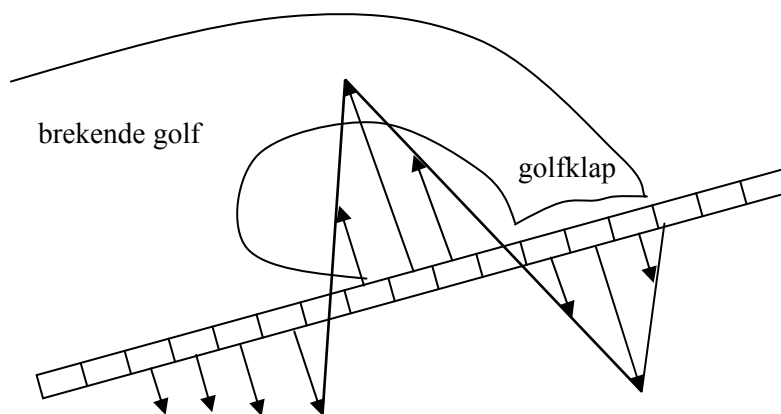
De invloed van het herhaalde malen trekken en weer terugduwen van stenen is onderzocht tijdens de metingen bij Colijnsplaat (Klein Breteler, 1998). Het betrof Haringmanblokken met een erg slechte klemming:  $1.0 < \Gamma_k < 1.3$ . De resultaten van het herhaald trekken laten een grote spreiding zien. Desondanks is er een trend te ontdekken dat de klemfactor inderdaad afneemt als er meerdere malen aan een steen getrokken wordt.

Het is echter de vraag of dit resultaat ook van toepassing is op beter geklemde steenzettingen, zoals Basalton of Hydroblocks. Bij dit deze type steenzettingen zitten de stenen zo vast tussen de andere stenen, dat het trekken slechts een verplaatsing van hooguit enkele millimeters tot gevolg heeft, die vermoedelijk tot een verwaarloosbare verandering van de spleetvulling leidt.

Het verdient aanbeveling dit aspect nader te onderzoeken door middel van trekproefseries die een aantal malen herhaald worden. Voorlopig kan slechts gesteld worden dat de uit de huidige analyse resulterende klemfactoren vanwege die wisselbelasting met voorzichtigheid gehanteerd moeten worden.

### 3.4 Belast oppervlak

De golven op een steenzetting geven een gecompliceerd driedimensionaal belastingpatroon op de toplaag dat snel in de tijd verandert. Tijdens het maximale stijghoogteverschil over de toplaag kan de belasting als volgt geschematiseerd worden:



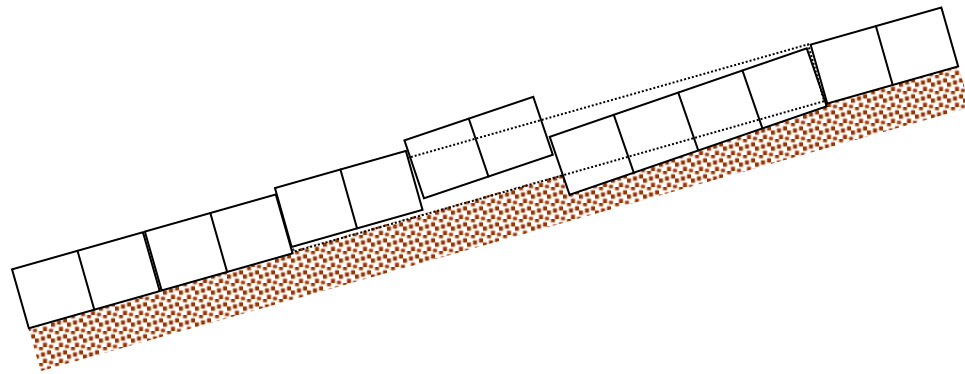
Figuur 3.1 Schematisering golfbelasting op steenbekleding.

Uit deze figuur blijkt dat één steen een zeer grote opwaartse belasting ondervindt, en wellicht uit de zetting gelicht gaat worden. Bij deze verhouding tussen golfhoogte en

steenafmeting worden de stenen er direct naast echter ook zwaar belast en zouden mee omhoog kunnen gaan bewegen. Het totale veld dat omhoog wil gaan bewegen beslaat ongeveer 3 à 4 rijen (strook van 1 à 2 m).

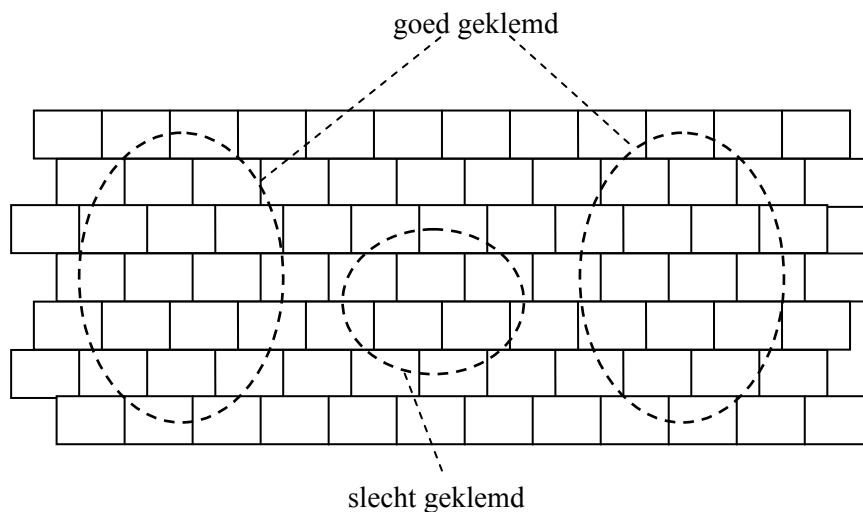
Daar waar naast de opwaartse belasting een sterk neerwaartse belasting aanwezig is, is er een grote dwarskracht in de steenzetting. Deze dwarskracht kan leiden tot een onderlinge verschuiving van rijen die tot uiting komt in de vorming van een Z-profiel. Dit is geschetst in Figuur 3.2. Deze situatie treedt op na een aantal belastingen dat ervoor zorgt dat het filter migreert.

Tijdens onderzoek in de Deltagoot is vastgesteld dat dit mechanisme enige tijd nodig heeft. Er zijn kennelijk vele golven nodig om de verschuiving van de toplaag en de daarmee samenhangende migratie van het filter te bewerkstelligen. Wellicht is er sprake van een op- en neergaande beweging met een netto component, zoals gesuggereerd in Paragraaf 3.3.



Figuur 3.2 Z-profiel.

In de langsrichting van de dijk is er een grote lengte met een vrijwel dezelfde belasting. Vooral als de golven loodrecht op de steenzetting komen, is deze belastinglengte groot. Net vóór de golfklap kan de lengte vele tientallen meters zijn, maar door minimale verschillen in het moment van de golfklap zal tijdens de golfklap deze lengte slechts enkele meters zijn.

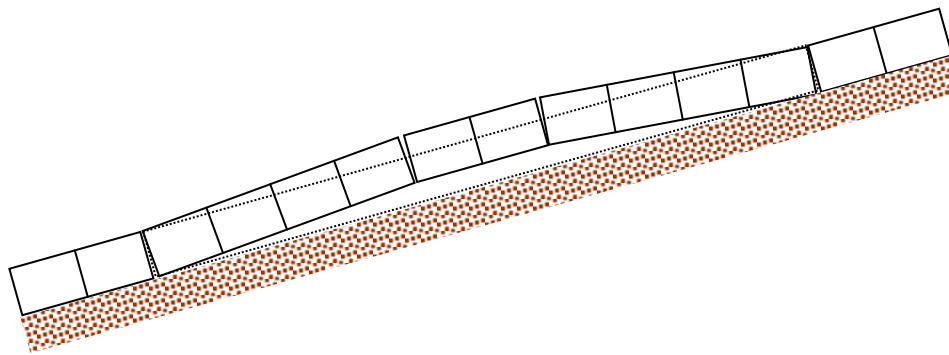


Figuur 3.3 Goed en slecht geklemden delen in de steenzetting.

Dit hoeft echter niet te betekenen dat tijdens de golfaanval er in één moment vele tientallen meters steenzetting in één keer uit de bekleding gelicht worden. Dit wordt duidelijk als ook de sterkte erbij betrokken wordt.

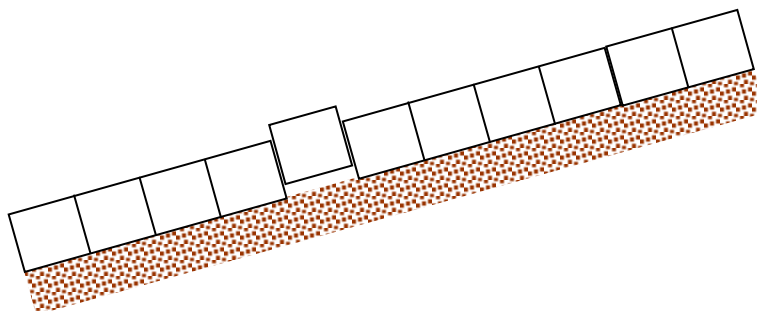
In Figuur 3.3 is in een bovenaanzicht voor een deel van een steenzetting aangegeven, dat er gebieden zijn waar de stenen goed geklemd liggen en dat er een gebied is waar de stenen slecht geklemd liggen. Gegeven een bepaalde verdeling van slecht tot goed geklemd blokken, zal naar mate men het gebied met relatief slechte klemming ruimer kiest, de gemiddelde klemfactor groter zijn.

Ter plaatse van het slecht geklemd stuk steenzetting zal de belasting vrij snel in staat zijn de stenen significant op te lichten. In de gebieden met goede klemming zal dit niet snel gebeuren. In de goed geklemd gebieden is het veel waarschijnlijker dat de belasting zal leiden tot de vorming van een kattenrug, zoals dit ook tijdens modelonderzoek is vastgesteld, zie Figuur 3.4. Zo'n kattenrug genereert een extra normaalkracht in de rij die de interactie tussen de stenen sterk doet toenemen (Peters, 2002). Dit verkleint de kans dat de zetting hier bezwijkt. Daardoor is het zeer onwaarschijnlijk dat een lange rij blokken als een zuiger omhoog schuift.



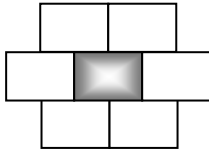
Figuur 3.4 Kattenrugmechanisme.

Doordat we ons in deze analyse volledig concentreren op die stenen in een steenzetting die bijzonder slecht geklemd liggen (we kijken immers naar een onderschrijdingsfrequentie van de klemming van 0.1%), ligt het meer voor de hand dat één of slechts enkele stenen tegelijk als een zuiger er uitgedrukt worden, zie Figuur 3.5.



Figuur 3.5 Zuigermechanisme.

Bovenstaande overwegingen leiden ertoe dat we een kleine groep stenen kunnen beschouwen. Als eerste wordt gekeken naar een groepje van 7 stenen, geschematiseerd tot rechthoekige blokken. De totale klemming van een blok wordt verondersteld gelijkmatig verdeeld te zijn over de vier zijden. Hierdoor bestaat de sterkte van een afzonderlijke steen uit het eigen gewicht, en vier klemkrachten. De grootte van zo'n klemkracht is  $G_o \cdot (\Gamma_k - 1)/4$ , met  $G_o$  het eigen gewicht (N) van een blok onder water en  $\Gamma_k$  de klemfactor (-).



Figuur 3.6 Bovenaanzicht groep van 7 stenen.

Voor de groep van 7 blokken wordt aangenomen dat het middelste blok een zeldzaam kleine klemfactor heeft, namelijk  $\Gamma_{kM}$ , en de omliggende blokken een wat grotere klemfactor hebben:  $\Gamma_{kO}$ . De belasting is ook niet overal gelijk. De middelste rij wordt het zwaarste belast ( $\phi_M$ ) en de rijen eronder en erboven worden iets minder belast:  $\phi_O$ . De totale belasting en sterkte van deze groep blokken is als volgt (omtrek is gelijk aan 12 zijden):

- Sterkte =  $7G_o + 12G_o \cdot (\Gamma_{kO} - 1)/4$
- Belasting =  $3\phi_M + 4\phi_O$

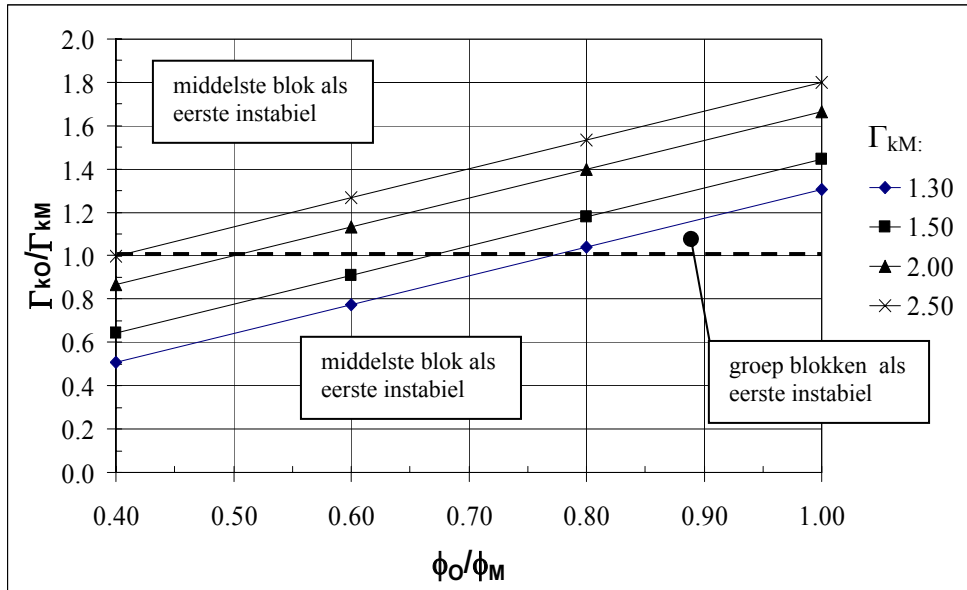
De klemming moet zo groot zijn dat de sterkte tenminste gelijk is aan de belasting. Daarnaast moet ook het middelste blok voldoende geklemd liggen:  $\phi_M \leq G_o \Gamma_{kM}$ . Hiermee wordt voor de evenwichtsituatie met  $\Gamma_{kM} = \phi_M / G_o$  het volgende gevonden:

$$\Gamma_{kO} = \left( \frac{4 \phi_O}{3 \phi_M} + 1 \right) \Gamma_{kM} - \frac{4}{3} \quad (3.1)$$

Met deze formules kan nu het volgende beoordeeld worden voor de algemene situatie dat  $\Gamma_{kM} \neq \phi_M / G_o$ :

- als  $\Gamma_{kM} < \phi_M / G_o$ , dan wordt het middelste blok eruit gelicht door de golven,
- als  $\Gamma_{kM} \geq \phi_M / G_o$  en  $\Gamma_{kO} < \left( \frac{4 \phi_O}{3 \phi_M} + 1 \right) \frac{\phi_M}{G_o} - \frac{4}{3}$ , dan bezwijkt de groep blokken, en
- als  $\Gamma_{kM} \geq \phi_M / G_o$  en  $\Gamma_{kO} > \left( \frac{4 \phi_O}{3 \phi_M} + 1 \right) \frac{\phi_M}{G_o} - \frac{4}{3}$ , dan is de groep blokken stabiel.

Dit is in Figuur 3.7 grafisch weergegeven voor het uiterste geval dat  $\Gamma_{kM} = \phi_M / G_o$ .



Figuur 3.7 Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van 7 blokken.

In Figuur 3.7 is te zien dat voor een aantal gevallen  $\Gamma_{kO} / \Gamma_{kM} < 1$ . De minimaal benodigde waarde van  $\Gamma_{kO}$  is dan kleiner dan die voor  $\Gamma_{kM}$ , terwijl het uitgangspunt juist was dat  $\Gamma_{kO} > \Gamma_{kM}$ . Daardoor geldt dat als  $\Gamma_{kO} / \Gamma_{kM} < 1$  de groep blokken niet kan bezwijken, en alleen nog het middelste blok kan bezwijken.

Tijdens metingen van het stijghoogteverschil over de toplaag in de Deltagoot is vastgesteld, dat in normale gevallen de belasting  $0.3 < \phi_O / \phi_M < 0.8$  is. In de figuur is te zien dat bij deze waarden  $\Gamma_{kO} / \Gamma_{kM}$  vrij bescheiden waarden heeft, namelijk kleiner dan 1.5. Juist als  $\Gamma_{kM}$  vrij klein is (tot 1.5), is de waarde van  $\Gamma_{kO} / \Gamma_{kM}$  zo klein dat de bekleding waarschijnlijk eerder zal bezwijken doordat het middelste blok wordt uitgelicht, dan dat de hele groep blokken eruit komt. Deze constatering komt goed overeen met het gevoel dat bij een kleine klemkracht waarschijnlijk een blok als zuiger zal bezwijken en dat bij een grote klemkracht waarschijnlijk een grote groep blokken tegelijk zal bezwijken (als zuiger of als kattenrug).



Figuur 3.8 Bovenaanzicht rij van 3 stenen.

Aanvullend op het bovenstaande is ook met dezelfde methodiek gekeken naar het geval er drie blokken in een rij zullen bezwijken. Het is niet te verwachten dat er veel meer dan drie blokken tegelijk als zuiger omhoog zullen komen, omdat een lange rij de neiging heeft om een kleine rotatie te ondergaan tijdens de beweging, waardoor de beweging vastloopt. Dit vastlopen gaat gepaard met de ontwikkeling van een grote normaalkracht, waarna nog slechts een kattenrug kan optreden. Dit mechanisme vergt een veel grotere kracht dan het zuigermechanisme omdat juist aangenomen was dat er lokaal een relatief geringe klemming aanwezig is.

Voor een rij van drie blokken geldt het volgende:



- Sterkte =  $3G_o + 2G_o \cdot (\Gamma_{kM} - 1)/4 + 6G_o \cdot (\Gamma_{kO} - 1)/4$
- Belasting =  $3\phi_M$

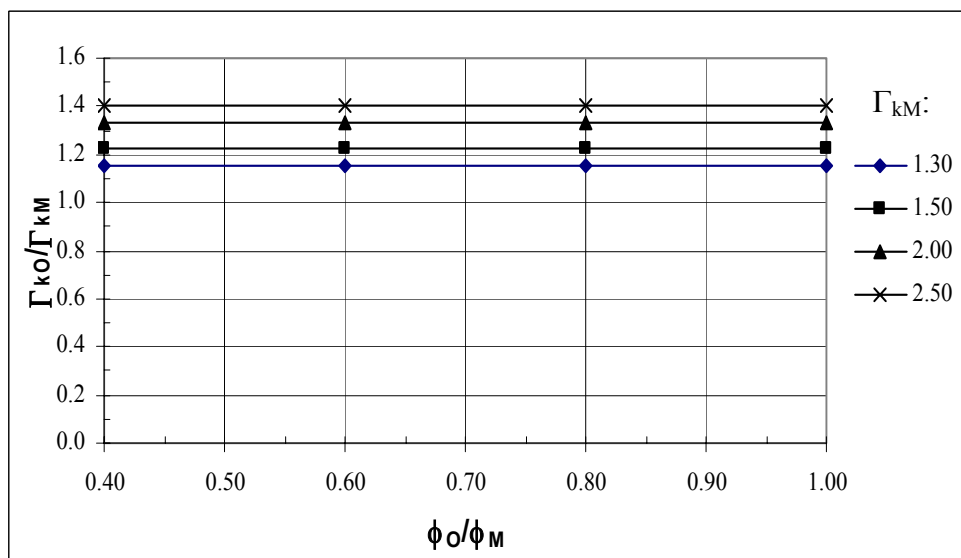
De klemming moet zo groot zijn dat de sterkte tenminste gelijk is aan de belasting. Daarnaast moet ook het middelste blok voldoende geklemd liggen:  $\phi_M \leq G_o \Gamma_{kM}$ . Hiermee wordt voor de evenwichtsituatie  $\Gamma_{kM} = \phi_M / G_o$  het volgende gevonden:

$$\Gamma_{kO} = \frac{5}{3} \Gamma_{kM} - \frac{2}{3} \quad (3.2)$$

Met deze formules kan nu het volgende beoordeeld worden voor de algemene situatie dat  $\Gamma_{kM} \neq \phi_M / G_o$ :

- als  $\Gamma_{kM} < \phi_M / G_o$ , dan wordt het middelste blok eruit gelicht door de golven,
- als  $\Gamma_{kM} \geq \phi_M / G_o$  en  $\Gamma_{kO} < 2 \frac{\phi_M}{G_o} - \frac{1}{3} \Gamma_{kM} - \frac{2}{3}$ , dan bezwijkt de groep blokken, en
- als  $\Gamma_{kM} \geq \phi_M / G_o$  en  $\Gamma_{kO} > 2 \frac{\phi_M}{G_o} - \frac{1}{3} \Gamma_{kM} - \frac{2}{3}$ , dan is de groep blokken stabiel.

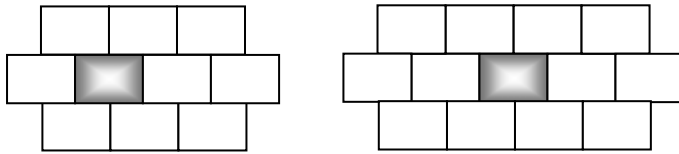
Dit is in Figuur 3.9 grafisch weergegeven voor het uiterste geval dat  $\Gamma_{kM} = \phi_M / G_o$ .



Figuur 3.9 Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van 3 blokken in een rij.

In Figuur 3.9 is te zien dat  $\Gamma_{kO} / \Gamma_{kM}$  voor dit geval ligt tussen ongeveer 1.2 en 1.4, waaruit blijkt dat er alleen drie blokken tegelijk worden uitgelicht als de naastliggende blokken slechts weinig beter geklemd liggen dan het middelste blok.

Vervolgens is een iets grotere groep stenen beschouwd. De groep van 7 stenen, geschematiseerd tot rechthoekige blokken, kan aan beide zijden worden uitgebreid met steeds een drietal blokken, zie Figuur 3.10.

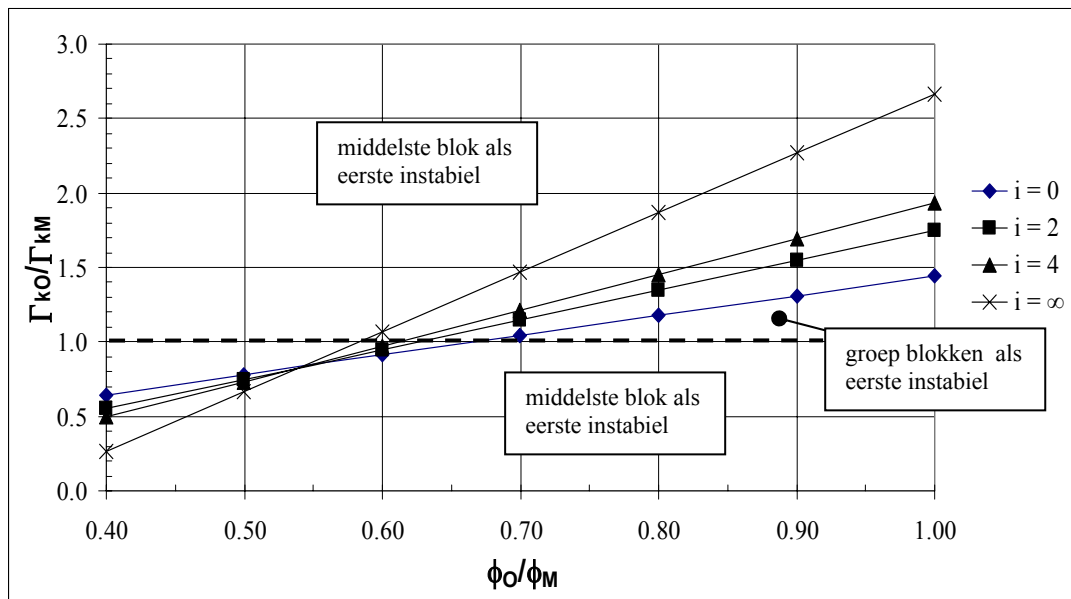


Figuur 3.10 Bovenaanzicht groep van 10 stenen (i=1) en 13 stenen (i=2).

Voor de groep van blokken wordt aangenomen dat een middelste blok een zeldzaam kleine klemfactor heeft, namelijk  $\Gamma_{kM}$ , en de omliggende blokken een wat grotere klemfactor hebben:  $\Gamma_{kO}$ . De belasting is als in de vorige beschouwing: de middelste rij wordt het zwaarste belast ( $\phi_M$ ) en de rij eronder en erboven wordt iets minder belast:  $\phi_O$ . Het onderwatergewicht van een blok is  $G_o$  (N).

De totale belasting en sterkte van deze groep blokken is als volgt (omtrek is gelijk aan  $(12 + 2i)$  zijden):

- Sterkte =  $(7+3i)G_o + (12+2i)G_o(\Gamma_{kO} - 1)/4$
- Belasting =  $(3+i)\phi_M + (4+2i)\phi_O$



Figuur 3.11 Dimensieloze belasting tegen dimensieloze klemming voor een groep van  $(7 + 3i)$  blokken, voor  $\Gamma_{kM} = 1.50$ .

De klemming moet zo groot zijn dat de sterkte tenminste gelijk is aan de belasting. Daarnaast moet ook het middelste blok voldoende geklemd liggen:  $\phi_M \leq G_o \Gamma_{kM}$ . Hiermee wordt voor de evenwichtsituatie met  $\Gamma_{kM} = \phi_M / G_o$  het volgende gevonden:

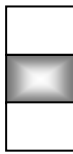
$$\Gamma_{kO} = \left( \frac{\phi_O}{\phi_M} \frac{4+2i}{3+0.5i} + \frac{3+i}{3+0.5i} \right) \Gamma_{kM} - \frac{4+2.5i}{3+0.5i} \quad (3.3)$$

Dit is geïllustreerd in Figuur 3.11 voor het geval  $\Gamma_{kM} = 1.50$ .

Voor de situatie van 7 blokken ( $i = 0$ ) leidt dit tot Formule (3.1); voor de maatgevende situatie bij loodrechte golfval ( $i = \infty$ ) levert dit het volgende resultaat:

$$\Gamma_{kO} = \left( \frac{\phi_O}{\phi_M} 4 + 2 \right) \Gamma_{kM} - 5 \quad (3.4)$$

De vergelijking voor de situatie voor  $i = \infty$  kan ook direct worden afgeleid uit Figuur 3.12.



Figuur 3.12 Bovenaanzicht groep van 3 stenen.

De totale belasting en sterkte van deze groep blokken is als volgt (omtrek is gelijk aan slechts 2 zijden de onder en bovenrand, omdat de naastliggende blokken op dezelfde wijze worden belast):

- Sterkte =  $3G_o + 2 G_o (\Gamma_{kO} - 1)/4$
- Belasting =  $\phi_M + 2\phi_O$

Doordenkend in deze trant kan ook de stabiliteit van een hogere kolom worden beoordeeld, een kolom van  $(1 + 2n)$  blokken. Verondersteld wordt dat de belasting driehoekig is met een topwaarde  $\phi_M$  en een waarde  $\phi_O$  exact één blok verderop:

- Sterkte =  $(1+2n) G_o + 2 G_o (\Gamma_{kOn} - 1)/4$
- Belasting =  $-\phi_M + 2 \sum_{i=0}^n (i\phi_O - (i-1)\phi_M)$

Deze situatie zal de kritieke situatie op kunnen leveren voor  $n$  volgend uit:

$$n = \text{int} \left( \frac{1 - \frac{1}{\Gamma_{kM}}}{1 - \frac{\phi_O}{\phi_M}} \right) \quad \text{of} \quad n = \text{int} \left( \frac{1 - \frac{1}{\Gamma_{kM}}}{1 - \frac{\phi_O}{\phi_M}} \right) + 1 \quad (3.5)$$

Dit is feitelijk niets anders dan een beoordeling of de dwarskracht in een kolom blokken niet groter wordt dan de dwarskracht die bij de trekproef kon worden opgenomen door een voeg.

Bovenstaande oriënterende berekeningen geven aan dat een zeer slecht geklemd blok waarschijnlijk als enige door de golven volgens het zuigermechanisme uit de steenzetting wordt gelicht, als de eromheen omliggende blokken wat beter geklemd liggen dan dat blok. Dit ondersteunt de methodiek die in dit verslag is gehanteerd, die gericht is op het bezwijkmechanisme waarbij er één slecht geklemd blok door de golven volgens het zuigermechanisme wordt uitgelicht. Het is daarbij essentieel dat de aandacht geconcentreerd wordt op de zeer slecht geklemden blokken binnen een specifieke zetting. In de analyse is dit gerealiseerd door te kijken naar de klemming die slechts bij 0.1 % van de blokken wordt onderschreden. Met de afgeleide formules kan zelfs een nog kleiner onderscheidingspercentage gekozen worden.

## 4 Onderzoeksresultaten

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is eerst een overzicht gegeven van de uitgevoerde meetcampagnes. Vervolgens is beschreven op welke manier de trekproefresultaten vertaald zijn in een klemfactor. Per meetcampagne worden de klemfactoren gepresenteerd in tabelvorm. In de tabellen is naast de klemfactor ook het type blok en de hoogte ten opzichte van de tijzone weergegeven. Klein Breteler (1998) stelde vast dat dit de meest invloedrijke parameters zijn. Tevens is de klemfactor ingedeeld in de volgende 3 categorieën (zie Paragraaf 2.5):

1. (zeer) vast geklemd:  $\Gamma_k \geq 2.0$ ,
2. matig geklemd:  $1.5 \leq \Gamma_k < 2.0$ , en
3. slecht geklemd:  $1.0 \leq \Gamma_k < 1.5$ ,

waarin  $\Gamma_k$  (-) de klemfactor is. De grenzen tussen deze categorieën zijn voorlopig arbitrair gekozen.

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een analyse van de resultaten.

### 4.2 Overzicht van meetcampagnes

In deze paragraaf worden de meetcampagnes op een rij gezet. Een trekproef is uitgevoerd in een meetcampagne, welke wordt gekarakteriseerd met een nummer, een locatie en in welk deel van welk jaar de campagne is uitgevoerd. In totaal zijn er 17 meetcampagnes geweest, zie Tabel 4.1. Tevens is in Tabel 4.1 weergegeven door wie de meetcampagne is gerapporteerd. Meer details van elke meetcampagne zijn weergegeven in Bijlage B. De trekproefresultaten zijn niet alleen gerapporteerd, maar ook opgeslagen op een CD. Deze CD is ook meermaals gebruikt bij het onderzoek.

Een belangrijk detail is de ligging van de raai waarop de trekproeven zijn uitgevoerd ten opzichte van de tijzone. Dit is weergegeven in de tabellen waarin de klemfactoren gepresenteerd zijn in Paragraaf 4.4 en Paragraaf 4.5. Daarvoor is een indeling gemaakt in drie verschillende niveaus:

- boven tijzone; meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij,
- net boven tijzone; tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven, en
- in tijzone; onder HW-lijn bij springtij.

Een ander belangrijk detail is het bloktype.

Campagne	Locatie	Periode	Rapport
01*	Colijnsplaat	voorjaar 1990	Zandwijk (1995)
02*	Noord-Beveland	najaar 1990	Plooster (1990)
03*	Afsluitdijk	voorjaar 1991	Pehlig (1991a)
04*	Breskens	najaar 1991	Pehlig (1991b)
05*	Maassluis (Basalton)	najaar 1992 t/m najaar 1993	Nieuwenhuis (1994)
06*	Maassluis (PIT-zuilen)	voorjaar 1993	Nieuwenhuis (1993)
07*	Colijnsplaat	najaar 1994	Zandwijk (1995)
08	Oesterdam	voorjaar 1996	Zandwijk (1996)
09	Terneuzen (bewesten)	voorjaar 1997	Kolff (1997)
10	Walsoorden	voorjaar 1998	Bos en Heusinkveld (1998)
11	Oesterdam	voorjaar 1999	Mooijman (1999b)
12	Mosselbanken	voorjaar 1999	Mooijman (1999a)
13	Paviljoen-polder	voorjaar 1999	Mooijman (1999c)
14	Friesland (Slachte, Stenen Man, Wierum, Lauwersoog)	zomer 1999	Consulmij (2001a)
15	Zeeland (zuidoever Westerschelde)	najaar 1999	Consulmij (1999).
16	Zeeland (Braakmanhaven)	najaar 1999	Consulmij (2001b)
17	Zeeland (Hellegatspolder)	najaar 1999	rapport ontbreekt

Tabel 4.1 Overzicht van meetcampagnes. (\*Meetcampagne is reeds geanalyseerd door Klein Breteler (1998). De resultaten hiervan zijn overgenomen uit zijn rapport. )

### 4.3 Klemfactor

Het belangrijkste resultaat van een trekproef is de maximale trekkracht die nodig is om uiteindelijk de steen 25 mm omhoog te trekken. In Figuur 4.1 is met een voorbeeld verduidelijkt, dat het moment van maximale trekkracht niet overeen hoeft te komen met de maximale verplaatsing. De trekkracht bedraagt in dit geval 354 kgf (optredend op  $t = t_{max}$ ) en de verplaatsing 27.9 mm (optredend op  $t = t_{eind}$ ).

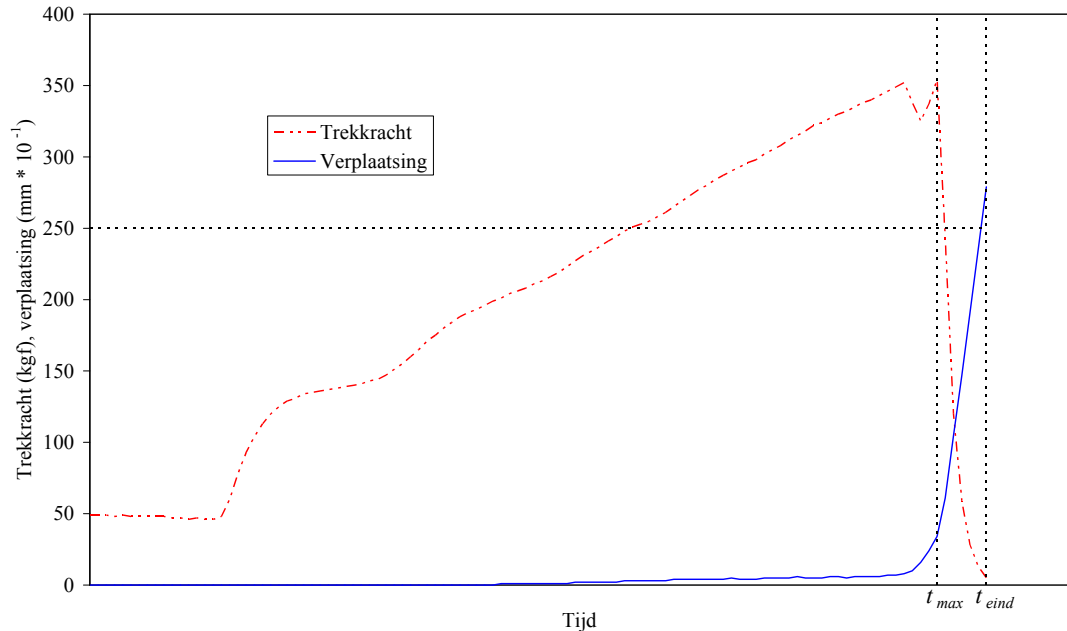
Klein Breteler (1998) leidde de volgende relatie af om de klemfactor te kunnen kwantificeren:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{F_r \rho_s}{(\rho_s - \rho) \cos \alpha} \quad (4.1)$$

waarin  $\Gamma_k$  (-) de klemfactor is,  $\rho_s$  ( $\text{kg/m}^3$ ) de volumieke massa van de blokken,  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) de volumieke massa van water en  $\alpha$  de taludhelling.  $F_r$  (-) is de relatieve netto trekkracht en wordt bepaald met:

$$F_r = \frac{F_n}{gM} = \frac{F_n}{G} \quad (4.2)$$

waarin  $F_n$  (N) de netto trekkracht is (gemeten trekkracht, zie Figuur 4.1, minus eigen gewicht),  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) is de zwaartekrachtsversnelling en  $M$  (kg) is de massa van het blok.



Figuur 4.1 Ontwikkeling van trekkracht en verplaatsing gedurende een trekproef op een 'los' blok.

In Formules (4.1) en (4.2) moet voor de trekkracht uiteraard niet gebruik gemaakt worden van het gemiddelde van de trekproefresultaten in één of enkele raaien, maar van een trekkracht die een zeer geringe onderschrijdingsfrequentie heeft. Klein Breteler (1998) stelde voor een kans van 0.1 % (eens in de 1000 keer) te gebruiken, dus  $F_{n0.1\%}$ . Dit percentage is in feite arbitrair en wellicht zelfs wat aan de hoge kant, omdat het vaak om steenbekledingen met enorme hoeveelheden ( $\gg 1000$ ) stenen gaat. Om ook de klemfactor voor een lager te kunnen berekenen, is een formule gegeven voor de klemfactor afhankelijk van dit percentage.

Er is wegens vermeende boogvorming geen gebruik gemaakt van de resultaten waarbij  $F_n$  groter is dan twee keer het eigen gewicht  $G$ . Het selectiecriterium is dus  $F_n < 2G$ , zodat de trekkracht te klein is om naast het eigen gewicht twee naastliggende blokken op te lichten. Aangenomen is dat beneden dat criterium geen boogvorming op is getreden.

Aangezien de trekproeven op een droog talud worden uitgevoerd en de toplaag onder de maatgevende golfbelasting in principe onder het wateroppervlak ligt, kan de klemfactor in verhouding tot de relatieve netto trekkracht  $F_n$  groter worden dan op het eerste gezicht zou worden verwacht. Ter illustratie is de klemfactor bepaald bij het selectiecriterium, dus als  $F_r = 2$ . Wanneer er gerekend wordt met een taludhelling van  $\cos\alpha = 0.97$  (overeenkomend met een helling van 1 op 4), met een dichtheid van water van  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  en met een dichtheid van de blokken die varieert van  $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$  tot  $\rho_s = 2900 \text{ kg/m}^3$ , dan levert dat een klemfactor op die varieert van  $\Gamma_k = 4.20$  tot  $\Gamma_k = 4.73$ .

In de onderstaande twee subparagrafen wordt uitgelegd hoe een klemfactor uitgerekend kan worden op basis van trekproefresultaten in het geval er in de raai(en) wél resultaten bestaan waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en in het geval er géén resultaten bestaan waarvoor geldt  $F_n < 2G$ .

In beide gevallen wordt eerst gekeken naar het percentage van de trekproeven waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Vervolgens wordt een veilige schatting gemaakt van het percentage van alle blokken op de steenzetting waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Voor het maken van deze veilige schatting wordt een bepaalde betrouwbaarheid gekozen, die erop neerkomt dat er een kleine kans is dat er in werkelijkheid meer blokken voldoen aan  $F_n < 2G$ .

Daarna worden de trekkrachten als functie van het onderschrijdingspercentage uitgezet op papier met een Rayleigh verdeling, zodat met een extrapolatie de waarde bij een onderschrijding van 0.1 % kan worden afgelezen. Als er geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , dan wordt het geschatte percentage van alle blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  uitgezet bij  $F_n = 2G$  en wordt daardoor een de Rayleigh verdeling getekend.

Een alternatieve aanpak om de klemfactor te bepalen is weergegeven in Bijlage D.

### 4.3.1 Wél trekproeven met $F_n < 2G$

Als tijdens een aantal trekproeven geconstateerd is dat er blokken zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , dan hoeft dat nog niet te betekenen dat hetzelfde percentage ook van toepassing is op alle blokken in de steenzetting. De trekproeven zijn immers slechts een steekproef, die door toeval beïnvloed kan zijn.

Uitgangspunt is dat voor een deel van de blokken geldt  $F_n < 2G$ , ofwel  $F_r < 2$ . Dit deel is voor de hele steenzetting onbekend, maar wordt geschat op  $p$ , waarbij  $p$  kan afwijken van het percentage in de trekproeven.

De kans dat we  $p$  onderschatten moet acceptabel klein worden gehouden. Daartoe moeten we eerst de relatie bepalen tussen  $p$  en het aantal waargenomen blokken waarvoor geldt  $F_r < 2$ :

$$P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) = l \mid p\} = \binom{N}{l} p^l (1-p)^{N-l} \quad (4.3)$$

en:

$$P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) \leq l \mid p\} = \sum_{i=0}^l \binom{N}{i} p^i (1-p)^{N-i} \quad (4.4)$$

waarin  $N$  de steekproefgrootte is. Voor elke willekeurige waarde van  $l$  geldt: de kans dat er maximaal  $l$  blokken zijn waarvoor geldt  $F_r < 2$  (Formule (4.4)) neemt af naarmate de waarde van  $p$  toeneemt. De waarde van  $p$  wordt nu zodanig groot gekozen, dat het vrij onwaarschijnlijk is dat bij deze waarde van  $p$  er slechts  $l$  blokken zijn waargenomen waarvoor geldt  $F_r < 2$ . Dit wordt vertaald naar een betrouwbaarheid  $P_B$ , die gelijk wordt gekozen aan 0.99. Dit kan ook gezien worden als een soort betrouwbaarheid waarmee we de waarde van  $p$  overschatten. Als gevolg van deze keuze is de werkelijke waarde van  $p$  naar alle waarschijnlijkheid kleiner dan de gekozen waarde en zitten we dus “aan de veilige kant” met onze schatting. In een formule komt het bovenstaande neer op:

$$P_B = 1 - P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) \leq l \mid p\} \quad (4.5)$$



Bovenstaande formules worden geïllustreerd met behulp van een voorbeeld. Stel er wordt een trekproef uitgevoerd op 500 blokken en er worden er 20 gevonden waarvoor geldt  $F_r < 2$ . Dit komt overeen met 4%. Voor de hele steenzetting wordt een veilige schatting gemaakt van het percentage waarvoor geldt  $F_r < 2$ , namelijk 5 %. Vervolgens willen we de kans weten dat we dit percentage te laag gekozen hebben. Daartoe rekenen we de kans uit dat, gegeven  $p = 0.05$ , een gemiddelde trekproefserie een kleiner aantal blokken met  $F_r < 2$  oplevert. De kans dat het aantal blokken waarvoor geldt  $F_r < 2$  onderschreden wordt is:

$$P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) \leq 20 \mid p = 0.05\} = \sum_{i=1}^L \binom{500}{i} 0.05^i (1-0.95)^{500-i} = 0.18$$

Daarmee wordt  $P_B$  gelijk aan  $1-0.18 = 0.82$  (= 82 %). Wanneer een hogere betrouwbaarheid gewenst is, dient het deel  $p$  vergroot te worden. Wanneer  $p$  vervolgens geschat wordt op 6 %, dan wordt  $P_B$  gelijk aan  $1-0.03 = 0.97$  (= 97 %). We kunnen dus met grote waarschijnlijkheid aannemen dat het werkelijke aantal blokken waarvoor geldt  $F_r < 2$  kleiner is dan 6%.

Zo kan dus gestreefd worden naar een bepaalde betrouwbaarheid. In deze studie is voorlopig gewerkt met een vrij hoge betrouwbaarheid van 99 %. Dit hoge percentage leidt tot veilige waarden van de klemfactor.

Wanneer  $p$  zo vastgesteld is dat de gewenste betrouwbaarheid gehaald wordt, kunnen de meetresultaten uitgezet worden op Rayleigh papier. Bij de statistische analyse door Klein Breteler (1998) is namelijk gebleken dat de onderschrijdingsfrequentie van een bepaalde trekkracht redelijk goed kan worden beschreven met de Rayleigh verdeling. Daartoe is het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  onderverdeeld in ongeveer 5 klassen. Vervolgens is per klasse bekeken hoeveel van de resultaten in een bepaalde klasse vallen. Door dat aantal resultaten te delen door het totaal aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en dat quotiënt vervolgens te vermenigvuldigen met  $p$ , kan een onderschrijdingsfrequentie vastgesteld worden voor de bovengrens van elke klasse.

Deze onderschrijdingsfrequenties zijn op Rayleigh papier uitgezet tegen de netto trekkracht. De onderschrijdingsfunctie van de Rayleigh verdeling luidt:

$$P\{\overline{F}_n < F_n\} = 1 - e^{-cF_n^2} \tag{4.6}$$

Voor elk punt in de grafiek kan de factor  $c$  ( $N^{-2}$ ) uit Formule (4.6) bepaald worden. Nadat voor elk punt afzonderlijk de factor  $c$  vastgesteld is, is het gemiddelde van deze waarden bepaald. Dat is de representatieve waarde voor de beproefde steenzetting of beproefde raai in een steenzetting. Wanneer Formule (4.1), Formule (4.2) en Formule (4.6) gecombineerd worden, kan voor een **willekeurige** onderschrijdingsfrequentie  $X$  (%) de klemfactor uitgerekend worden:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{\rho_s \sqrt{-(1/c) \ln(1-X/100)}}{gM(\rho_s - \rho) \cos \alpha} \tag{4.7}$$

waarin  $\Gamma_k (-)$  de klemfactor is.

### 4.3.2 Géén trekproeven met $F_n < 2G$

Wanneer er in de betreffende raai geen blokken zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , ofwel  $F_r < 2$ , dan geldt  $l = 0$  in Formule (4.3), waardoor deze reduceert tot:

$$P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) = 0 \mid p\} = \binom{N}{0} p^0 (1-p)^{N-0} = (1-p)^N \quad (4.8)$$

De betrouwbaarheid ( $P_B$ ) van de stelling dat het deel van de blokken waarvoor geldt  $F_r < 2$  maximaal gelijk is aan  $p$  volgt uit:

$$P_B = 1 - P\{(\text{aantal blokken met } F_r < 2) = 0 \mid p\} = 1 - (1-p)^N \quad (4.9)$$

Deze frequentie  $p$  correspondeert dus met  $F_r = 2$  en is een punt op de onderschrijdingsfrequentielijn met een Rayleigh verdeling. Dit punt bepaalt de waarde van de constante  $c$  in de Rayleigh verdeling zoals geformuleerd in Formule (4.6). Hiermee kan de verdeling van  $F_r$  beschreven worden en kan de waarde van  $F_r$  vastgesteld worden met een onderschrijdingskans van  $X\%$ :

$$F_{rX\%} = \sqrt{\frac{4N \ln(1 - X/100)}{\ln(1 - P_B)}} \quad (4.10)$$

Wanneer Formule (4.1) en Formule (4.10) gecombineerd worden, kan met een bepaalde betrouwbaarheid  $P_B$  en met een **willekeurige** onderschrijdingsfrequentie van  $X\%$  de klemfactor uitgerekend worden:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho) \cos \alpha} \sqrt{\frac{4N \ln(1 - X/100)}{\ln(1 - P_B)}} \quad (4.11)$$

De betrouwbaarheid dient wederom vastgesteld te worden. Hierbij kan aangesloten worden op de betrouwbaarheid die toegepast wordt in het geval er wel blokken zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , zie Paragraaf 4.3.1. In deze studie is voorlopig gewerkt met een vrij hoge betrouwbaarheid van 99%. Dit hoge percentage leidt tot veilige waarden van de klemfactor. Met Formule (4.11) is de invloed van het aantal trekproeven op de klemfactor groot. Hoe groter het aantal trekproeven, hoe hoger de klemfactor. Eigenlijk zou bij een kleiner aantal trekproeven juist de betrouwbaarheid kleiner moeten zijn. Om er echter zeker van te zijn, dat de resulterende klemfactor veilig (conservatief) is, is er gekozen om te werken met een vaste (hoge) betrouwbaarheid. Indien er gewerkt wordt met een vaste betrouwbaarheid, werkt het aantal trekproeven dus door op de grootte van de klemfactor.

Om de faalkans van de hele dijkconstructie te bepalen, dienen alle mechanismen meegenomen te worden. Dat wordt in onderhavige studie niet gedaan. Wel kan gesteld

worden dat de schatting van de sterkte van de toplaag, waarin klemming is meegenomen op de manier zoals hierboven gepresenteerd is, in 99 % van de gevallen wordt overschat.

## 4.4 Wél trekproeven met $F_n < 2G$

### 4.4.1 Meetcampagnes vóór 1995

De meetcampagnes die vóór 1995 uitgevoerd zijn, zijn reeds geanalyseerd door Klein Breteler (1998). De methode die Klein Breteler toepaste om de klemfactor te bepalen, komt niet geheel overeen met de methode zoals die beschreven is in Paragraaf 4.3.1. Voor de meeste raaien staat er echter genoeg informatie in Klein Breteler (1998) om alsnog de klemfactor te bepalen met de methode zoals die beschreven is in Paragraaf 4.3.1. Voor sommige raaien is er niet genoeg informatie en zijn de klemfactoren direct overgenomen uit Klein Breteler (1998). Deze laatste klemfactoren zullen in de analyse voorlopig buiten beschouwing gelaten worden.

### Meetcampagne 01: Colijnsplaat, voorjaar 1990

In deze meetcampagne zijn Haringmanblokken getrokken. Voor de raaien C1+D1, CA+D2, EA, E2, F2, FA, FB, FC en FD is genoeg informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen.

De blokken hebben een massa van 145 kg. De klassebreedte is 500 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 3000 N. In Figuur A.1 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor deze raaien.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ (N <sup>2</sup> )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
C1+D1	Haringmanblok	+4.00	86	1187	$2.70 \cdot 10^{-8}$	14.5	5.81	192	1.25	3
CA+D2	Haringmanblok	+4.00	92	1255	$1.75 \cdot 10^{-8}$	7.01	1.09	239	1.31	3
EA	Haringmanblok	+3.50	49	657	$7.97 \cdot 10^{-8}$	41.5	24.5	112	1.15	3
E2	Haringmanblok	+3.50	49	844	$9.95 \cdot 10^{-8}$	36.9	20.4	100	1.13	3
F2	Haringmanblok	+3.50	50	1334	$6.48 \cdot 10^{-8}$	47.2	30.0	124	1.16	3
FA	Haringmanblok	+3.50	50	873	$4.52 \cdot 10^{-8}$	31.6	16.0	149	1.19	3
FB	Haringmanblok	+3.50	50	844	$10.5 \cdot 10^{-8}$	45.1	28.0	98	1.13	3
FC	Haringmanblok	+3.50	50	1579	$3.47 \cdot 10^{-8}$	24.2	10.0	170	1.22	3
FD	Haringmanblok	+3.50	50	1059	$2.23 \cdot 10^{-8}$	18.7	6.00	212	1.28	3

Tabel 4.2 Klemfactoren in meetcampagne 01 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.2. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt

van het werkelijke aantal blokken ( $l$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In het rapport staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Aangezien alle raaien in dezelfde zone liggen, namelijk boven de tijzone, zijn de resultaten samengenomen, zie Tabel 4.3.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$c$ ( $N^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
Alle	Haringmanblok	Boven tijzone	526	$2.82 \cdot 10^{-8}$	17.8	13.9	188	1.25	3

Tabel 4.3 Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 01. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

Voor de raaien col01 en col04 is te weinig informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen. De klemfactoren zijn direct overgenomen in Tabel 4.4. Deze klemfactoren zijn in de verdere analyse in onderhavige studie voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
col01	Haringmanblok	+4.35	185	88	110	1.14	3
col04	Haringmanblok	+2.50	193	2001	780	2.02	1

Tabel 4.4 Klemfactoren in meetcampagne 01 volgens Klein Breteler (1998).

De klemfactor gemeten in raai col04 is vrij groot. Deze hoge waarde zou veroorzaakt kunnen zijn door het relatief lage niveau, net boven de tijzone, waar de golfoploop het talud nog geregeld nat maakt. Daar zit relatief veel rommel tussen de spleten

## Meetcampagne 02: Colijnsplaat, najaar 1990

In deze meetcampagne zijn Haringmanblokken getrokken. Voor de raai CB is genoeg informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen.

De blokken hebben een massa van 145 kg. De klassebreedte is 500 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 3000 N. In Figuur A.2 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor deze raaien.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.5. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt

van het werkelijke aantal blokken ( $I$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In het rapport staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ (N <sup>2</sup> )	$p$ (%)	$I/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
CB	Haringmanblok	+4.00	50	500	$9.21 \cdot 10^{-8}$	36.3	20.0	104	1.14	3

Tabel 4.5 Klemfactoren in meetcampagne 02 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.

Voor de raai FE is te weinig informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen. De klemfactoren zijn direct overgenomen in Tabel 4.6. Deze klemfactoren zijn in de verdere analyse in onderhavige studie voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
FE	Haringmanblok	+3.50	50	441	51	1.07	3

Tabel 4.6 Klemfactoren in meetcampagne 02 volgens Klein Breteler (1998).

### Meetcampagne 07: Colijnsplaat, najaar 1994

In deze meetcampagne zijn Haringmanblokken getrokken. Voor de raaien CC, CD, CE, R0, T0, S0, T1 en R1 is genoeg informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen.

De blokken hebben een massa van 145 kg. De klassebreedte is 500 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 3000 N. In Figuur A.3 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor deze raaien.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.7. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt van het werkelijke aantal blokken ( $I$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In het rapport staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ (N <sup>-2</sup> )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
CC	Haringmanblok	+4.00	48	1746	$2.10 \cdot 10^{-8}$	19.5	6.25	218	1.28	3
CD	Haringmanblok	+4.00	50	353	$11.9 \cdot 10^{-8}$	34.0	18.0	92	1.12	3
CE	Haringmanblok	+4.00	50	500	$9.21 \cdot 10^{-8}$	36.3	20.0	104	1.14	3
R0	Haringmanblok	+3.37	49	471	$9.59 \cdot 10^{-8}$	36.5	20.4	102	1.13	3
T0	Haringmanblok	+3.63	50	1030	$4.71 \cdot 10^{-8}$	24.2	10.0	146	1.19	3
S0	Haringmanblok	+3.50	50	471	$7.43 \cdot 10^{-8}$	34.0	18.0	116	1.15	3
T1	Haringmanblok	+3.63	50	1030	$3.27 \cdot 10^{-8}$	26.7	12.0	175	1.23	3
R1	Haringmanblok	+3.37	50	1167	$6.43 \cdot 10^{-8}$	40.8	24.0	125	1.16	3

Tabel 4.7 Klemfactoren in meetcampagne 07 bepaald volgens methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1.

Aangezien alle raaien in dezelfde zone liggen, namelijk boven de tijzone, zijn de resultaten samengenomen, zie Tabel 4.8.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$c$ (N <sup>-2</sup> )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
Alle	Haringmanblok	Boven tijzone	397	$3.97 \cdot 10^{-8}$	20.9	16.1	159	1.21	3

Tabel 4.8 Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 07. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

Voor de raaien FF, FG, FH, S1 en EB is te weinig informatie beschikbaar in Klein Breteler (1998) om de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1 toe te passen. De klemfactoren zijn direct overgenomen in Tabel 4.9. Deze klemfactoren zijn in de verdere analyse in onderhavige studie voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
FF	Haringmanblok	+3.50	50	1050	122	1.16	3
FG	Haringmanblok	+3.50	50	441	66	1.09	3
FH	Haringmanblok	+3.50	50	147	37	1.05	3
S1	Haringmanblok	+3.50	50	687	112	1.15	3
EB	Haringmanblok	+3.50	50	530	76	1.10	3

Tabel 4.9 Klemfactoren in meetcampagne 07 volgens Klein Breteler (1998).

#### 4.4.2 Meetcampagnes ná 1995

In de meetcampagnes die ná 1995 uitgevoerd zijn, is de klemfactor bepaald op de manier zoals beschreven in Paragraaf 4.3.1. In alle trekproeven ligt de taludhelling rond de 1:4, er is derhalve gerekend met  $\cos\alpha = 0.97$ . Er is gerekend met een dichtheid van water van  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ .

#### Meetcampagne 08: Oesterdam, voorjaar 1996

Opgemerkt moet worden dat in het rapport zoals het opgesteld is door Zandwijk (1996) in Bijlage 6B de resultaten voor de oneven nummers en de even nummers in raai EA, EB en EC omgedraaid zijn ten opzichte van de resultaten op de CD.

In deze meetcampagne zijn Haringmanblokken getrokken, welke een massa van 145 kg hebben. De klassebreedte is 500 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 3000 N. In Figuur A.4 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor de raaien A, D, G, J, BA-BD en EA-ED. De raaien BA tot en met BD en EA tot en met ED zijn samengenomen, omdat ze op dezelfde hoogte ten opzichte van NAP liggen.

In de raaien C, F, I en L zijn geen trekproeven geweest waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , terwijl ze op dezelfde hoogte liggen en van hetzelfde bloktype zijn als de raaien A, D, G, J, BA-BD en EA-ED. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in locatie. De raaien C, F, I en L liggen op een recht stuk dijk, terwijl de overige raaien op een hele flauwe buitenbocht van de dijk liggen. Een andere, meer waarschijnlijke verklaring is het verschil in tijdstip waarop de blokken zijn aangelegd. De blokken in de raaien C, F, I en L zijn reeds in 1984 aangelegd, de rest pas in 1994 en 1995. In de tussentijd kan de manier van het aanbrengen van de blokken veranderd zijn. Ook kan de hoeveelheid rommel die zich in de spleten tussen de blokken bevindt toegenomen zijn.

In de raaien HA-HD en KA-KD zijn ook geen trekproeven geweest waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Deze liggen op dezelfde locatie als de raaien BA-BD en EA-ED, alleen iets dichterbij de tijzone. Het is voorlopig onduidelijk waarom hier geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . De trekproeven in raaien C, F, I, L, HA-HD en KA-KD zijn verder behandeld in Paragraaf 4.5.2, zie Tabel 4.23.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ ( $N^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A	Haringmanblok	+4.23	42	706	$7.92 \cdot 10^{-8}$	57.2	38.1	112	1.15	3
D	Haringmanblok	+3.82	43	814	$4.31 \cdot 10^{-8}$	36.2	18.6	152	1.20	3
G	Haringmanblok	+3.40	43	1628	$4.27 \cdot 10^{-8}$	24.7	9.30	153	1.20	3
J	Haringmanblok	+2.86	42	1736	$2.40 \cdot 10^{-8}$	22.0	7.14	204	1.27	3
BA-BD	Haringmanblok	+4.23	79	1678	$2.59 \cdot 10^{-8}$	28.4	16.5	197	1.26	3
EA-ED	Haringmanblok	+3.84	79	1216	$3.03 \cdot 10^{-8}$	28.4	16.5	182	1.24	3

Tabel 4.10 Klemfactoren in meetcampagne 08.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.10. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt van het werkelijke aantal blokken ( $l$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In het rapport (Zandwijk, 1996) staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Uit de resultaten blijkt slechts een kleine invloed van het niveau van de raai op de klemfactor. Toch is de kleinste klemfactor op het hoogste niveau gemeten en de grootste klemfactor op het laagste niveau. Deze invloed is niet in elke meetcampagne zo duidelijk aanwezig. Daarmee ligt een indeling in de drie gekozen niveaus meer voor de hand. Aangezien alle raaien in dezelfde zone liggen, namelijk boven de tijzone, zijn de resultaten samengenomen, zie Tabel 4.11.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$c$ ( $N^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
Alle	Haringmanblok	Boven tijzone	328	$2.07 \cdot 10^{-8}$	22.8	17.4	220	1.29	3

Tabel 4.11 Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 08. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

### Meetcampagne I0: Walsoorden, voorjaar 1998

In deze meetcampagne zijn vlakke betonstenen getrokken. Deze blokken zijn op hun kant koud tegen elkaar geplaatst. In het rapport (Bos en Heusinkveld, 1998) staat niet vermeld wat de massa van de betonstenen is. Aangenomen is dat deze stenen een massa van 115 kg hebben. Voor de klassebreedte is derhalve 500 N gekozen en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 2500 N. In Figuur A.5 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor de raaien I, J, K en L.

De andere raaien zijn andere blokken en/of liggen op andere niveaus. De trekproeven in deze raaien zijn verder behandeld in Paragraaf 4.5.2.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.12. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt van het werkelijke aantal blokken ( $l$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In de rapportage staat niet vermeld wat de dichtheid van de betonstenen is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ .



Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ (N <sup>-2</sup> )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
I	Betonsteen (blok op zijn kant)	+5.95	50	402	$26.1 \cdot 10^{-8}$	79.1	64.0	62	1.10	3
J	Betonsteen (blok op zijn kant)	+5.38	50	98	$49.6 \cdot 10^{-8}$	83.9	70.0	45	1.07	3
K	Betonsteen (blok op zijn kant)	+4.66	50	275	$26.7 \cdot 10^{-8}$	75.7	60.0	61	1.10	3
L	Betonsteen (blok op zijn kant)	+3.95	50	491	$13.0 \cdot 10^{-8}$	55.4	38.0	88	1.14	3

Tabel 4.12 Klemfactoren in meetcampagne 10.

De gemeten klemfactoren zijn relatief laag ten opzichte van de andere campagnes met rechthoekige blokken.

Aangezien alle raaien boven de tijzone liggen worden de resultaten samengenomen, zie Tabel 4.13.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$c$ (N <sup>-2</sup> )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
Alle	Betonsteen (blok op zijn kant)	Boven tijzone	200	$24.1 \cdot 10^{-8}$	65.7	57.5	64	1.10	3

Tabel 4.13 Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 10. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

### Meetcampagne I I: Oesterdam, voorjaar 1999

Opgemerkt moet worden dat in het rapport van Mooijman (1999b) de resultaten, zoals ze weergegeven zijn in Bijlage 9B voor raai A, D en G, niet overeenkomen met de data op de CD van deze meetcampagne. Daarnaast zijn de minimale trekkrachten in een raai (weergegeven in Tabel 7 in Mooijman (1999b)) op een andere manier bepaald dan in rapporten van eerdere meetcampagnes, zoals bijvoorbeeld in het rapport van meetcampagne 08 van Zandwijk (1996). Mooijman (1999b) noteert per proef de optredende trekkracht aan het eind van de trekproef, de trekkracht op tijdstip  $t_{eind}$  (zie Figuur 4.1 in Paragraaf 4.3), en zoekt vervolgens de kleinste in de hele raai. Zandwijk (1996) noteert per proef de maximaal optredende trekkracht, de trekkracht op tijdstip  $t_{max}$  in Figuur 4.1, en zoekt dan de kleinste in een raai.

Wegens deze verschillen in de interpretatie van de meetgegevens is er voor gekozen geen gebruik te maken van de resultaten zoals ze in het rapport vermeld zijn, maar van de

resultaten op de CD. Daarbij zijn de trekproeven op dezelfde wijze geïnterpreteerd als door Zandwijk (1996), zoals reeds is beschreven in Paragraaf 4.3.

In deze meetcampagne zijn Haringmanblokken getrokken. In het rapport (Mooijman, 1999b) staat niet vermeld wat de massa van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat deze blokken een massa van 145 kg hebben. De klassebreedte is derhalve 500 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 3000 N. In Figuur A.6 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend voor de raaien A, D, G, J, BA-BD, EA-ED, HA-HD en KA-KD. De raaien BA tot en met BD, de raaien EA tot en met ED, de raaien HA tot en met HD en de raaien KA tot en met KD zijn samengenomen, omdat ze op dezelfde hoogte ten opzichte van NAP liggen.

In de raaien C, F, I en L zijn geen trekproeven geweest waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , terwijl ze op dezelfde hoogte liggen en van hetzelfde bloktype zijn. Hier gelden dezelfde mogelijke verklaringen als in meetcampagne 08. Deze campagne is immers op dezelfde locatie uitgevoerd. De trekproeven in raaien C, F, I, en L zijn verder behandeld in Paragraaf 4.5.2.

Ook in de raaien M, NA-ND en O zijn geen trekproeven geweest waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , terwijl ze van hetzelfde bloktype zijn. De raaien M, NA-ND en O liggen echter in de tijzone en hebben daarmee waarschijnlijk een hogere klemfactor.

De raaien P en Q zijn van een ander bloktype en liggen op een ander niveau. Dat verklaart waarom daar geen trekproeven geweest zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ .

De trekproeven in raaien C, F, I, L, M, NA-ND, O, P en Q zijn verder behandeld in Paragraaf 4.5.2.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.14. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt van het werkelijke aantal blokken ( $l$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In de rapportage staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ ( $\text{N}^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A	Haringmanblok	+4.48	43	893	$17.6 \cdot 10^{-8}$	89.8	76.7	75	1.10	3
D	Haringmanblok	+4.10	43	1697	$4.92 \cdot 10^{-8}$	41.4	23.3	143	1.19	3
G	Haringmanblok	+3.69	43	1589	$4.93 \cdot 10^{-8}$	24.7	9.30	142	1.19	3
J	Haringmanblok	+3.27	43	1609	$2.81 \cdot 10^{-8}$	21.5	6.98	189	1.25	3
BA-BD	Haringmanblok	+4.48	80	1138	$5.84 \cdot 10^{-8}$	51.1	37.5	131	1.17	3
EA-ED	Haringmanblok	+4.10	80	1579	$2.11 \cdot 10^{-8}$	22.1	11.3	218	1.28	3
HA-HD	Haringmanblok	+3.69	80	2570	$0.93 \cdot 10^{-8}$	8.01	1.25	328	1.43	3
KA-KD	Haringmanblok	+3.27	80	2531	$0.93 \cdot 10^{-8}$	8.01	1.25	328	1.43	3

Tabel 4.14 Klemfactoren in meetcampagne 11.

De klemfactor in de raaien HA-HD en KA-KD is hoog ten opzichte van de overige raaien. In meetcampagne 08 is in deze raaien geen enkel blok gevonden waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . In deze meetcampagne is er per raai net 1 blok waarvoor dat geldt. Met de hiervoor gehanteerde formule leidt dat tot een relatief hoge klemfactor.

Aangezien alle raaien boven de tijzone liggen worden de resultaten samengenomen, zie Tabel 4.15.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$c$ ( $N^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
Alle	Haringmanblok	Boven tijzone	492	$2.12 \cdot 10^{-8}$	22.9	18.5	217	1.28	3

Tabel 4.15 Klemfactoren in alle raaien tezamen in meetcampagne 11. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

Aangezien er in deze meetcampagne in de raaien HA-HD en KA-KD slechts 1 blok is waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , wordt ter illustratie de klemfactor ook berekend met de methode voor als er geen blok is gevonden waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Er is gerekend met  $P_B = 99\%$  en  $X = 0.1\%$ . De taludhelling ligt rond de 1:4, er is derhalve gerekend met  $\cos\alpha = 0.97$ . Voor de dichtheid van water is gerekend met  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ . Met behulp van Formule (4.11) is de klemfactor bepaald, zie Tabel 4.16.

Raai	Bloktype	Niveau (m tov NAP)	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
HA-HD	Haringmanblok	+3.69	2320	80	1.49	3
KA-KD	Haringmanblok	+3.27	2320	80	1.49	3

Tabel 4.16 Klemfactoren in meetcampagne 11 uitgerekend alsof er geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ .

Nu bedraagt de klemfactor voor de raaien HA-HD en KA-KD 1.49. Daarmee vallen deze raaien net als in de andere raaien ook in categorie 3. De klemfactor komt iets hoger uit dan zoals die bepaald is in Tabel 4.14. Dit ligt voor de hand, immers wanneer er in plaats van één blok, géén blok gevonden is waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , dan zal de klemming in die raai beter zijn en daarmee dus de klemfactor hoger. In dit geval sluiten beide methodes dus goed op elkaar aan.

### Meetcampagne I4: Friesland, zomer 1999

Opgemerkt moet worden dat in het rapport (Consulmij, 2001a) een foutieve interpretatie van de resultaten is weergegeven. Er wordt bijvoorbeeld in de conclusies melding gemaakt van trekkrachten van 1 kgf. Na bestudering van de gegevens op de CD blijkt, dat in het rapport de trekkracht aan het eind van een trekproef genoteerd, dat wil zeggen op het tijdstip  $t_{\text{eind}}$  in

Figuur 4.1. In de voorgaande campagnes is de maximale trekkracht gedurende een dergelijke trekproef genoteerd, optredend op tijdstip  $t_{max}$  in Figuur 4.1.

Wegens deze foutieve interpretatie van de meetgegevens is er voor gekozen geen gebruik te maken van de resultaten zoals ze in het rapport vermeld zijn, maar van de resultaten op de CD.

In deze meetcampagne zijn onder andere koperslabblokken getrokken. In het rapport (Consulmij, 2001a) staat niet vermeld wat de massa van de koperslabblokken is. Aangenomen is dat deze blokken een massa hebben van 40 kg. De klassebreedte is 200 N en de klassenindeling loopt tot ruim  $2G$ , namelijk 800 N. Het niveau van de koperslabblokken ten opzichte van NAP is niet gerapporteerd in Consulmij (2001a). Wel is vermeld dat alle raaien waaruit koperslabblokken getrokken zijn in de tijzone liggen. Daarom zijn de raaien K, L, M, N, O, P, Q, R, S en T samengenomen. In Figuur A.7 (Bijlage A) zijn de resultaten van de meetcampagne ingetekend.

De coëfficiënt waarmee  $F_{n0.1\%}$  bepaald is en de daarbij horende klemfactor, zijn weergegeven in Tabel 4.17. Tevens zijn de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en het quotiënt van het werkelijke aantal blokken ( $l$ ) in de steekproef waarvoor geldt  $F_n < 2G$  en de steekproefgrootte  $N$  in de tabel weergegeven. In de rapportage staat niet vermeld wat de dichtheid van de koperslabblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$ , en voor de massa van de stenen met 40 kg.

Raai	Bloktype	Niveau	$N$ (-)	$F_{n,min}$ (N)	$c$ ( $N^{-2}$ )	$p$ (%)	$l/N$ (%)	$F_{n0.1\%}$ (N)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T	Koperslabblok	In tijzone	824	549	$1.74 \cdot 10^{-8}$	0.80	0.12	240	2.07	1

Tabel 4.17 Klemfactoren in meetcampagne 14. ('In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij.)

De gemeten klemfactor is een behoorlijk stuk hoger dan die voor de meeste rechthoekige blokken boven de tijzone.

Aangezien er in deze raaien slechts 1 blok is waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , is ter illustratie de klemfactor ook berekend met de methode voor als er geen blok is gevonden waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Er is gerekend met  $P_B = 99\%$  en  $X = 0.1\%$ . De taludhelling ligt rond de 1:4, er is derhalve gerekend met  $\cos\alpha = 0.97$ . Voor de dichtheid van water is gerekend met  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ . Met behulp van Formule (4.11) is de klemfactor bepaald, zie Tabel 4.18.

Nu bedraagt de klemfactor 2.48 en vallen de raaien in categorie 1. De klemfactor komt hoger uit dan zoals die bepaald is in Tabel 4.17. Ook in dit geval sluiten beide methodes goed op elkaar aan.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T	Koperslakblok	In tijzone	2500	824	549	0.57	2.48	1

Tabel 4.18 Klemfactoren in meetcampagne 14 uitgerekend alsof er geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . ('In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij.)

### Meetcampagne 15: Zeeland, najaar 1999

De resultaten van meetcampagne 15 op de CD vertonen op een aantal punten verschillen met de resultaten in het rapport (Consulmij, 1999). Omdat er in dezelfde meetcampagne gelijke letters gebruikt worden om verschillende locaties aan te geven, kan er niet achterhaald worden welke data horen bij welke trekproeven. Ook lijkt de hoeveelheid trekproeven per raai niet te kloppen. Daarnaast is niet gespecificeerd of er in raai I in de Margaretha polder betonblokken of koperslakblokken getrokken zijn. Door deze onduidelijkheden is deze meetcampagne buiten beschouwing gelaten.

## 4.5 Géén trekproeven met $F_n < 2G$

### 4.5.1 Meetcampagnes vóór 1995

De methode die Klein Breteler (1998) toepaste in de meetcampagnes vóór 1995 om de klemfactor te bepalen en de methode zoals beschreven in Paragraaf 4.3.2 komen overeen. De resultaten uit deze meetcampagnes zijn daarom overgenomen uit Klein Breteler (1998). Er is nu echter gerekend met  $P_B = 99\%$  en  $X = 0.1\%$ . In alle trekproeven ligt de taludhelling rond de 1:4, er is derhalve gerekend met  $\cos\alpha = 0.97$ . Voor de dichtheid van water is gerekend met  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$  en voor de dichtheid van de blokken is aangenomen dat  $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$ . In de tabellen met de klemfactoren zijn tevens de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n,min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven.

### Meetcampagne 03: Afsluitdijk, voorjaar 1991

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F, G, H	Basaltonzuil	Boven tijzone	2300	784	6632	0.59	2.54	1

Tabel 4.19 Klemfactoren in meetcampagne 03. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

**Meetcampagne 04: Breskens, najaar 1991**

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N	Basaltonzuil	Boven tijzone	2300	1205	5318	0.39	2.91	1

Tabel 4.20 Klemfactoren in meetcampagne 04. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

**Meetcampagne 05: Maassluis, najaar 1992 t/m najaar 1993**

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
C, D, E, H, I, J, M, N, O, R, S, T	Basaltonzuil	Boven tijzone	2300	1159	1826	0.41	2.87	1

Tabel 4.21 Klemfactoren in meetcampagne 05. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

**Meetcampagne 06: Maassluis, voorjaar 1993**

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
W, X, Y, Z	PIT- polygoonzuilen	Boven tijzone	2300	396	2521	1.16	2.10	1

Tabel 4.22 Klemfactoren in meetcampagne 06. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

**4.5.2 Meetcampagnes ná 1995**

Er is voor gekozen om telkens met een vaste betrouwbaarheid de klemfactor uit te rekenen. Er is gerekend met  $P_B = 99\%$  en  $X = 0.1\%$ . In alle trekproeven ligt de taludhelling rond de 1:4, er is derhalve gerekend met  $\cos\alpha = 0.97$ . Voor de dichtheid van water is gerekend met  $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ . Met behulp van Formule (4.11) is de klemfactor bepaald.

**Meetcampagne 08: Oesterdam, voorjaar 1996**

In Paragraaf 4.4.2 is reeds een mogelijke verklaring gegeven, waarom er in deze meetcampagne raaien zijn waarin zowel trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , als raaien

waarvoor dat niet geldt, terwijl ze op dezelfde hoogte ten opzichte van NAP liggen en van hetzelfde bloktype zijn.

Alle raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen boven de tijzone en zijn van hetzelfde bloktype, namelijk Haringmanblokken. Echter, zoals in Paragraaf 4.4.2 al aangegeven is, is een deel van de blokken veel eerder geplaatst dan het andere deel. Daarom is een opsplitsing gemaakt tussen raaien met blokken die in 1984 geplaatst zijn en raaien met blokken die in 1994 en 1995 geplaatst zijn. Vervolgens is met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uitgerekend, zie Tabel 4.23. Ook zijn de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n,min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven in de tabel. In het rapport (Zandwijk, 1996) staat niet vermeld wat de dichtheid van de Haringmanblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$ .

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
C, F, I, L	Haringmanblok	Boven tijzone	2320	198	5415	2.31	1.77	2
HA-HD, KA-KD	Haringmanblok	Boven tijzone	2320	159	2914	2.86	1.69	2

Tabel 4.23 Klemfactoren in meetcampagne 08. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

Deze klemfactor is behoorlijk hoog vergeleken met andere meetcampagnes met raaien waaruit Haringmanblokken getrokken zijn die boven de tijzone liggen.

### Meetcampagne 09: Terneuzen, voorjaar 1997

Alle raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen boven de tijzone en zijn van hetzelfde bloktype, namelijk vlakke betonstenen. Daarom zijn al deze trekproeven samengenomen om met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uit te rekenen, zie Tabel 4.24. Ook zijn de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n,min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven in de tabel. In het rapport (Kolff, 1997) staat niet vermeld wat de dichtheid van de betonstenen is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid gerekend kan worden met  $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ .

Deze klemfactor is wederom behoorlijk hoog, vooral wanneer die vergeleken wordt met gelijkvormige blokken zoals Haringmanblokken, die boven de tijzone liggen. Alleen in meetcampagne 08 is in enkele raaien een vergelijkbaar hoge klemfactor gemeten.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P	Betonsteen vlak	Boven tijzone	2400	745	5925	0.61	2.45	1

Tabel 4.24 Klemfactoren in meetcampagne 09. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij.)

## Meetcampagne I0: Walsoorden, voorjaar 1998

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen niet allemaal op hetzelfde niveau ten opzichte van de tijzone en zijn ook niet allemaal van hetzelfde bloktype. Daarom zijn deze trekproeven eerst opgesplitst en is dan met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uitgerekend, zie Tabel 4.25. Ook zijn de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n;min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven in de tabel. In het rapport (Bos en Heusinkveld, 1998) staat niet vermeld hoe groot de dichtheden van de blokken zijn. Aangenomen is dat er voor de dichtheden van de PIT-polygoonzuilen, de Hydroblocks en de granietzuilen gerekend kan worden met respectievelijk  $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$  en  $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$ .

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D	PIT- polygoonzuilen	Boven tijzone	2300	198	667	2.31	1.77	2
E, F, G, H	Hydroblocks	Boven tijzone	2400	199	2315	2.29	1.75	2
M	Granietzuilen	Net boven tijzone	2700	30	4915	14.2	1.27	3

Tabel 4.25 Klemfactoren in meetcampagne 10. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij en 'Net boven tijzone' tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven.)

De klemfactor van PIT-Polygoonzuilen en Hydroblocks is vrij laag ten opzichte van de Basaltonzuilen uit meetcampagnes 03, 04 en 05. Dit is waarschijnlijk vooral een gevolg van het verschil in aantal trekkingen. Ook vergeleken met meetcampagne 06 is de klemfactor van de PIT-Polygoonzuilen laag. Dit laatste verschil kan geheel toegeschreven worden aan het verschil in aantal trekkingen.

## Meetcampagne I1: Oesterdam, voorjaar 1999

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen niet allemaal op hetzelfde niveau ten opzichte van de tijzone en zijn ook niet allemaal van hetzelfde bloktype. Daarom zijn deze trekproeven eerst opgesplitst en is dan met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uitgerekend, zie Tabel 4.26.

Zoals reeds opgemerkt in Paragraaf 4.4.2 zijn de minimale trekkrachten in een raai (weergegeven in Tabel 7 in Mooijman (1999b)) op een andere manier bepaald dan in rapporten van eerdere meetcampagnes. Om de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n;min}$ , te bepalen, is er voor gekozen uit te gaan van de resultaten op de CD. Daarbij zijn de trekproeven op dezelfde wijze geïnterpreteerd als door Zandwijk (1996), zoals beschreven in Paragraaf 4.3.

In het rapport (Mooijman, 1999b) staat niet vermeld hoe groot de dichtheden van beide bloktypen zijn en hoe groot de massa van de koperslakblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheden van de Haringmanblokken en de koperslakblokken gerekend kan worden met respectievelijk  $\rho_s = 2320 \text{ kg/m}^3$  en  $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$  en voor de massa van de koperslakblokken met 40 kg.



Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
C, F, I, L	Haringmanblok	Boven tijzone	2320	199	4493	2.29	1.77	2
M, NA- ND, O	Haringmanblok	Net boven tijzone	2320	172	6828	2.65	1.72	2
P, Q	Koperslakblok	In tijzone	2500	52	8437	8.47	1.37	3

Tabel 4.26 Klemfactoren in meetcampagne 11. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij, 'Net boven tijzone' tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven en 'In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij.)

Het zeer geringe aantal trekkingen van koperslakblokken in de tijzone leidt tot een lage klemfactor.

### Meetcampagne 12: Mosselbanken, voorjaar 1999

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , zijn van hetzelfde bloktype, namelijk granietblokken. In de rapportage (Mooijman, 1999a) staat niet vermeld op welk niveau de trekproeven zijn uitgevoerd. De trekproeven zijn samengenomen om met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uit te rekenen, zie Tabel 4.27. Ook zijn de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n,min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven in de tabel. In de rapportage staat ook niet vermeld wat de dichtheid en de massa van de granietblokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid van de granietblokken gerekend kan worden met  $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$  en met een blokmasa van 30 kg.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F	Granietblok	Onbekend	2700	100	3993	4.51	1.49	3

Tabel 4.27 Klemfactoren in meetcampagne 12.

Omdat het niveau ten opzichte van NAP van de raai waaruit de blokken getrokken zijn ontbreekt, is deze meetcampagne verder niet meer meegenomen in de analyse.

### Meetcampagne 13: Paviljoen-polder, voorjaar 1999

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen nagenoeg in de tijzone en zijn van hetzelfde bloktype, namelijk koperslakblokken. Daarom zijn al deze trekproeven samengenomen om met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uit te rekenen, zie Tabel 4.28. Ook zijn de minimaal optredende netto trekkracht  $F_{n,min}$  en de veronderstelde frequentie  $p$  van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$  weergegeven in

de tabel. In het rapport (Mooijman, 1999c) staat niet vermeld hoe groot de dichtheid en massa van de blokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheden van de koperslakblokken gerekend kan worden met  $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$  en met een blokmasa van 40 kg.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F, G, H, Z	Koperslakblok	In tijzone	2500	475	4758	0.97	2.13	1

Tabel 4.28 Klemfactoren in meetcampagne 13. ('In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij.)

De gemeten klemfactor is ongeveer gelijk aan die van de koperslakblokken in de tijzone van meetcampagne 14 (Tabel 4.17). Hij is wel veel groter dan de in meetcampagne 11 bepaalde klemfactor voor koperslakblokken in de tijzone. Toen is slechts een zeer gering aantal blokken getrokken.

### Meetcampagne 14: Friesland, zomer 1999

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , zijn allemaal van hetzelfde bloktype. Daarom zijn deze trekproeven samengenomen en is dan met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uitgerekend, zie Tabel 4.29.

Zoals reeds opgemerkt in Paragraaf 4.4.2 zijn de trekkrachten in een raai (weergegeven in Tabellen 2a tot en met 2d in Consulmij (2001a)) op een andere manier bepaald dan in rapporten van eerdere meetcampagnes. Om de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , te bepalen, is er voor gekozen uit te gaan van de resultaten op de CD. Daarbij zijn de trekproeven op dezelfde wijze geïnterpreteerd als door Zandwijk (1996), zoals beschreven in Paragraaf 4.3.

In het rapport (Consulmij, 2001a) staat niet vermeld hoe groot de dichtheid van de blokken is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid en de massa van de basaltzuilen gerekend kan worden met  $\rho_s = 2900 \text{ kg/m}^3$  en dat ze een geschatte massa hebben van 40 kg.

Deze klemfactor is ongeveer even groot als bij andere meetcampagnes met vergelijkbare aantallen trekproeven.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{nmin}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
A, B, C, D, E, F, G, H, I, J	Basaltzuilen	In tijzone	2900	729	3394	0.63	2.27	1

Tabel 4.29 Klemfactoren in meetcampagne 14. ('In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij.)

## Meetcampagne I6: Zeeland, najaar 1999

De raaien in deze campagne waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , liggen niet allemaal op hetzelfde niveau ten opzichte van de tijzone. Daarom zijn deze trekproeven eerst opgesplitst en is dan met behulp van Formule (4.11) de klemfactor uitgerekend, zie Tabel 4.30.

Zoals reeds opgemerkt in Paragraaf 4.4.2 zijn de trekkrachten in een raai (weergegeven in Tabel 2 in Consulmij (2001b)) op een andere manier bepaald dan in rapporten van eerdere meetcampagnes. Om de minimaal optredende netto trekkracht,  $F_{n,min}$ , te bepalen, is er voor gekozen uit te gaan van de resultaten op de CD. Daarbij zijn de trekproeven op dezelfde wijze geïnterpreteerd als door Zandwijk (1996), zoals beschreven in Paragraaf 4.3.

In het rapport (Consulmij, 2001b) staat niet vermeld hoe groot de dichtheid en de massa van de zuilen is. Aangenomen is dat er voor de dichtheid van de granietzuilen gerekend kan worden met  $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$  en met een blokmassa van 30 kg.

Er zijn 44 trekproeven uitgevoerd op locaties waarvan verwacht werd dat de klemming gering zou zijn. Deze zijn weergegeven onder raai Y.

Raai	Bloktype	Niveau	$\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$N$ (-)	$F_{min}$ (N)	$p$ (%)	$\Gamma_k$ (-)	Cate- gorie
U	Granietzuilen	Net boven tijzone	2700	95	6926	4.73	1.48	3
V, W, X	Granietzuilen	In tijzone	2700	286	5513	1.59	1.83	2
Y	Granietzuilen	Verskillend	2700	44	3924	9.95	1.33	3

Tabel 4.30 Klemfactoren in meetcampagne 16. ('Net boven tijzone' is tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven, 'In tijzone' is onder de HW-lijn bij springtij en 'Verskillend' is op diverse niveaus.)

Aangezien de trekproeven genoemd onder raai Y op verschillende hoogtes uitgevoerd zijn, zijn deze resultaten in de verdere analyse niet meer meegenomen.

### 4.6 Analyse van de resultaten

Alle in dit hoofdstuk bepaalde klemfactoren zijn verzameld en uitgezet tegen het niveau ten opzichte van NAP en het bloktype in Tabel 4.31. Hoewel de in dit onderzoek gehanteerde definitie van de klemfactor overeenkomt met de definitie zoals beschreven in CUR/TAW (1992) en met de definitie zoals die gebruikt wordt in ANAMOS, kan de gevonden klemfactor niet direct toegepast worden in ANAMOS. Hiertoe dient eerst vastgesteld te worden of het zuigermechanisme als bezwijkmechanisme maatgevend is. Daarnaast geldt de veronderstelling dat de klemming, zoals die vastgesteld is tijdens de trekproeven waarop de klemfactoren gebaseerd zijn, ook optreedt tijdens de golfbelasting. Hieruit volgen de volgende voorwaarden:

- De toplaag mag niet significant worden opgelicht. Er zullen dan immers rijen blokken tegen het talud omhoog worden gedrukt, waarna er een situatie ontstaat waarbij waarschijnlijk andere mechanismen gelden.

- De inwassing mag niet uitspoelen in het geval van een ingewassen steenzetting.

In Tabel 4.31 zijn de raaien waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$  met een relatief laag aantal trekproeven ( $N$  kleiner dan ongeveer 60) niet meegenomen. Het geringe aantal trekproeven leidt tot een lage klemfactor, want de betrouwbaarheid is vast gekozen op 99 %. Vanwege de beperkte waarde van deze ondergrens van de klemfactor zijn deze raaien niet in de verdere analyse meegenomen. Er is weergegeven tussen welke minimale en maximale waarde de klemfactor varieert, wanneer er meerdere klemfactoren gevonden zijn voor een bepaald bloktype op een bepaald niveau. Wanneer er voor een bepaald bloktype op een bepaald niveau geen resultaten zijn, is dat weergegeven met '—'.

Bloktype	Niveau		
	Boven tijzone	Net boven tijzone	In tijzone
Betonsteen (blok op zijn kant)	$\Gamma_k \approx 1.12$	—	—
Haringmanblok	$1.14 < \Gamma_k < 1.77$	$\Gamma_k \approx 1.72$	—
Granietzuilen	—	$\Gamma_k \approx 1.48$	$\Gamma_k \approx 1.83$
Hydroblocks	$\Gamma_k \approx 1.75$	—	—
PIT-Polygoonzuilen	$1.77 < \Gamma_k < 2.10$	—	—
Koperslakblok	—	—	$2.07 < \Gamma_k < 2.13$
Basaltzuilen	—	—	$\Gamma_k \approx 2.27$
Betonsteen vlak	$\Gamma_k \approx 2.45$	—	—
Basaltonzuilen	$2.54 < \Gamma_k < 2.91$	—	—

Tabel 4.31 Klemfactoren uit alle meetcampagnes. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij, 'Net boven tijzone' tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven en in tijzone is onder de HW-lijn bij springtij.)

Bij Tabel 4.31 moet opgemerkt worden, dat al deze klemfactoren bepaald zijn met een onderschrijdingsfrequentie van 0.1 %.

Uit Tabel 4.31 blijkt ten eerste dat er al iets gezegd kan worden over de klemfactoren van een behoorlijk aantal bloktypen op verschillende niveaus. Echter, soms is wel een grote spreiding in de klemfactoren per bloktype per niveau aanwezig. Bijvoorbeeld bij de Haringmanblokken boven de tijzone ligt de klemfactor tussen 1.14 (categorie 3) en 1.77 (categorie 2). Hierbij valt de kanttekening te plaatsen, dat de resultaten tussen deze waarden niet evenredig verdeeld zijn. Integendeel, in het geval van de Haringmanblokken boven de tijzone bevindt het merendeel van de klemfactoren zich in categorie 3, zie ook Figuur 4.2.

Wanneer in Tabel 4.31 telkens uitgegaan wordt van de laagste, conservatieve waarde van de klemfactor, kan het volgende vastgesteld worden:

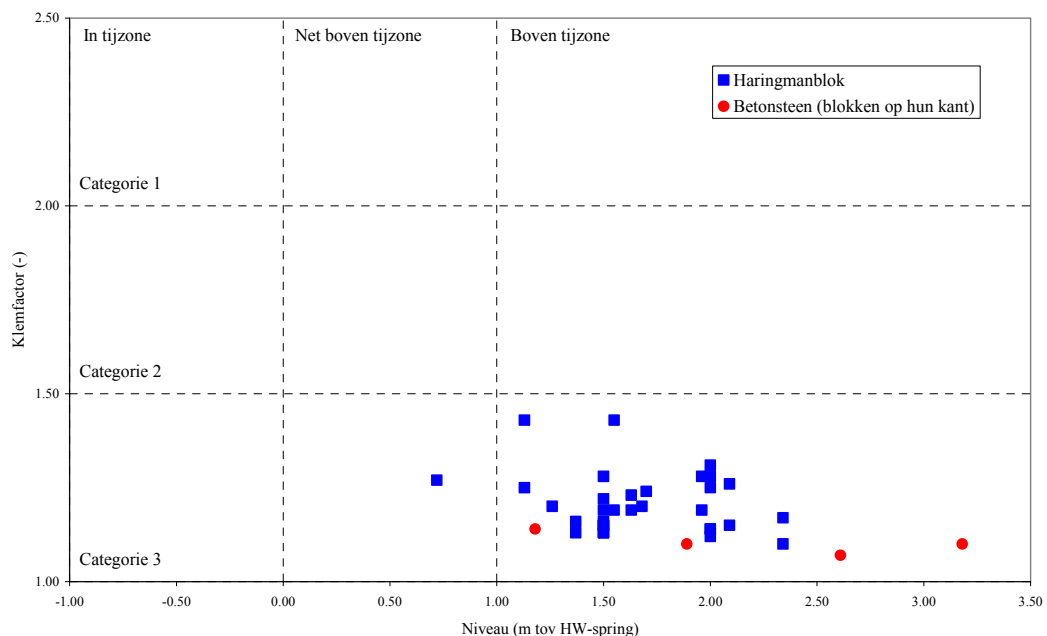
- Boven de tijzone vertonen de op hun kant geplaatste betonstenen de slechtste klemming (categorie 3). De Haringmanblokken klemmen niet veel beter (categorie 3). De Hydroblocks en de PIT-Polygoonzuilen vertonen een gelijkwaardige, behoorlijke

klemming (categorie 2), die iets lager lijkt dan die van de Basaltonzuilen en de vlakke betonstenen (categorie 1). Dit verschil is echter waarschijnlijk een gevolg van het aantal trekkingen.

- Net boven de tijzone vertonen de Haringmanblokken een betere klemming (categorie 2) dan de granietzuilen (categorie 3).
- In de tijzone vertonen de granietzuilen een behoorlijke klemming (categorie 2). De koperslakblokken hebben een hogere klemfactor (categorie 1) en de basaltzuilen klemmen het best (categorie 1).
- Hoe dichter de Haringmanblokken bij de tijzone liggen, hoe hoger de klemfactor. Ditzelfde beeld komt terug bij de granietzuilen.

Het is belangrijk hierbij op te merken, dat bij het vergelijken van de Basaltonzuilen met qua vorm vergelijkbare Hydroblocks en PIT-Polygoonzuilen ook een vergelijkbare klemfactor te verwachten is. Met de thans gehanteerde analysemethode blijkt dit echter niet uit de trekproeven. Voor de Basaltonzuilen zijn hogere klemfactoren vastgesteld. Zoals reeds eerder aangegeven komt dit door de grote invloed van het aantal trekkingen op de klemfactor, zie Paragraaf 4.3.2. Dit is ook terug te zien in Figuur 4.3.

In meetcampagnes 11 en 14 zijn raaien waar slechts voor 1 blok geldt  $F_n < 2G$ . Daar is naar voren gekomen dat de methodes om de klemfactor te bepalen voor het geval er inderdaad voor 1 trekproef geldt  $F_n < 2G$  én voor het geval er geen trekproef zou zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$  goed op elkaar aansluiten. De met beide methodes berekende klemfactoren liggen vrij dicht bij elkaar. Bovendien levert de methode voor het geval er geen trekproef zou zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$  iets hogere klemfactoren op, dan de methode voor als er wel een trekproef is waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Daarom lijkt het gerechtvaardigd de resultaten verkregen met beide methodes samen in Tabel 4.31 te presenteren.

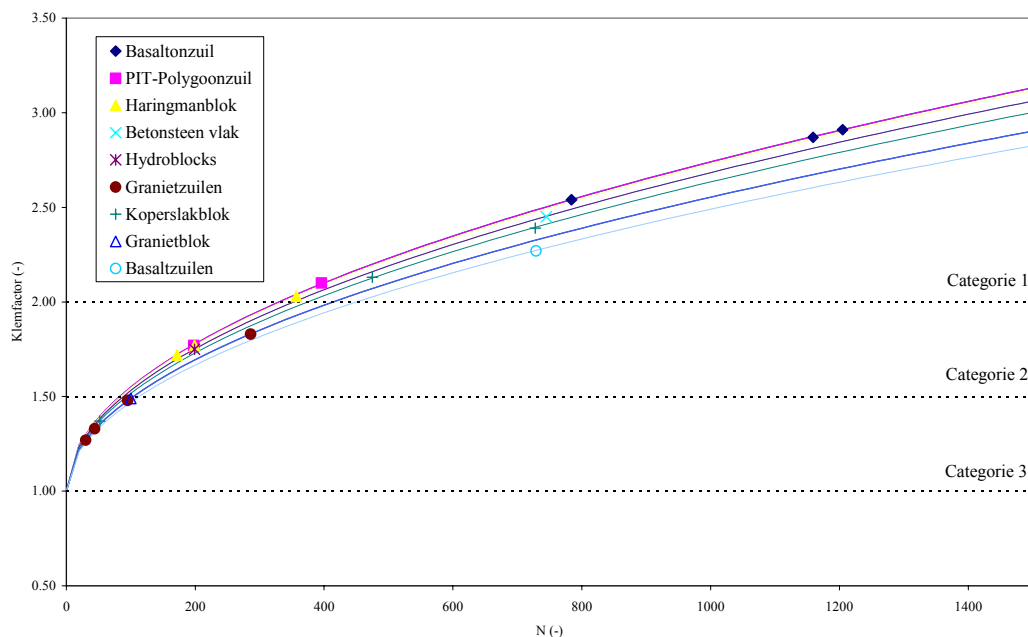


Figuur 4.2 Klemfactor tegenover niveau ten opzichte van HW-spring, voor alle raaien afzonderlijk waarin trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Hierin is zowel de indeling in niveaus, als de indeling in categorieën weergegeven.

Er valt op te maken dat als er in raaien wel trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , vrijwel al deze raaien boven de tijzone liggen en vrijwel al deze raaien opgebouwd zijn uit Haringmanblokken en op hun kant geplaatste betonstenen. Verder valt voor sommige raaien met trekproeven waarvoor geldt  $F_n < 2G$  op te maken, dat hoe hoger de ligging van de blokken, hoe lager de klemfactor. Vooral bij de trekproeven op de Oesterdam (meetcampagnes 08 en 11) is dit goed zichtbaar. Raai A heeft de laagste klemfactor en bevindt zich het hoogst op de dijk, terwijl raai J de hoogste klemfactor heeft en het laagst ligt. Echter, niet in elke meetcampagne is de invloed van de ligging ten opzichte van de tijzone op de klemfactor zo sterk aanwezig. Daarmee ligt een indeling in drie verschillende niveaus meer voor de hand, zie Figuur 4.2.

Ten aanzien van de gevolgde procedure om de klemfactor te bepalen is het belangrijk vast te stellen, dat de resultaten waarvoor geldt  $F_n < 2G$  inderdaad redelijk beschreven kunnen worden met de Rayleigh verdeling, zie Figuren A.1 tot en met A.7 (Bijlage A).

Als men beide methodes om de klemfactoren te bepalen naast elkaar legt, blijkt dat het merendeel van de hogere klemfactoren (categorie 1) bepaald zijn met de methode voor het geval er in raaien geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Dit is logisch, omdat als er geen blokken los getrokken kunnen worden de klemming waarschijnlijk groot is. Verder blijken de resulterende klemfactoren soms wel heel hoog te zijn,  $\Gamma_k > 2.5$ . Er zal eerst goed bekeken moeten worden of het toepassen van zulke hoge klemfactoren wel verantwoord is (zie ook Hoofdstuk 3).



Figuur 4.3 Klemfactor tegenover aantal trekproeven, voor de raaien waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . De bijbehorende functievoorschriften en de indeling in categorieën zijn ook ingetekend.  $P_B = 99\%$ ,  $X = 0.1\%$ .

In Figuur 4.3 is de invloed van het aantal trekkingen op de klemfactor duidelijk te zien. Al vanaf ongeveer 400 trekkingen valt de klemfactor vaak in categorie 1. In Figuur 4.3 is ook de relatie tussen het aantal trekkingen en de klemfactor weergegeven voor elk bloktype, die beschreven wordt door Formule (4.11). Het omwerken van deze formule levert:

$$N = \frac{1}{4} \frac{\ln(1 - P_B)}{\ln(1 - X/100)} \left[ (\Gamma_k - 1) \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \cos \alpha \right]^2 \quad (4.12)$$

Met deze formule kan het minimum aantal benodigde trekproeven worden berekend, gegeven een gewenste klemfactor  $\Gamma_k$ .





## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

#### Conclusie I: Kwantitatieve informatie

Eén van de doelen van deze studie was het verkrijgen van kwantitatieve informatie over de klemfactor in relatie tot het type steenzetting en de plaats op het talud. Deze informatie is gepresenteerd in Tabel 5.1. Hoewel de in dit onderzoek gehanteerde definitie van de klemfactor overeenkomt met de definitie zoals beschreven in CUR/TAW (1992) en met de definitie zoals die gebruikt wordt in ANAMOS, kan de gevonden klemfactor niet direct toegepast worden in ANAMOS. Hiertoe dient eerst vastgesteld te worden of het zuigermechanisme als bezwijkmechanisme maatgevend is. Daarnaast geldt de veronderstelling dat de klemming, zoals die vastgesteld is tijdens de trekproeven waarop de klemfactoren gebaseerd zijn, ook optreedt tijdens de golfbelasting. Hieruit volgen de volgende voorwaarden:

- De toplaag mag niet significant worden opgelicht, dan zullen er immers rijen blokken tegen het talud omhoog worden gedrukt, waarna er een situatie ontstaat waarbij waarschijnlijk andere mechanismen gelden.
- De inwassing mag niet uitspoelen in het geval van een ingewassen steenzetting.

Bloktype	Niveau		
	Boven tijzone	Net boven tijzone	In tijzone
Betonsteen (blok op zijn kant)	$\Gamma_k \approx 1.12$	—	—
Haringmanblok	$1.14 < \Gamma_k < 1.77$	$\Gamma_k \approx 1.72$	—
Granietzuilen	—	$\Gamma_k \approx 1.48$	$\Gamma_k \approx 1.83$
Hydroblocks	$\Gamma_k \approx 1.75$	—	—
PIT-Polygoonzuilen	$1.77 < \Gamma_k < 2.10$	—	—
Koperslakblok	—	—	$2.07 < \Gamma_k < 2.13$
Basaltzuilen	—	—	$\Gamma_k \approx 2.27$
Betonsteen vlak	$\Gamma_k \approx 2.45$	—	—
Basaltonzuilen	$2.54 < \Gamma_k < 2.91$	—	—

Tabel 5.1 Klemfactoren uit alle meetcampagnes. ('Boven tijzone' is meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij, 'Net boven tijzone' tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven en in tijzone is onder de HW-lijn bij springtij.)

In Tabel 5.1 zijn de trekproefseries met minder dan ongeveer 60 trekkingen weggelaten omdat zij vooral bij de goed geklemde systemen het beeld vertroebelen. Om op een veilige (conservatieve) manier om te gaan met de spreiding in de resultaten, wordt voorgesteld in deze tabel telkens uit te gaan van de laagste waarde voor de klemfactor voor een bepaald bloktype op een bepaald niveau.

Bovendien kan er getwijfeld worden aan de bruikbaarheid van de klemfactoren boven 1.8 à 2.2, omdat in Hoofdstuk 3 aannemelijk is gemaakt dat bij grote klemfactoren waarschijnlijk niet één blok uit steenzetting komt, maar een groep blokken.

Er valt een invloed waar te nemen van het bloktype op de klemfactor. Constateringen uit eerdere analyses, die in Paragraaf 2.2 beschreven zijn, kunnen bevestigd worden: boven de tijzone ligt een aanzienlijk deel van de rechthoekige blokken slecht geklemd, terwijl de Hydroblocks en Basaltonzuilen en ook de PIT-Polygoonzuilen goed geklemd liggen.

Ook is de invloed van de ligging ten opzichte van de tijzone op de klemfactor waar te nemen; hoe dichter de blokken bij de tijzone liggen, hoe hoger de klemfactor. Aangezien deze invloed niet heel sterk aanwezig is, ligt een indeling in 3 verschillende niveaus meer voor de hand. De volgende indeling is gehanteerd:

- boven tijzone; meer dan 1 m boven de HW-lijn bij springtij,
- net boven tijzone; tussen HW-lijn bij springtij en 1 m erboven, en
- in tijzone; onder HW-lijn bij springtij.

Verder is er gewerkt met een indeling voor de mate van klemming in 3 categorieën:

1. (zeer) vast geklemd:  $\Gamma_k \geq 2.0$ ,
2. matig geklemd:  $1.5 \leq \Gamma_k < 2.0$ , en
3. slecht geklemd:  $1.0 \leq \Gamma_k < 1.5$ .

De bruikbaarheid van de categorieën in de hierboven weergegeven vorm heeft zich echter niet bewezen gedurende dit onderzoek. Vandaar dat ze in dit hoofdstuk verder buiten beschouwing blijven.

Met het bovenstaande komen we tot de volgende conclusies:

- Boven de tijzone vertonen de op hun kant geplaatste betonstenen de slechtste klemming. De Haringmanblokken klemmen niet veel beter. De Hydroblocks en de PIT-Polygoonzuilen vertonen een gelijkwaardige, behoorlijke klemming, die iets lager lijkt dan die van de Basaltonzuilen en de vlakke betonstenen. Dit verschil tussen Hydroblocks en Basalton is echter waarschijnlijk een gevolg van het aantal trekkingen en de gehanteerde analysemethode. De analysemethode leidt ertoe dat bij een kleine trekproefserie de klemfactor relatief laag wordt, terwijl eigenlijk de betrouwbaarheid laag zou moeten zijn. Dit probleem is slechts oplosbaar als voor alle systemen evenveel trekproeven zijn uitgevoerd, omdat anders altijd het meest onderzochte systeem in het voordeel blijft.
- Net boven de tijzone vertonen de Haringmanblokken een betere klemming dan de granietzuilen.
- In de tijzone vertonen de granietzuilen een behoorlijke klemfactor. De koperslakblokken hebben een hogere klemfactor en de basaltzuilen klemmen het best.

- Hoe dichter de Haringmanblokken bij de tijzone liggen, hoe hoger de klemfactor. Ditzelfde beeld komt terug bij de granietzuilen.

Deze conclusies zijn gebaseerd op flink wat, maar gezien de grote hoeveelheid variabelen die een rol kunnen spelen, beperkt feitenmateriaal. Niet in dit onderzoek meegewogen variabelen die mogelijk een rol spelen zijn: leeftijd bekleding, diepte en type voorland, uitgevoerde werkzaamheden hoger op het talud na aanleg van de bekleding. Zo moet op grond van gezond verstand worden geconstateerd dat het niet logisch is dat vlakke betonblokken boven de tijzone significant beter scoren dan haringmanblokken, beide typen blokken hebben immers vergelijkbare afmetingen en contactoppervlak.

## Conclusie 2: Gehanteerde formules

Ten aanzien van de gevolgde methodes om de klemfactor te bepalen, kan gesteld worden dat de resultaten waarvoor geldt  $F_n < 2G$  redelijk goed beschreven kunnen worden met de Rayleigh verdeling, zie Figuren A.1 tot en met A.7 (Bijlage A). Dit is één van de uitgangspunten waarop Formule (4.7) gebaseerd is.

In de meetcampagnes waar slechts voor 1 blok geldt  $F_n < 2G$ , is naar voren gekomen dat de methode om de klemfactor te bepalen voor het geval er inderdaad voor één blok geldt  $F_n < 2G$  goed aansluit op de methode voor het geval er géén blok zou zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . De met beide methodes berekende klemfactoren liggen vrij dicht bij elkaar. Bovendien levert de methode voor het geval er geen trekproef zou zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$  iets hogere klemfactoren op, dan de methode voor als er wel een trekproef is waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Daarom lijkt het gerechtvaardigd de resultaten verkregen met beide methodes samen in Tabel 5.1 te presenteren.

De methode voor het geval er in raaien geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , levert het merendeel van de hogere klemfactoren op. Deze klemfactoren zijn bovendien soms erg hoog, namelijk hoger dan 2.5. De resultaten bepaald met deze methode geven waarschijnlijk een te rooskleurig beeld (zie Conclusie 3 over het bezwijkmechanisme).

De grote invloed van het aantal trekkingen op de klemfactor bij een vaste betrouwbaarheid, leidt soms tot verschillen in klemfactoren die moeilijk te rijmen zijn met de verwachting gebaseerd op uiterlijke kenmerken van de blokken, het bloktype en de ligging ten opzichte van de tijzone. Het werken met een vast gekozen betrouwbaarheid leidt tot een erg grote invloed van de grootte van het aantal trekkingen, zoals te zien is in Figuur 4.3 voor raaien waarin geen trekproeven zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ .

Voorlopig is gerekend met een onderschrijdingsfrequentie van 0.1 % en een betrouwbaarheid van 99 %. Wellicht dat deze percentages in de toekomst door vernieuwde inzichten bijgesteld kunnen worden.

## Conclusie 3: Bezwijkmechanisme

In de analyse van de trekproeven is de aandacht geheel geconcentreerd geweest op die stenen die een relatief zwakke klemming hebben ten opzichte van de andere stenen in de steenzetting. Dit komt tot uiting in de onderschrijdingsfrequentie die is gekozen: 0.1%. In

Hoofdstuk 3 is aannemelijk gemaakt dat in dat geval het bezwijkmechanisme tijdens golfaanval goed vergelijkbaar is met dat tijdens de trekproef. Uit de beschouwing in Hoofdstuk 3 over de bezwijkmechanismen volgt dat een slecht geklemde steen waarschijnlijk als enige door de golven volgens het zuigermechanisme uit de steenzetting wordt gelicht, als de eromheen liggende stenen wat beter geklemd liggen dan die steen. Dit ondersteunt de methodiek die in dit verslag is gehanteerd, die gericht is op het bezwijkmechanisme waarbij er één slecht geklemd blok door de golven volgens het zuigermechanisme wordt uitgelicht. Daarmee dient de aandacht geconcentreerd te worden op de zeer slecht geklemde blokken in de betreffende steenzetting, namelijk blokken met een klemming die slechts door 0.1 % (of minder) van de blokken wordt onderschreden.

## 5.2 Aanbevelingen

### Aanbeveling 1: Rapportage trekproeven

Het verdient aanbeveling bij de rapportage van eventuele trekproeven in de toekomst, een gedegen beschrijving te geven van de manier waarop de trekproefresultaten geïnterpreteerd en bewerkt zijn. Bij het analyseren van de gegevens voor onderhavige studie bleek het soms moeilijk te zijn om te achterhalen welke gegevens van de CD gehaald zijn, hoe ze bewerkt zijn en wat er dus uiteindelijk in het rapport gepresenteerd is. Om bepaalde bewerkingen nogmaals uit te voeren, is het erg handig de resultaten ook digitaal (op CD) bij het rapport te sluiten.

Daarnaast dient een gedegen beschrijving gegeven te worden van de uitgevoerde trekproef zelf. Dat wil zeggen, dat er in ieder geval ingegaan wordt op:

- de locatie van de meetcampagne,
- de locaties van de afzonderlijke trekproeven, voornamelijk de hoogte ten opzichte van NAP,
- de waterstanden ter plekke,
- de afmetingen en opbouw van het dijklichaam, in de vorm van gedetailleerde technische tekeningen,
- de afmetingen van de blokken, het materiaal en bij voorkeur de massa,
- het tijdstip en de datum waarop de trekproef is uitgevoerd, en
- de weersomstandigheden tijdens elke trekproef.

Sommige van deze gegevens ontbreken in de rapportage van de meetcampagnes. Vooral in de rapporten die het meest recentelijk opgesteld zijn door Consulmij B.V. ontbreken veel essentiële gegevens.

### Aanbeveling 2: Uitvoering trekproeven

Wanneer er weer trekproeven uitgevoerd gaan worden, verdient het aanbeveling de steekproef voldoende groot te maken per bloktype en voor verschillende hoogtes ten opzichte van de tijzone. In sommige meetcampagnes, bijvoorbeeld meetcampagne 12, worden er in een bepaalde raai slechts 15 trekproeven uitgevoerd. Dit levert, in het geval er

geen trekproeven zouden zijn waarvoor geldt  $F_n < 2G$ , ofwel een kleine klemfactor op met een hogere betrouwbaarheid, ofwel een hogere klemfactor met een kleine betrouwbaarheid. Het precieze aantal uit te voeren trekproeven is moeilijk vooraf vast te stellen en is afhankelijk van het aantal blokken waarvoor geldt  $F_n < 2G$ .

Uit de beschouwing over de bezwijkmechanismen volgt de aanbeveling om het aspect van wisselbelasting nader te onderzoeken door middel van trekproefseries die een aantal malen herhaald worden.



## Literatuur

Bos, G. en J.W.R. Heusinkveld (1998), Trekproeven zeedijken Walsoorden. N-0550, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Consulmij (1999), Trekproeven diverse dijkvakken langs Westerschelde. V.99.0487.AvG, Consulmij Milieu B.V.

Consulmij (2001a), Trekproeven diverse dijkvakken Friesland. 20.0256.MK, Consulmij Milieu B.V.

Consulmij (2001b), Trekproeven dijkvak Braakmanhaven Zeeland. 21.0101.IH, Consulmij Milieu B.V.

CUR/TAW (1992), Handboek voor de dimensionering van gezette taludbekledingen. Rapport 155, ISBN 90 376 0017 4.

Klein Breteler, M. (1998), Open taludbekledingen - Invloedsfactor van minimale klemkracht. AS.98.25, WL | Delft Hydraulics.

Kolff, P.W. (1997), Natuurmetingen zeedijken bewesten Terneuzen. N-0405, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Mooijman, O.P.M. (1999a), Trekproeven en doorlatendheidsmetingen op de meetlocaties Mosselbanken en Kruiningen. N-0703, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Mooijman, O.P.M. (1999b), Trekproeven Oesterdam. N-0689, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Mooijman, O.P.M. (1999c), Trekproeven op meetlocatie Paviljoenpolder. N-0719, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Nieuwenhuis E.F.M. (1993), Natuurmetingen aan PIT-Polygoonzuilen aan de nieuwe waterweg te Maassluis ten behoeve van steenzetonderzoek. M-0111, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Nieuwenhuis E.F.M. (1994), Natuurmetingen aan Basaltonzuilen aan de nieuwe waterweg te Maassluis ten behoeve van steenzetonderzoek. M-0103, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Pehlig, M. (1991a), Natuurmetingen op de afsluitdijk ten behoeve van steenzetonderzoek basaltonzuilen voorjaar 1991. M-0067, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Pehlig, M. (1991b), Natuurmetingen op de zeedijk nabij Breskens ten behoeve van steenzetonderzoek najaar 1991. M-0073, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Peters, D.J. (2002), Gezette steenbekledingen onder golfaanval, mechanicastudie liggerwerking. Royal Haskoning.

Plooster, A. (1990), Tussentijdse rapportage eerste meetcampagne natuurmetingen op meetlocatie Noord-Beveland. DWW.

Zandwijk, R. van (1995), Natuurmetingen op meetlocatie Colijnsplaat. N-0099, Fugro Ingenieursbureau B.V.

Zandwijk, R. van (1996), Natuurmetingen op meetlocatie Oesterdam. N-0300, Fugro Ingenieursbureau B.V.

## **Andere bronnen**

CD-ROM met resultaten van de meetcampagnes.



## A Karakteristieke trekkrachten $F_n$

Figuur A.1 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Colijnsplaat, voorjaar 1990

Figuur A.2 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Colijnsplaat, najaar 1990

Figuur A.3 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Colijnsplaat, najaar 1994

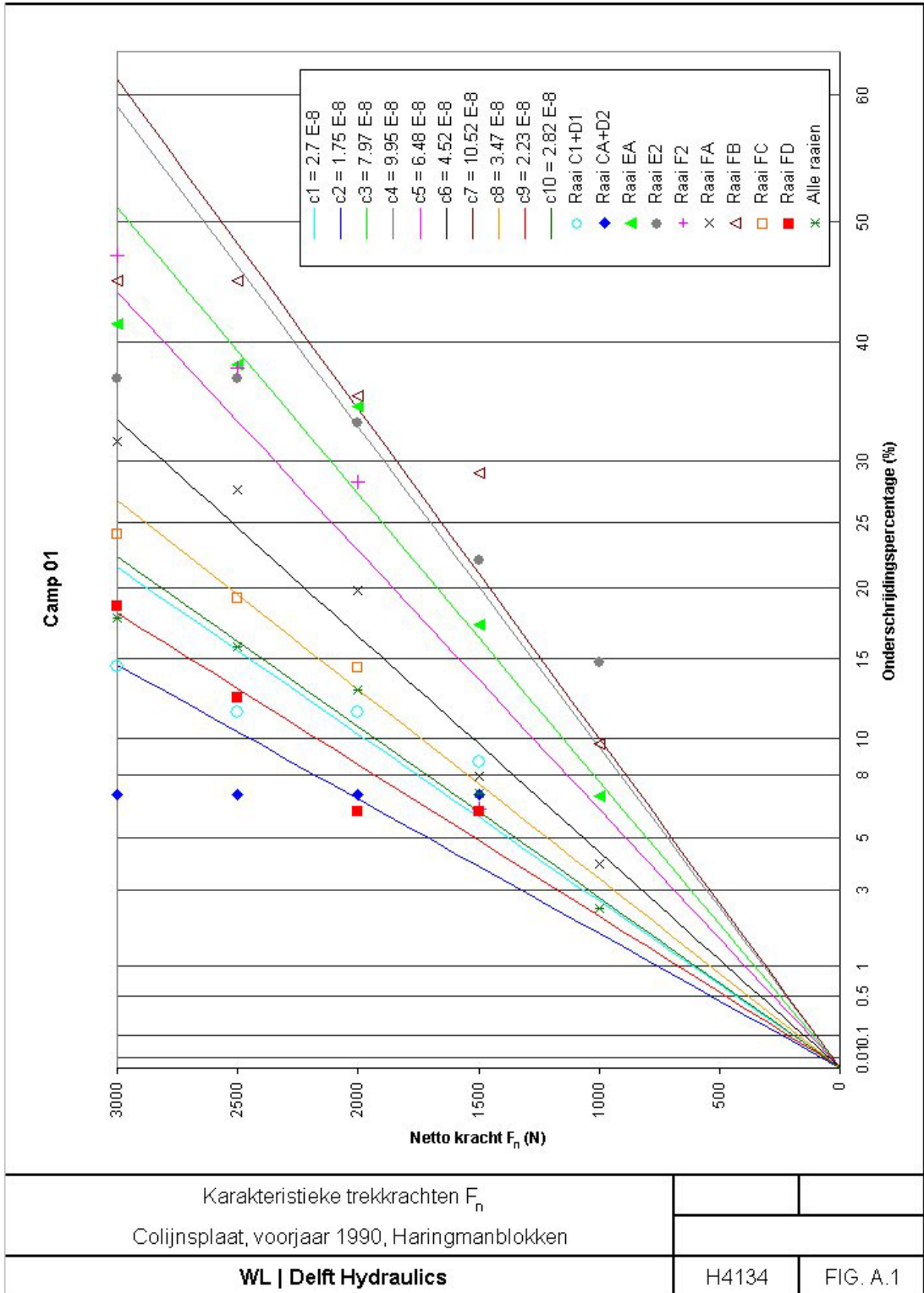
Figuur A.4 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Oesterdam, voorjaar 1996

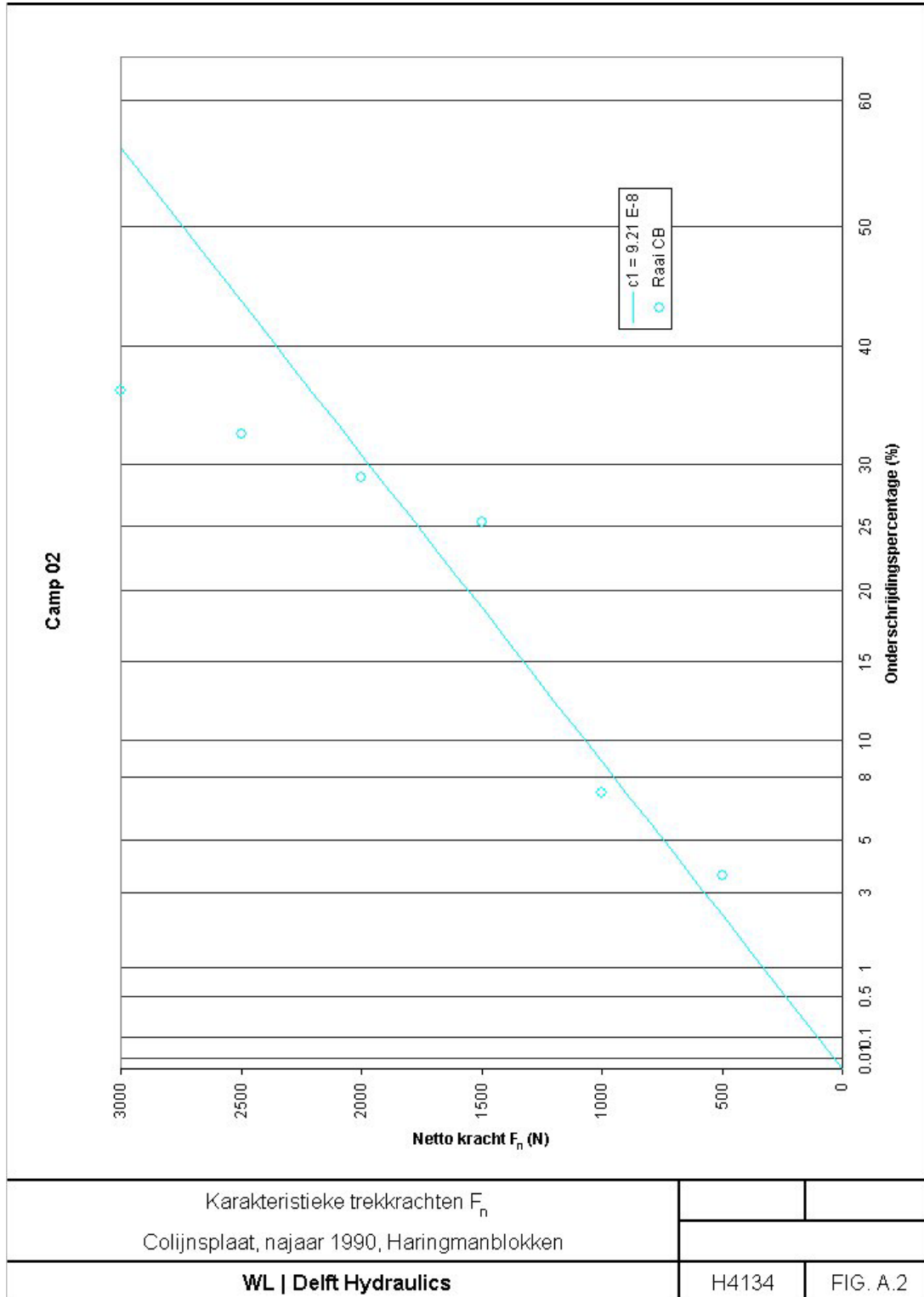
Figuur A.5 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Walsoorden, voorjaar 1998

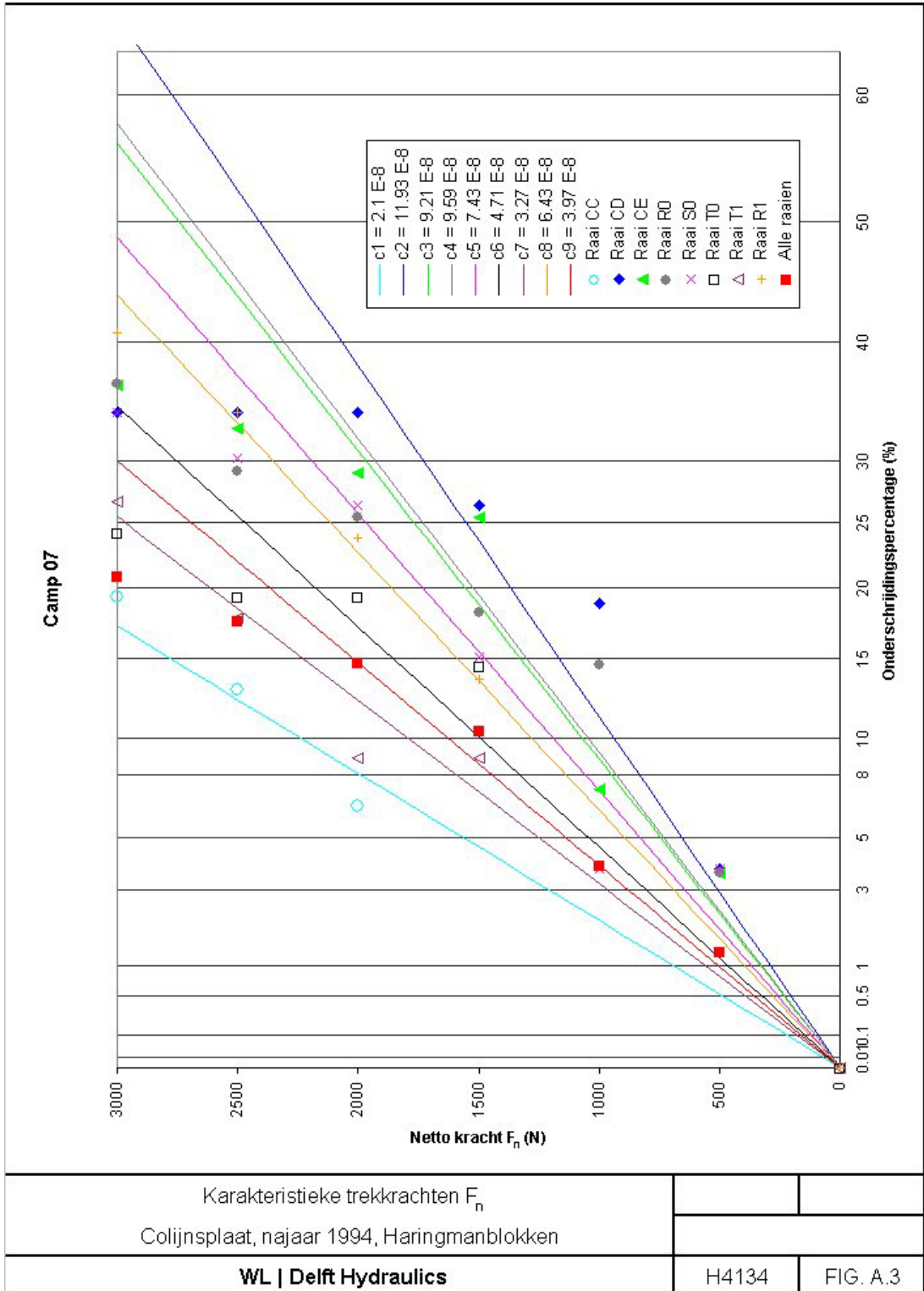
Figuur A.6 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Oesterdam, voorjaar 1999

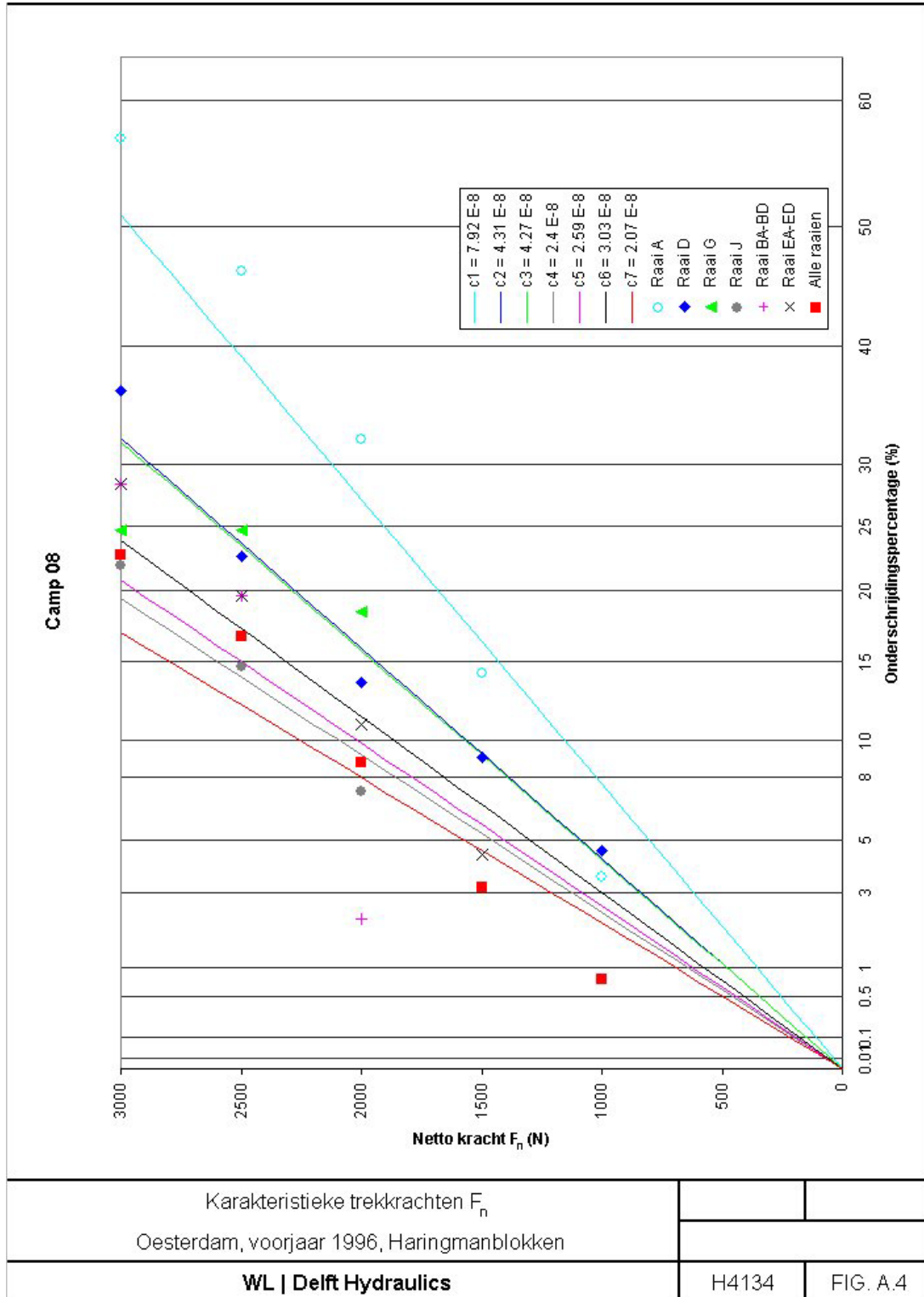
Figuur A.7 Karakteristieke trekkrachten  $F_n$ , Lauwersoog, zomer 1996

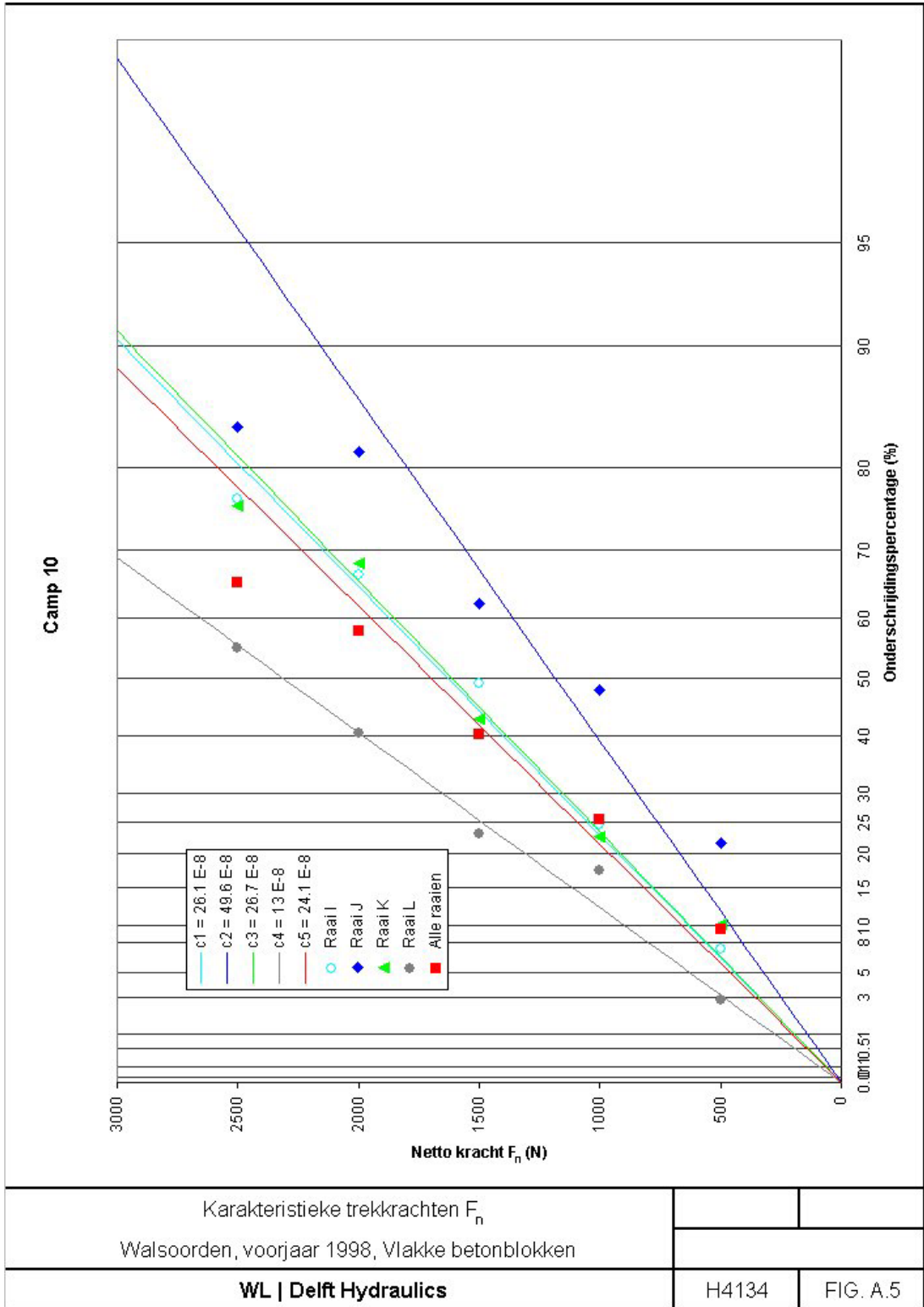


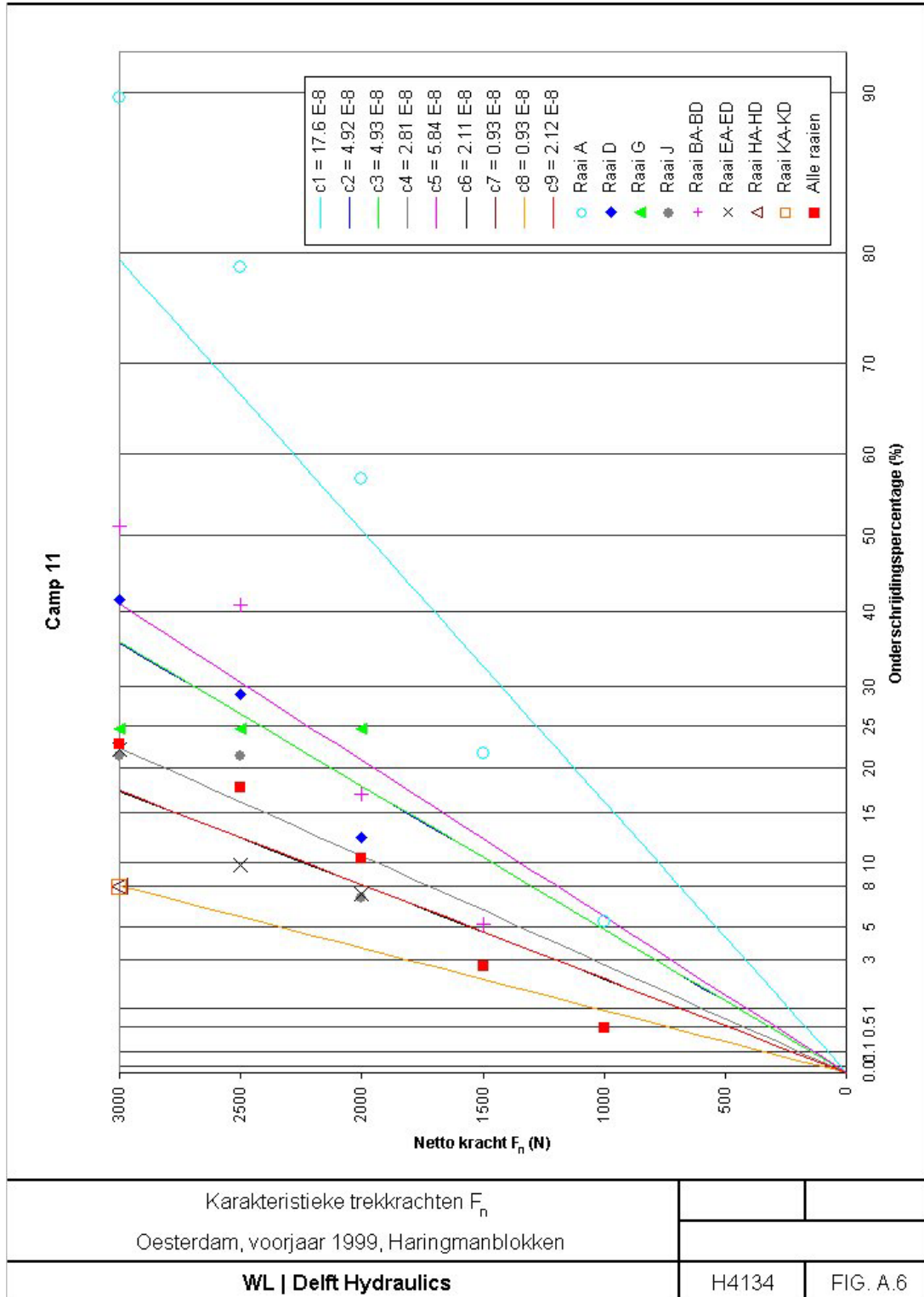




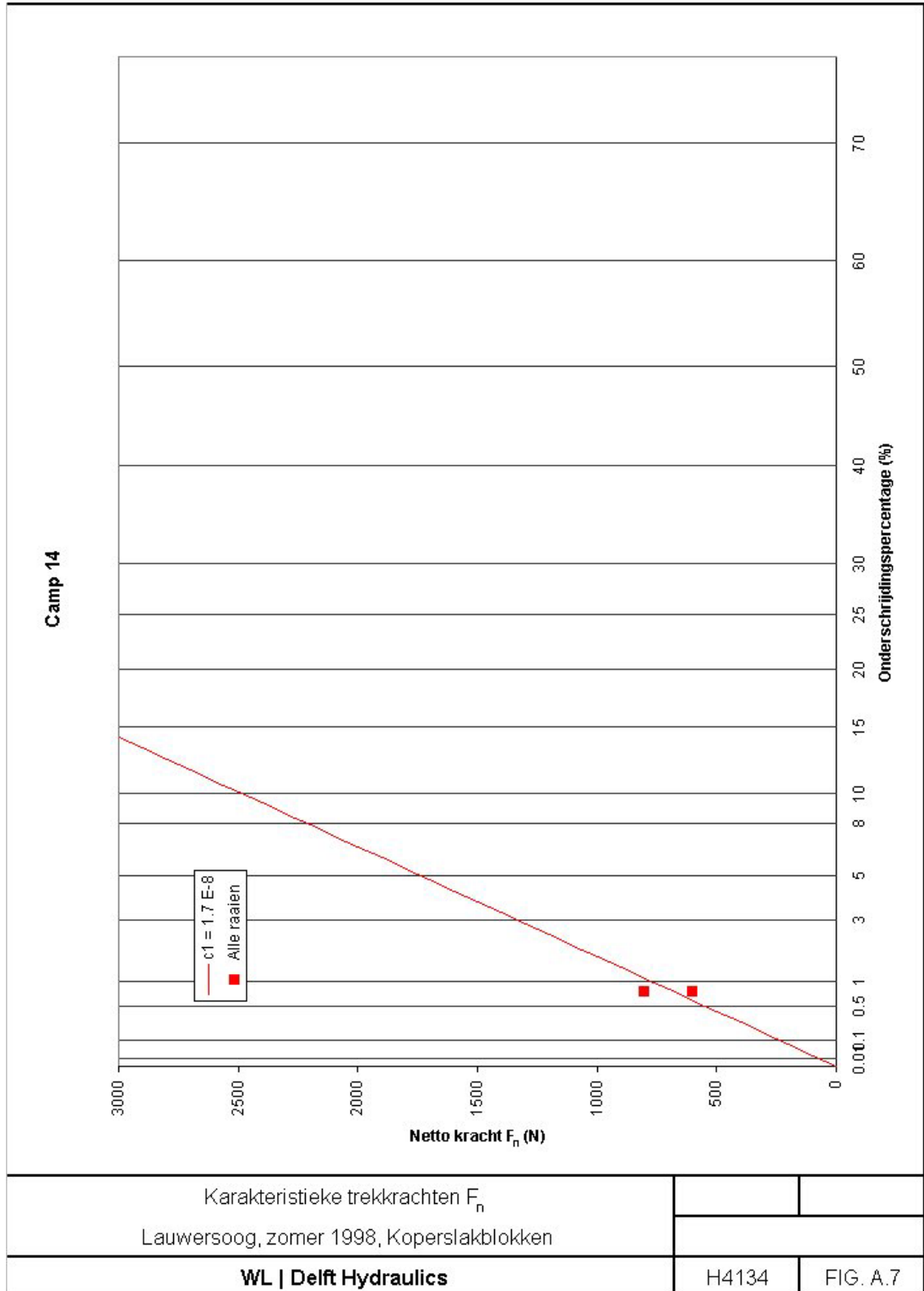














## B Beschrijving meetcampagnes

In de tabellen in deze bijlage zijn de details van de verschillende meetcampagnes weergegeven zoals ze in de bij die meetcampagnes horende rapporten zijn weergegeven. Wanneer een detail ontbreekt in die rapporten, is dat in de tabellen aangegeven met een vraagteken.

### Meetcampagnes 01, 02 en 07: Colijnsplaat, 1990 en 1994

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Haringmanblokken
Locatie	Colijnsplaat
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.5 x 0.5
Dikte (m)	0.25
Massa (kg)	145
Voegvulling	Geen
Onderlaag	Steenlag fijn op mijnsteen
Lengte sectie (m)	390
Talud	1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	8.0 – 8.25
HW (m t.o.v. NAP)	1.5
HW spring (m t.o.v. NAP)	?

**Meetcampagne 03: Afsluitdijk, voorjaar 1991**

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Basalton
Locatie	Afsluitdijk
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.2 - 0.29 (breedte)
Dikte (m)	0.4
Massa (kg)	35 - 77
Voegvulling	Staalslakken 7/40 mm
Onderlaag	Steenslag 30/50 mm
Lengte sectie (m)	150
Talud	1:3 – 1:3.5
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	7.75
HW (m t.o.v. NAP)	0.70
HW spring (m t.o.v. NAP)	?

**Meetcampagne 04: Breskens, najaar 1991**

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Basalton
Locatie	Breskens
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.2 x 0.29 (breedte)
Dikte (m)	0.35
Massa (kg)	28 – 61
Voegvulling	Staalslakken 7/40 mm
Onderlaag	Fosforslakken 0/40 mm
Lengte sectie (m)	250
Talud	1:4 – 1:5
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	10.60 – 11.25
HW (m t.o.v. NAP)	2.10
HW spring (m t.o.v. NAP)	2.50

### Meetcampagne 05: Maassluis, najaar 1992 t/m najaar 1993

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Basalton
Locatie	Maassluis
Blokkoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.2 x 0.29 (breedte)
Dikte (m)	0.27
Massa (kg)	21 – 45
Voegvulling	Gebroken basalt 16/32 mm
Onderlaag	Gebroken basalt 16/32 mm
Lengte sectie (m)	6 x 50
Talud	1:3.5 – 1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	3.40 – 3.70
HW (m t.o.v. NAP)	1.05
HW spring (m t.o.v. NAP)	1.15

### Meetcampagne 06: Maassluis, voorjaar 1993

Kenmerk	Waarde
Bloktype	PIT-Polygoonzuilen
Locatie	Maassluis
Blokkoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.25 (diameter)
Dikte (m)	0.27
Massa (kg)	30 – 35
Voegvulling	Staalslakken 5/40 mm
Onderlaag	20 cm Silex 30/90 mm
Lengte sectie (m)	100
Talud	1:3.5 – 1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	3.39
HW (m t.o.v. NAP)	1.05
HW spring (m t.o.v. NAP)	1.15

**Meetcampagne 08: Oesterdam, voorjaar 1996**

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Haringmanblokken
Locatie	Kreekraksluizen
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.5 x 0.5
Dikte (m)	0.25
Massa (kg)	145
Voegvulling	Fijn plaatzand en grof metselzand
Onderlaag	Klei en mijnsteen
Lengte sectie (m)	346
Talud	1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	5.6
HW (m t.o.v. NAP)	1.86
HW spring (m t.o.v. NAP)	2.14

**Meetcampagne 09: Terneuzen, voorjaar 1997**

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Vlakke betonblokken
Locatie	Nr Een, Hoogeweg, Hoofdplaat, Paulinapolder
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.5 x 0.5
Dikte (m)	0.25 en 0.2
Massa (kg)	115
Voegvulling	Begroeiing (klei) en natuurlijke inzanding
Onderlaag	Klei
Lengte sectie (m)	400
Talud	1:3.5 – 1:4.5
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	6.3 – 6.9
HW (m t.o.v. NAP)	2.1
HW spring (m t.o.v. NAP)	2.5

**Meetcampagne 10: Walsoorden, voorjaar 1998**

Kenmerk	Waarde	Waarde	Waarde	Waarde
Bloktype	PIT-polygoonzuilen	Granietzuilen	Hydroblocks	Betonstenen
Locatie	Wilhelminuspolder	Wilhelminuspolder	Kruisdorp	Kruispolder
Blokkoppervlak (m <sup>2</sup> )	$\pi \times 0.11^2$	variabel	0.25 x 0.25	0.5 x 0.2
Dikte (m)	0.35	variabel	0.35	0.5
Massa (kg)	30	~30	44	115
Voegvulling	Basaltsplit 4/32 mm	-	Basaltsplit 4/32 mm	Asfalt
Onderlaag	Steenslag 20/40 mm	Steenslag 20/40 mm	Steenslag 20/40 mm	Steenslag 4/20 mm
Lengte sectie (m)	171	190	160	400
Talud	1:3.8	1:3.8	1:3.7	1:3.7
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	6.5 – 6.65	6.5 – 6.65	6.5 – 6.65	6.5 – 6.65
HW (m t.o.v. NAP)	2.42	2.42	2.42	2.42
HW spring (m t.o.v. NAP)	2.77	2.77	2.77	2.77

**Meetcampagne 11: Oesterdam, voorjaar 1999**

Kenmerk	Waarde	Waarde
Bloktype	Haringmanblokken	Koperslakblokken
Locatie	Kreekraksluizen	Kreekraksluizen
Blokkoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.5 x 0.5	0.2 x 0.33
Dikte (m)	0.25	0.25
Massa (kg)	145	?
Voegvulling	Fijn plaatsand en grof metselzand	Natuurlijke inzanding
Onderlaag	Klei en mijnsteen	Kalksteenslag 10/30 mm
Lengte sectie (m)	346	70.5
Talud	1:4	1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	5.6	5.6
HW (m t.o.v. NAP)	1.86	1.86
HW spring (m t.o.v. NAP)	2.14	2.14

**Meetcampagne I2: Mosselbanken, voorjaar 1999**

Kenmerk	Waarde
Bloktype	Granietblokken
Locatie	Mosselbanken
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	?
Dikte (m)	0.2
Massa (kg)	?
Voegvulling	
Onderlaag	
Lengte sectie (m)	1600
Talud	?
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	?
HW (m t.o.v. NAP)	?
HW spring (m t.o.v. NAP)	?

**Meetcampagne I3: Paviljoen-polder, voorjaar 1999**

Kenmerk	Waarde	Waarde
Bloktype	Koperslakblokken	Koperslakblokken
Locatie	Zuid van spuisluis Bath	Noord van spuisluis Bath
Blokoppervlak (m <sup>2</sup> )	0.22 x ?	0.2 x ?
Dikte (m)	?	0.25
Massa (kg)	?	?
Voegvulling	?	?
Onderlaag	?	?
Lengte sectie (m)	1040	1040
Talud	1:4	1:4
Kruinhoogte (m t.o.v. NAP)	9.8	9.8
HW (m t.o.v. NAP)	?	?
HW spring (m t.o.v. NAP)	?	?



### **Meetcampagne I4: Friesland, zomer 1999**

Er zijn bij deze meetcampagne 4 locaties die op kaarten aangeduid zijn, waar slechts het type blok bekend is:

Slachte, basaltzuilen,  
De Stenen Man, basaltzuilen,  
Wierum, koperslakblokken, en  
Lauwersoog, koperslakblokken,

Er is gemeld dat de taluds waaruit de blokken getrokken zijn in de tijzone liggen. Verdere details ontbreken in het rapport (Consulmij, 2001a).

### **Meetcampagne I5: Zeeland, najaar 1999**

Er zijn bij deze meetcampagne 7 locaties die op kaarten aangeduid zijn, waar slechts het type blok bekend is:

- Nieuw Neuzenpolder (nabij dp 32-39), koperslakblokken,
- Margaretha-polder (nabij dp 0-8), koperslakblokken en betonblokken,
- Eendragtspolder (nabij dp 23-24), betonblokken,
- Eendragtspolder (nabij dp 24-26), koperslakblokken,
- Perkpolder, koperslakblokken,
- Nieuw Neuzenpolder (nabij dp 12-16), granietblokken, en
- Nieuw Neuzenpolder (nabij dp 40), granietblokken,

Verdere details ontbreken in het rapport (Consulmij, 1999).

### **Meetcampagne I6: Zeeland, najaar 1999**

In het rapport (Consulmij, 2001b) staat dat er granietzuilen getrokken zijn. Tevens is gemeld dat de verdeling van de raaien over de taluds als volgt is:

- raai U net boven de getijdezone,
- raai V in de getijdezone,
- raai W in de getijdezone, en
- raai X in de getijdezone.

Wat verstaan wordt onder 'in de getijdezone' en 'net boven de getijdezone' is niet vermeld. Verdere details ontbreken in het rapport (Consulmij, 2001b).

### **Meetcampagne I7: Zeeland, najaar 1999**

Geen rapport. Op de CD zijn wel wat resultaten gegeven voor raaien A, C en T.



## **C Onderzoeksprogramma**



## D Alternatieve methode om klemfactor te bepalen

In Paragraaf 4.3 wordt beschreven hoe de klemfactor bepaald kan worden met behulp van de resultaten van de meetcampagnes. Daartoe is een drempelwaarde voor de netto trekkracht vastgesteld van  $2G$  en is er gebruikt gemaakt van twee methodes. De eerste is toegepast als er wel raaien zijn met trekproeven waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . De tweede is toegepast als er geen raaien zijn met trekproeven waarvoor geldt  $F_n < 2G$ . Beide methodes sluiten redelijk op elkaar aan. In een poging om beide methodes nog beter op elkaar aan te laten sluiten, is hieronder een alternatieve aanpak gepresenteerd.

### Alternatieve aanpak

De huidige aanpak maakt onderscheidt tussen de situaties waarbij de netto trekkracht kleiner en die waarbij hij groter is dan  $2G$ . Deze drempelwaarde is een gekozen waarde, waarbij wordt verondersteld dat bij een netto trekkracht groter dan  $2G$  er slechts een kattenrugmechanisme als primair bezwijkmechanisme zal optreden.

De waarde  $2G$  is dus in feite een arbitraire keuze. Elders is al eens een waarde  $1G$  gesuggereerd, omdat bij krachtsoverdracht in twee richtingen er dan  $0.5G$  per richting resteert, hetgeen voldoende is om het betreffende buurblok te laten kantelen en dus het kattenrugmechanisme te activeren.

Bij  $N$  waarnemingen wordt als laagste waarde  $W_{min}$  gevonden. Als deze groter is dan de drempelwaarde ( $2G$ ), wordt een procedure gehanteerd die in Formule (4.11) resulteert. Als deze waarde  $W_{min}$  kleiner is dan de drempelwaarde, kan de waarde  $W_{min}$  als drempelwaarde worden gezien en kan op een vergelijkbare wijze een formule als Formule (4.11) worden afgeleid.

De frequentie  $p$  in Formule (4.9) correspondeert dus met  $F_r = D$ .  $D$  is de drempelwaarde die gelijk is aan  $2$  als  $W_{min} > 2$ , of gelijk is aan  $W_{min}$  als  $W_{min} < 2$ . De frequentie  $p$  is een punt op de onderschrijdingsfrequentielijn met een Rayleigh verdeling. Dit punt bepaalt de waarde van de constante  $c$  in de Rayleigh verdeling zoals geformuleerd in Formule (4.6). Hiermee kan de verdeling van  $F_r$  beschreven worden en kan de waarde van  $F_r$  vastgesteld worden met een onderschrijdingskans van  $X\%$ :

$$F_{rX\%} = \sqrt{\frac{ND^2 \ln(1 - X/100)}{\ln(1 - P_B)}}$$

Wanneer bovenstaande formule en Formule (4.1) gecombineerd worden, kan met een bepaalde betrouwbaarheid  $P_B$  en met een **willekeurige** onderschrijdingsfrequentie van  $X\%$  de klemfactor uitgerekend worden:

$$\Gamma_k = 1 + \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho) \cos(\alpha)} \sqrt{\frac{ND^2 \ln(1 - X/100)}{\ln(1 - P_B)}}$$