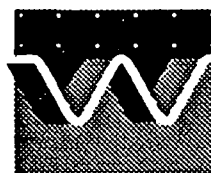




GRONDMECHANICA  
DELFT



waterloopkundig  
laboratorium | wl

TALUDBEKLEDINGEN VAN GEZETTE STEEN

VEILIGHEIDSBESCHOUWINGEN

CO-291810/41 H694

JUNI 1988 / AUGUSTUS 1991

A2 91.10

Stieltjesweg 2  
Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon 015-693500  
Telex 38234 soil nl  
Telefax 015-610821

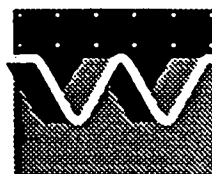
Postgiro 234342  
Bank Mees en Hope NV  
Reknr. 25.92.35.911  
K.v.K. S 146461 Delft



**GRONDMECHANICA  
DELFT**

hoofdkantoor  
Rotterdamseweg 185  
postbus 177  
2600 MH Delft  
telefoon (015) 56 93 53  
telefax (015) 61 96 74  
telex 38176 hydnl

locatie 'De Voorst'  
Voorsterweg 28, Marknesse  
postbus 152  
8300 AD Emmeloord  
telefoon (05274) 29 22  
telefax (05274) 35 73  
telex 42290 hylvo-nl



**waterloopkundig  
laboratorium |wl**

**TALUDBEKLEDINGEN VAN GEZETTE STEEN**

**VEILIGHEIDSBESCHOUWINGEN**

**CO-291810/41 H694**

**JUNI 1988 / AUGUSTUS 1991**

Opgesteld in opdracht van de  
Projectgroep TAW - A2  
(voorheen: Begeleidingsgroep Steenzettingen)

**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM: M. Klein Breteler  
GRONDMECHANICA DELFT: M.B. de Groot**



|   |                               |  |                                 |
|---|-------------------------------|--|---------------------------------|
| 1. Rapport nr.  | 2. Serie nr.                  | 3. Ontvanger catalogus nummer                                |                                 |
| 4. Titel en sub-titel<br>Taludbekledingen van gezette steen<br><br>Veiligheids beschouwingen  |                               | 5. Datum rapport<br>juni 1988/augustus 1991                  | 6. Code uitvoerende organisatie |
|   |                               | 8. Nr. rapport uitvoerende organisaties<br>CO-291810/41 H694 |                                 |
| 7. Schrijvers<br>ir. M.B. de Groot en ir. M. Klein Breteler   |                               | 10. Projectnaam<br>Steenzettingen                            | 11. Contractnummer<br>H8738/00  |
| 9. Naam en adres opdrachtnemer<br><br>GRONDMECHANICA DELFT                      WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM<br>Postbus 69                                      Postbus 152<br>2600 AB DELFT                                8300 AD EMMELOORD   |                               | 13. Type rapport<br><br>Eindrapport                          |                                 |
|   |                               | 14. Code andere opdrachtgever                                |                                 |
| 12. Naam en adres opdrachtgever<br>TAW Projectgroep A2, p/a<br>RIJKSWATERSTAAT<br>Dienst Weg- en Waterbouwkunde<br>Postbus 5044<br>2600 GA DELFT  |                               |  |                                 |
| 15. Opmerkingen   |                               |  |                                 |
| 16. Referaat<br>De bureau-studie die hier gerapporteerd is, maakt deel uit van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen. Tijdens dat onderzoek zijn een aantal modellen ontwikkeld waarmee de stabiliteit van een steenzetting beoordeeld kan worden. Deze studie richt zich op de invloed van het eventuele stabiliteitsverlies van een steenzetting op de veiligheid van de waterkering waarvan de taludbekleding een onderdeel vormt. Hierbij wordt gepoogd om aan te geven hoe de kennis die met genoemde beoordelingsmodellen over een steenzetting te verkrijgen is, verwerkt kan worden tot een beoordeling van de veiligheid van de waterkering. Het uiteindelijke doel is om voor de meest voorkomende constructietypen partiële veiligheidscoëfficiënten af te leiden voor ieder van de faalmechanismen en ieder van de beoordelingsmethoden. De bureaustudie is grotendeels in 1987 en in 1988 uitgevoerd. Midden 1991 zijn nog enige kleine wijzigingen aangebracht, waaronder verwijzingen naar het onderzoek verricht in de jaren 1989 en 1990. |                               |  |                                 |
| 17. Trefwoorden<br>Steenzettingen, Faalkansen, Veiligheidscoëfficiënten   |                               | 18. Distributiesysteem<br>Op aanvraag verkrijgbaar bij GD    |                                 |
| 19. Classificatie   | 20. Classificatie deze pagina | 21. Aant. blz.<br>Ca 250                                     | 22. Prijs                       |



M1795/M1881 - DEEL XXIII

VEILIGHEIDSBESCHOUWINGEN STEENZETTINGEN

INHOUD

SYMBOLENLIJST

SAMENVATTING

1. INLEIDING
  - 1.1. Kader en uitvoering van deze studie
  - 1.2. Doel van dit rapport
  - 1.3. Indeling van dit rapport
  
2. OORZAKEN VAN SCHADE EN GEVOLGEN VOOR VEILIGHEID
  - 2.1. Hoofd-foutenboom
  - 2.2. Detaillering hoofd-foutenboom
  - 2.3. Operationele foutenboom
  
3. OVERZICHT BEOORDELINGSMODELLEN VAN STEENZETTINGEN
  - 3.1. Algemeen
  - 3.2. Globale beoordelingsmodellen
  - 3.3. Gedetailleerde beoordelingsmodellen
  
4. ONZEKERHEDEN
  - 4.1. Algemeen
  - 4.2. Gebieden waarop de onzekerheden betrekking hebben
  - 4.3. Karakter van de onzekerheden
  - 4.4. Soorten kansverdelingsfuncties
  - 4.5. Schattingsmethode karakteristieken van de verdeling

5. METHODEN OM INVLOED ONZEKERHEDEN OP VEILIGHEID TE KWANTIFICEREN
  - 5.1. Algemeen
  - 5.2. Niveau II - hoofdklasse 3: benaderende kansdichtheidsfuncties
  - 5.3. Niveau I: veiligheidscoëfficiënten
  
6. HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN DOORLATENDHEDEN
  - 6.1. Algemeen
  - 6.2. Hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud
  - 6.3. Doorlatendheid en leklengte
  
7. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET PROEVEN OF "BLACK BOX"
  - 7.1. Algemeen
  - 7.2. Beoordelingsmodel: proeven
  - 7.3. Beoordelingsmodel: black-box
  - 7.4. Wiskundige formulering voor proeven met onregelmatige golven
  - 7.5. Wiskundige formulering voor proeven met regelmatige golven
  - 7.6. Kromme door meetpunten uit het verleden
  - 7.7. Beschrijving voorbeeld: PROVO-steenzetting
  - 7.8. Resultaten van faalkansberekening m.b.t. voorbeeld
  - 7.9. Partiële veiligheidscoëfficiënt
  
8. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET ANALYTISCHE METHODE
  - 8.1. Algemeen
  - 8.2. Overdrachtsfuncties
  - 8.3. Inventarisatie van karakteristieke constructies
  - 8.4. Faalkansberekening van de PROVO-constructie
  - 8.5. Partiële veiligheidscoëfficiënten



9. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET STEENZET/1+
  - 9.1. Algemeen
  - 9.2 Verwerking resultaten numeriek model in faalkansberekening
  - 9.3 Wiskundige formulering van het faalcriterium
  - 9.4 Bepaling afgeleiden in ontwikkelpunt uit resultaten STEENZET/1+
  - 9.5 Voorbeeld: PROVO-steenzetting
  - 9.6 Faalkansberekening
  - 9.7 Verbeteringen in de methode
  
10. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET STEENZET/2
  
11. VERVORMING TALUD DOOR KORRELTRANSPORT
  - 11.1. Algemeen
  - 11.2 Methoden om faalkansberekeningen te maken
  - 11.3 Enige resultaten van faalkansberekeningen
  
12. LOCALE AFSCHUIVING VAN BEKLEDING OF ONDERGROND
  - 12.1. Algemeen
  - 12.2 Steenzetting op granulair filter
  - 12.3 Steenzetting op geotextiel op zand
  - 12.4 Steenzetting op klei
  - 12.5 Methoden om faalkansberekeningen te maken
  
13. INVLOED DIJKLENGTE
  - 13.1 Algemeen
  - 13.2 Faalkans als er n blokken los zitten  $Pf_n$
  - 13.3 Totale faalkans  $Pf$
  - 13.4 Conclusies
  
14. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

bladnummer : - 4 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Bijlage I BLACK BOX MODEL VOOR STABILITEIT VAN STEENZETTING

Bijlage II ANALYTISCHE RELATIES GEBRUIKT IN HOOFDSTUK 9

Bijlage III FRAGMENTEN UIT "FILTERS, FOUTENBOMEN EN  
FAALKANSBEREKENINGEN"

Bijlage IV PLAATS VAN DE VEILIGHEIDSBESCHOUWING IN HET ONTWERPPROCES



SYMBOLENLIJST

- $a_g$  = lineaire weerstandscoefficiënt van geotextiel (s/m)  
 $A$  = parameter faalgrens, formules 7.4 en 7.8 (-)  
 $A_g$  = gatoppervlak ( $m^2$ )  
 $a_f$  = lineaire weerstandscoefficiënt van filter (s/m)  
 $a'$  = lineaire weerstandscoefficiënt van toplaag (s/m)  
 $a_v$  = lineaire weerstandscoefficiënt van granulaire gatvulling, te berekenen met formule (8.24) (s/m)  
 $b$  = filterdikte =  $(b_u k_u + b_m k_m) / k$  (m)  
 $b_v$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van granulaire gatvulling, te berekenen met formule (8.25) ( $s^2/m^2$ )  
 $b'$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van toplaag ( $s^2/m^2$ )  
 $b_f$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van filter ( $s^2/m^2$ )  
 $b_g$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van geotextiel ( $s^2/m^2$ )  
 $b_u$  = dikte uitvullaag (m)  
 $b_m$  = dikte van mijnsteenlaag (m)  
 $B$  = blokbreedte (m) of parameter faalgrens, formules 7.4 en 7.8 (-)  
 $B'$  = gatafstand loodrecht op dijkas, langs het talud gemeten (m)  
 $c_H$  = coefficiënt die de onzekerheid van de formule voor de significante golfhoogte weergeeft (m)  
 $c_\phi$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_b$  (-)  
 $c_\beta$  = onzekerheid in formule voor  $\beta$  (-)  
 $c_\gamma$  = onzekerheid in bepaling  $\Gamma$  (-)  
 $c_{\phi_w}$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_w$  (-)

bladnummer : - 6 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

- $c_{af}, c_{bf}$  = onzekerheidsfactoren in de formules voor de filterdoorlatendheid (-)
- $C_{am}, C_{bm}, C_{au}, C_{bu}$  = onzekerheidsfactoren voor  $a_f$  en  $b_f$  (-)
- $C_{stz}$  = onzekerheid schematisatie volgens STEENZET/1+ (-)
- $C_{H1}, C_{H3}$  = Coëfficiënten in formule 6.15 voor de golfhoogte (m)
- $C_{H3}$  = Coëfficiënten in formule 6.15 voor de golfhoogte ( $m^2$ )
- $c_{tr}$  = onzekerheidsfactor in formule voor invloed van traagheid (-)
- $c_{to}$  = onzekerheidsfactor in formule voor duur overbelaste situatie (-)
- $c_{toe}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot de formule voor toestroming (-)
- $c_{tu}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot formule voor de duur van de beweging (-)
- $c_w$  = onzekerheidsfactor in de formule voor de invloed van de wrijving (-)
- $c_{k'}$  = onzekerheidsfactor voor  $k'$  (-)
- $c_{s1}, c_{s2}, c_{s4}$  = coëfficiënten in de formules voor het stormvloedpeil (m)
- $c_{s3}$  = coëfficiënt in de formules voor het stormvloedpeil (-)
- $c_d$  = brekerindex ( $\mu(c_d) \approx 0,6$ ) (-)
- $c_m$  = quotiënt van  $H_{max}$  en  $H_s$  ( $\mu(c_m) \approx 1,5$ ) (-)
- $c_T$  = quotiënt van  $T_z$  en  $T_p$  ( $\mu(c_T) \approx 1,2$ ) (s)
- $d$  = diepte van teen van constructie tov NAP (m)
- $D$  = blokdikte (m)
- $D_{g1}$  = korrelgrootte van de gatvulling die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)



- $D_{u15}$  = korrelgrootte van de uitvullaag die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)
- $D_{m15}$  = korrelgrootte van de mijnsteen die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)
- $e$  = grondtal van natuurlijke logaritme (-)
- $f_b$  = wrijvingscoëfficiënt van de blokken (-)
- $G$  = eigen gewicht blokken =  $\Delta D \cos \alpha$  (m)
- $G_{oz}$  = golfsteilheid op diep water, berekend met de gemiddelde golfperiode(-)
- $g$  = zwaartekrachtsversnelling ( $m/s^2$ )
- $h$  = waterdiepte [m]
- $H$  = golfhoogte
- $H_s$  = significante golfhoogte [m]
- $H_m$  = maatgevende golfhoogte [m]
- $i$  = verhang (-)
- $i_{even w}$  = verhang evenwijdig aan grensvlak (-)
- $i_{bl}$  = verhang loodrecht op grensvlak (-)
- $i_s$  of  $i_{sm}$  of  $i_{su}$  = schatting van maatgevend verhang in filter/toplaag (-)
- $i_t$  = schatting van het maatgevende verhang over de topplaat (-)
- $j$  = lengte van beschouwde periode (levensduur) [jaren]
- $k$  = gelineariseerde doorlatendheid van het filter (m/s)
- $k_u$  = gelineariseerde doorlatendheid van de uitvullaag (m/s)
- $k_m$  = gelineariseerde doorlatendheid van de mijnsteen (m/s)
- $L_{oz}$  = golf lengte op diep water van golf met periode  $T_z$  (m)
- $L$  = bloklengte (evenwijdig aan de dijkas) (m)
- $L'$  = gatafstand evenwijdig aan dijkas, langs het talud gemeten (m)
- $L_d$  = reciproke waarde van aantal blokken p.e.v. dijklengte (m)
- $L_e$  = totale dijklengte (m)
- $M_1^*$  = onzekerheid modelproeven, formule 7.2 en 7.5 (-)
- $n, n$  = 1,2,3 of ander geheel getal (-)
- $n_1$  = onzekerheid ligging faalgrens, formule 7.4 en 7.8 (-)
- $n_u$  = porositeit van uitvullaag (-)

bladnummer : - 7a -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

$n_m$  = porositeit van de mijnsteen (-)  
 $n_g$  = porositeit van de gatvulling (-)  
 $p_j$  = overschijdingskans van  $S_{vj}$  (-)  
 $P_f, P_{fn}$  = faalkans d.w.z. kan dat  $Z < 0$   
 $T_p$  = golfperiode bij de top van het spectrum [s]  
 $T_z$  = gemiddelde golfperiode  
 $T_g$  = dikte van geotextiel (m)  
 $R$  = sterkte van zetting (m of andere eenheid)  
 $r_{min}$  =  $\max(D_{f15}/2 ; 0,4 \sqrt{A_g})$  (m)  
 $S$  = maatgevende belasting = verval over toplaag (m of andere eenheid)  
 $S_v$  = stomvloedpeil ten opzichte van NAP (m)  
 $s$  = spleetbreedte (m)  
 $u$  = verplaatsing blok (m)  
 $u_{max}, u_{maxtol}, u_o$  = blokverplaatsingen volgens par. 9.3.3 (m)  
 $v_t$  = specifiek debiet (filtersnelheid) door de toplaag (m/s)  
 $x$  = algemene variabele  
 $\underline{x}$  = stochastische variabele  
 $x_{KAR}$  = karakteristieke waarde van variabele  $x$   
 $Z$  = betrouwbaarheidsfunctie =  $R - S$  (m of andere eenheid)  
 $\alpha$  = taludhelling ( $^\circ$ )  
 $\alpha_f$  = parameter voor freatische lijk, formule 9.1 ( $s^{-1}$ )  
 $\alpha_t = \alpha_{toe}$  = parameter voor toestroming, formule 9.2 ( $s^{-1}$ )  
 $\beta$  = hoek van het drukfront ten opzichte van de vertikaal ( $^\circ$ ) of  $\beta = \mu/\sigma$  (-)  
 $\Delta$  = relatieve soortelijke massa van blok =  $\rho_s/\rho - 1$  (-)  
 $\rho_s$  = soortelijke massa van blok ( $kg/m^3$ )  
 $\rho$  = soortelijke massa van water ( $kg/m^3$ ) of  $\sigma^2(g)/\sigma^2(Z)$  (-)  
 $\epsilon$  = toelaatbare relatieve blokbeweging (tov de blokdikte) (-)  
 $\gamma$  = veiligheidscoëfficiënt  
 $\lambda$  = leklengte (m)  
 $\mu$  = verwachtingswaarde

bladnummer : - 7b -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



GRONDMECHANICA  
DELFT

- $\sigma$  = standaardafwijking
- $\sigma(g), \sigma(l)$  = standaard afwijkingen volgens par. 13.2.1
- $\xi$  =  $\tan(\alpha) (H / (1,56 T_p^2))^{-0,5}$  = brekerparameter (-)
- $\zeta$  = coëfficiënt die afhankelijk is van de blokvorm (-)
- $\phi_b$  = grootste stijghoogte op het talud, ten opzichte van run-down (m)
- $\phi_w$  = verval over top laag, berekend met de methode uit [6] (m)
- $\phi$  = standaard normale kansverdeling
- $\Gamma, \Gamma_{s1}, \Gamma_{s2}$  = invloedsfactoren volgens par. 9.7, respectievelijk 8.1
- $\Gamma_b$  = invloedsfactor met betrekking tot de toestroming naar een bewegend blok (-)
- $\nu$  = viscositeit van het water ( $m^2/s$ )
- $\ell$  =  $B'L'/A_g$  (-)
- $\ell$  =  $B L / (B s + L s)$  (-)

## SAMENVATTING

### Kader en doel

De bureau-studie die hier gerapporteerd is, maakt deel uit van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen. Tijdens dat onderzoek zijn een aantal modellen ontwikkeld waarmee de stabiliteit van een steenzetting beoordeeld kan worden. Deze studie richt zich op de invloed van het eventuele stabiliteitsverlies van een steenzetting op de veiligheid van de waterkering waarvan de taludbekleding een onderdeel vormt. Hierbij wordt gepoogd om aan te geven hoe de kennis die met genoemde beoordelingsmodellen over een steenzetting te verkrijgen is, verwerkt kan worden tot een beoordeling van de veiligheid van de waterkering. Het uiteindelijke doel is om voor de meest voorkomende constructietypen partiële veiligheidscoëfficiënten af te leiden voor ieder van de faalmechanismen en ieder van de beoordelingsmethoden. De bureaustudie is grotendeels in 1987 en 1988 uitgevoerd. Midden 1991 zijn nog enige kleine wijzigingen aangebracht, waaronder verwijzingen naar het onderzoek verricht in de jaren 1989 en 1990.

### Betekenis falen bekleding voor veiligheid waterkering

In dit rapport is allereerst een kwalitatieve beschouwing te vinden over de betekenis van eventueel stabiliteitsverlies van de steenzetting op de veiligheid van de waterkering. Zie de foutenbomen in de figuren 2.1, 2.2, 2.3 en 2.4. Duidelijk is gemaakt dat de nieuw verworven kennis zich voornamelijk beperkt tot een voorspelling van de omstandigheden die kunnen leiden tot "bekleding aangetast", d.w.z. tot een vrij geringe aantasting van de bekleding. Er is weinig bekend over de reststerkte van de waterkering, d.w.z. over de omstandigheden die kunnen leiden van "bekleding aangetast" tot "bekleding over groot oppervlak verdwenen" (de reststerkte van de bekleding) en over de omstandigheden die vervolgens kunnen leiden tot het falen van de hele waterkering (overige reststerkte van de waterkering). Dat blijkt een ernstig gemis. Een van de belangrijkste aanbevelingen van het rapport is dan ook om de reststerkte nader te onderzoeken.



### Opzet faalkansberekeningen

In dit rapport is vervolgens beschreven hoe faalkansberekeningen kunnen worden opgezet om te berekenen hoe groot de kans is op "bekleding aangetast" uitgaande van de kennis, maar ook het gebrek aan kennis (de onzekerheden) omtrent de hydraulische randvoorwaarden, de constructie parameters en de fysische processen die tot falen kunnen leiden. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen drie faalmechanismen (mechanismen die leiden tot "bekleding aangetast"):

- een los-zittend (niet-ingeklemd) blok wordt door waterdrukverschil uit de toplaag verwijderd: "los blok uit toplaag";
- een zodanig transport van korrels (van tussenlagen of ondergrond) dat het talud flink vervormt en de zetting lokaal zijn verband verliest: "vervorming talud door korreltransport";
- een lokale afschuiving van de bekleding of de ondergrond.

Voor het eerste faalmechanisme is de opzet beschreven van de faalkansberekening voor ieder van de volgende beoordelingsmodellen:

- modelproeven
- "black box", d.w.z. bepaling bekledingssterkte op basis van in het verleden uitgevoerde modelproeven
- analytisch model
- model met numeriek grondwater model STEENZET/1+
- model met numeriek grondwater model STEENZET/2

In het rapport is tenslotte ook summier aangegeven hoe de invloed van de lengte van een beschouwde waterkering in de faalkansberekening kan worden verwerkt.

Resultaten van de faalkansberekeningen voor de voorbeeld constructie

Als voorbeeld zijn voor één constructie ("PROVO") faalkansberekeningen uitgevoerd voor de eerste twee faalmechanismen met diverse beoordelingsmodellen. Uit de resultaten blijkt allereerst dat de faalkans groot is voor de vrij geringe golfbelasting. Bij het faalmechanisme "los blok uit toplaag" is aangenomen dat er zeker een los blok zit. Dat is misschien een pessimistische aanname. Voor het faalmechanisme "vervorming talud door korreltransport van zand op het grensvlak" is het faal criterium misschien veel te conservatief gekozen.

Verder blijkt, zoals verwacht, dat kleinere faalkansen berekend worden naarmate het beoordelingsmodel verfijnder is. Bij het grove black box model is een groot deel van de onzekerheid over de sterkte al bij voorbaat verwerkt door een veilige ondergrens als verwachtingswaarde te kiezen. De spreiding in de sterkte is daar dan ook niet belangrijk voor de faalkans. *OPMERKING: In april 1990 is een nieuwe bureaustudie over het "black box" model [18] verschenen waarin voortgebouwd wordt op de hier behandelde resultaten. Daarin wordt naast een veilige ondergrens ook een bovengrens gegeven, zodat met een verwachtingswaarde en een (forse) spreiding gewerkt kan worden.*

Bij de andere modellen is de spreiding in de sterkte wél belangrijk. Daar blijkt vooral de onzekerheid over de doorlatendheden van toplaag en tussenlagen, zoals weergegeven in par. 6.3, een grote bijdrage aan de faalkans te leveren. Dat geldt zowel voor het faalmechanisme "los blok uit toplaag" als voor "vervorming toplaag door korreltransport". Bij het eerste faalmechanisme is bovendien de onzekerheid over de extra sterkte die het toestaan van enige blokbeweging met zich meebrengt van belang. Bij korreltransport van fijne mijnsteendeeltjes (suffosie, ofwel interne filterstabiliteit) is de onzekerheid van de sterkte van belang. Bij korreltransport op het grensvlak blijkt de onzekerheid over het loodrechte verhang dat ontstaat door elastische berging nogal belangrijk te zijn.





### Partiële veiligheidscoëfficiënten

Het uiteindelijke doel van de studie (zie boven) is nog maar gedeeltelijk bereikt. Voor de beoordelingsmodellen "proeven" en "black box" worden hier weliswaar partiële veiligheidscoëfficiënten geadviseerd, maar deze zijn niet gebaseerd op voldoende faalkansberekeningen. Voor het faalmechanisme "los blok uit toplaag" bepaald volgens het analytisch model, is wél een uitgebreide serie faalkansberekeningen uitgevoerd en is een verantwoord advies over de partiële veiligheidscoëfficiënten geformuleerd (zie tabel 8.18). \*)

### Geldigheid analytisch model

Om die partiële veiligheidscoëfficiënten af te kunnen leiden, was het nodig het geldigheidsgebied van het analytisch model voor het faalmechanisme los blok uit toplaag, te bepalen. Dat is hier gedaan (par.8.3) hoewel het enigszins buiten het kader van dit rapport valt. Voor de andere modellen ontbreekt een zorgvuldige aftasting van het geldigheidsgebied.

### Aanbevelingen

Het rapport besluit met een aantal aanbevelingen. Deze hebben enerzijds betrekking op aanvullingen en verbeteringen van het hier verrichtte werk, anderzijds op een voortzetting van deze studie, met name de verdere bepaling van partiële veiligheidscoëfficiënten. Tenslotte wordt aanbevolen studies te verrichten naar het aantal losse blokken in een zetting en naar de reststerkte.

\*) *OPMERKING. In september 1990 is de bureaustudie "veiligheids filosofie en toetsingsmethode" [19] verschenen. Bij die studie zijn nog een aantal belangrijke verbeteringen aangebracht van het in dit rapport gegeven advies.*

1. INLEIDING

1.1. Kader en uitvoering van deze studie

De studie die hier gerapporteerd wordt, maakt deel uit van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen, begeleid door de begeleidingsgroep Steenzettingen, die later de Projectgroep TAW - A2 is gaan heten. Deze studie is grotendeels uitgevoerd in 1987 en 1988. Midden 1991 zijn nog enige kleine wijzigingen aangebracht. Van de onderzoeksresultaten van 1989 en 1990 is het meeste nog niet verwerkt, maar er wordt wel naar verwezen.

Het Steenzettingen onderzoek is gestart in 1980.

Het inzicht in de mogelijke faalmechanismen van een taludbekleding van gezette steen is aanmerkelijk toegenomen. Dat heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een aantal modellen om de stabiliteit van een bestaande of ontworpen bekleding te beoordelen.

De beschrijving van die modellen is grotendeels te vinden in deel XXIV van de M1795/M1881-serie [20].

In dit verslag wordt aangegeven hoe met behulp van die beoordelingsmodellen de veiligheid van een waterkering getaxeerd kan worden, voorzover die veiligheid bedreigd wordt door eventueel falen van de bekleding.

Deze studie heeft ook een sterke relatie met de volgende onderzoeken:

- het onderzoek naar de stabiliteit van oeverbekledingen (o.m. Hartelkanaal proeven-OEBES), welke gerapporteerd zijn in de M1115 serie [10]
- het PROVO-onderzoek naar de veiligheid van de Oosterschelde dijken, onderdeel van de BARCON-studie. [7]

Bij het uitvoeren van deze studie is verder gepoogd zoveel mogelijk aan te sluiten bij de ideeën van TAW werkgroep E "Probabilistische Methode". Tweemaal is met deze groep overleg gepleegd. Bovendien heeft werkgroep lid E.O.F. Calle meegedaan met het uitvoeren van deze studie.

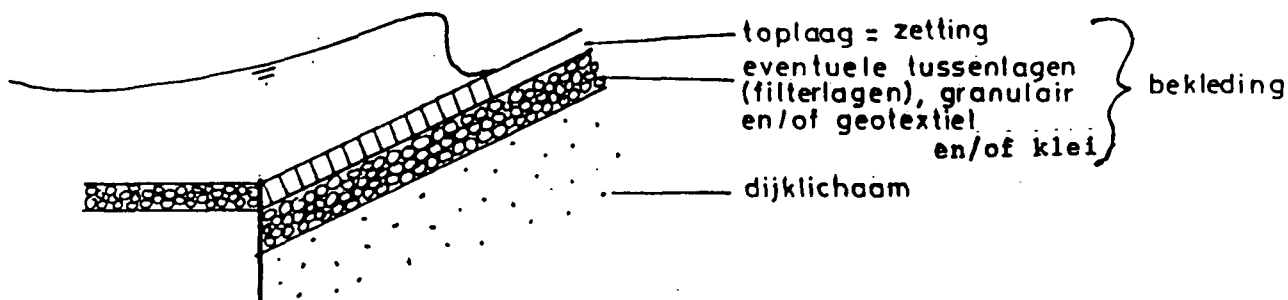
De hier beschreven studie is voornamelijk uitgevoerd door:

- K.J. Bakker (RWS-Bouwspuurwerk)
- E.O.F. Calle (Grondmechanica Delft)
- M.B. de Groot (auteur) (Grondmechanica Delft)
- J. Hernandez (RWS - DWW)
- M.Klein Breteler (auteur) (Waterloopkundig Laboratorium)
- A. van Ommen (Grondmechanica Delft)

### 1.2. Doel van dit rapport

Essentieel voor de beoordeling van een bestaande waterkering of van het ontwerp van een nieuwe, is de bepaling van de veiligheid van die waterkering. Naarmate de kennis van de potentiële faalmechanismen toeneemt, kan die veiligheid beter bepaald worden. Een van de hoofddoelstellingen van het steenzettingen onderzoek was vergroting en de kennis van die mechanismen. Toch blijven er onzekerheden.

Het doel van dit rapport is aan te geven hoe die onzekerheden verwerkt kunnen worden tot een verantwoorde schatting van de veiligheid van een waterkering, voorzover bepaald door de bekleding en het deel van het dijklichaam dat het gedrag van de bekleding direct beïnvloedt. Wat onder de bekleding wordt verstaan wordt aangegeven in onderstaande schets:



bladnummer : - 14 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### 1.3. Indeling van het rapport

Een oordeel over de veiligheid van een constructie vereist allereerst inzicht in wat die veiligheid mogelijk bedreigt. Meestal gaat het om een heleboel zaken: een hoge belasting, een zwak onderdeel van de constructie, een gebrekkige samenhang van onderdelen enz.

In foutenbomen kan men al die zaken opsommen en daarbij bovendien het oorzakelijk verband er tussen aangeven. Dat wordt in hoofdstuk 2 gedaan.

Een foutenboom beperkt zich tot EVENTUELE bedreigingen. Om te beoordelen hoe reëel die bedreigingen zijn, zal men metingen, berekeningen en/of experimenten moeten uitvoeren. In hoofdstuk 3 wordt aangegeven welke beoordelingsmodellen thans ter beschikking staan voor steenzettingen. Het is een samenvatting van een deel van wat elders in deze serie rapporten beschreven is. Met die beoordelingsmodellen kan men een deel\*) van de bedreigingen die in de foutenboom zijn aangegeven kwantificeren, althans ZO GOED MOGELIJK kwantificeren.

"Zo goed mogelijk" geeft aan dat die kwantificering niet volmaakt is. Er blijven altijd een aantal onzekerheden: onzekerheden betreffende de juistheid van de invoergrootheden van het beoordelingsmodel en onzekerheden betreffende de gebrekkigheid van het model zelf. In hoofdstuk 4 wordt een beschouwing gewijd aan de verschillende soorten onzekerheden en komt de vraag aan de orde hoe ieder van die onzekerheden in een kansverdeling tot uitdrukking kan worden gebracht.

In hoofdstuk 5 worden de methoden behandeld waarmee men die verschillende onzekerheden kan combineren, de invloed op de veiligheid kan kwantificeren en de onzekerheid omtrent de veiligheid van de totale constructie kan afleiden uit die aparte onzekerheden.



In de hoofdstukken 7 tot en met 12 wordt de in de hoofdstukken 4 en 5 beschreven methodiek toegepast op de drie in hoofdstuk 2 genoemde faalmechanismen ("los blok", "korreltransport" en "afschuiving") voor de in hoofdstuk 3 beschreven beoordelingsmodellen ("proeven" "black box", "analytisch", STEENZET/1+" en STEENZET/2"). De nadruk ligt daarbij op het faalmechanisme "los blok". Een min of meer uitputtende behandeling is alleen gegeven voor dit faalmechanisme beoordeeld d.m.v. "proeven", "black box" of "analytisch model".

Eerst wordt die methodiek echter in hoofdstuk 6 toegepast op een aantal invoergrootheden die in veel van de faalmechanismen en beoordelingsmodellen een rol spelen en daarom als gemeenschappelijk voor de hoofdstukken 7 t/m 12 beschouwd kunnen worden.

In hoofdstuk 13 wordt een bijzonder aspect van de veiligheid van een waterkering (met steenzetting) besproken: de invloed van de lengte van een waterkering (van één type onder min of meer uniforme belasting) op de totale faalkans, gegeven de faalkans van een stukje waterkering, zoals die met behulp van het voorgaande bepaald kan worden.

Het rapport wordt besloten met de behandeling van een aantal discussiepunten met conclusies en met aanbevelingen voor nader onderzoek (hoofdstuk 14).

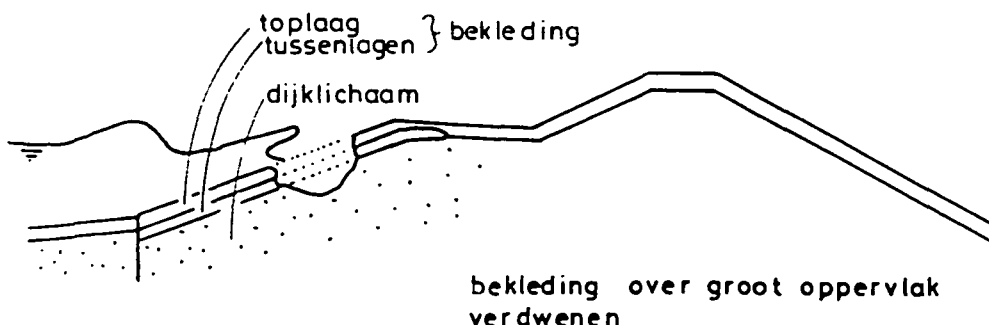
\*) Helaas beperken de beoordelingsmodellen zich voornamelijk tot het proces dat kan leiden tot enige aantasting van de bekleding met name tot "één los blok uit de bekleding". Over het proces dat kan leiden tot verdere schade en dus over de "reststerkte" is veel minder bekend. Dit blijkt een ernstige beperking te zijn.

## 2. OORZAKEN VAN SCHADE EN GEVOLGEN VOOR VEILIGHEID

### 2.1. Hoofd-foutenboom

Schade aan de bekleding kan op verschillende manieren ontstaan. Dit kan goed weergegeven worden in een foutenboom, of een schema dat op een foutenboom lijkt (zie de opmerking aan het einde van deze paragraaf). Ook de mogelijke gevolgen van schade kunnen in een foutenboom worden weergegeven. In figuur 2.1 is de foutenboom getekend waarmee TAW-werkgroep 10 de oorzaken en gevolgen van het falen van een waterkering weergeeft (zie: Rapport Voorwerkgroep probabilistische methode S-79.063" COW maart '79/mei '80).

De bekleding vormt slechts een onderdeel van een waterkering. Vandaar dat hier slechts een deel van de foutenboom zal worden behandeld. Dat deel is met een onderbroken lijn aangeduid in figuur 2.1. Bij de uitwerking van dit rapport bleek het wenselijk de verschillende gebeurtenissen iets anders te formuleren en ook enige wijzigingen in de relaties aan te brengen. Zie figuur 2.2. Zo wordt bijvoorbeeld aangenomen dat met de top-gebeurtenis "KWALITEIT BUITENTALUD..." een vermindering van de kwaliteit van het buitentalud bedoeld wordt die vergelijkbaar is met de kwaliteitsvermindering die een glijvlak of een zettingsvloeiing teweeg zouden brengen. Dat betekent de verdwijning van de bekleding, inclusief de eventuele tussenlaag over een groot oppervlak (orde 100 m<sup>2</sup>), zodat daar het materiaal waaruit het dijklichaam is opgebouwd, bloot komt te liggen. Zie onderstaande schets:





Bij "BEKLEDING AANGETAST" wordt hier in eerste instantie gedacht aan een geringe aantasting, zoals "één blok uit de bekleding" of "locale vervorming van het talud". Tussen "BEKLEDING AANGETAST" en de top-gebeurtenis "BEKLEDING OVER GROOT OPPERVLAKE VERDWENEN" zijn dus wat tussenstappen denkbaar. Een en ander zal verderop worden uitgewerkt.

Onder "GOLFAANVAL" zullen hier alle hydraulische randvoorwaarden worden verstaan, dus ook waterstand en stroom. Het gaat om de hydraulische randvoorwaarden zoals ze zijn zonder de directe invloed van vooroever, talud en bekleding. Zo kan de golf gekarakteriseerd worden door onder meer de hoogte van de inkomende golf op diep water. Dat betekent dat de locale waterdrukken en stroomsnelheden op het talud ook beïnvloed worden door de vorm van de vooroever en het talud (talud-helling!) en de ruwheid van de toplaag.

De ruwheid van de toplaag is, net als het STEENGEWICHT, de DIKTE van de verschillende lagen en de PAKKING een van de eigenschappen van bekleding en dijklichaam.

Die eigenschappen bepalen samen de STERKTE van de BEKLEDING, maar oefenen ook invloed uit op de belasting. Vandaar dat drie "gebeurtenissen" in de TAW-10-foutenboom zijn vervangen door één. Die eigenschappen zullen verderop worden gedetailleerd.

KRUIEND IJS of een SCHEEPSBOTSING hebben geen invloed op de dikte of de pakking, doch kunnen de bekleding direct aantasten. Overigens blijven ze in dit rapport buiten beschouwing: De hoofd-foutenboom die in dit rapport beschouwd is wordt in figuur 2.2 met getrokken lijnen aangegeven.

### Opmerkingen

In de schema's worden de basis-gebeurtenissen of invoergrootheden in een rond hok beschreven; de vervolggebeurtenissen in een rechthoekig hok.

De hier weergegeven schema's zijn geen echte foutenbomen. In een echte foutenboom wordt in elk hok slechts één gebeurtenis weergegeven. In het bovenste hok van figuur 2.2 staat inderdaad slechts één gebeurtenis:

"Bekleding over groot oppervlak verdwenen". Maar in het hok "Hydraulische randvoorwaarden op diep water" worden in principe oneindig veel gebeurtenissen weergegeven. Enerzijds kan men dit hok gesplitst denken in meerdere hokken, zoals "Significante golfhoogte op diep water,  $H_{so}$ ", "Golfperiode", "Waterstand", enz.. Anderzijds vertegenwoordigt ieder van die hokken een continue serie van gebeurtenissen, zoals " $H_{so}$  is groter dan 1 m", " $H_{so}$  is groter dan 2 m" en alle waarden daartussen in. Verderop zullen de schema's overigens scherper gedefinieerd worden. Daarbij zal steeds onderscheid gemaakt worden tussen hokken met enkelvoudige gebeurtenissen en hokken met series gebeurtenissen of grootheden. De laatsten zullen met een dubbele lijn worden aangegeven.

### 2.2. Detaillering hoofd-foutenboom

De bovenste helft van de hoofd-foutenboom is enigszins gedetailleerd in fig. 2.3A. De detaillering betreft enerzijds de beschrijving van de fasen die onderscheiden kunnen worden tussen "bekleding (enigszins) aangetast" en "bekleding over groot oppervlak verdwenen".

Het gemak waarmee de ene (tussen)fase tot de volgende leidt wordt telkens beïnvloed door de hydraulische randvoorwaarden op diep water, de vorm van vooroever en talud en de eigenschappen van bekleding en dijklichaam.



De detaillering betreft anderzijds de nadere precisering van "bekleding aangetast". Deze precisering sluit aan bij de beschrijving van de verschillende mogelijke schade-mechanismen.

Zie M1795-XVI.

De onderste helft van de hoofd-foutenboom is enigszins gedetailleerd in fig. 2.3.B. Behalve dezelfde precisering van de schade-mechanismen, is de relatie tussen de basis-grootheden en de gebeurtenis "bekleding aangetast" opgesplitst in drie overdrachtsfuncties:

- overdrachtsfunctie I betreffende de waterbeweging buiten
- overdrachtsfunctie II betreffende de grondwaterstroming
- overdrachtsfunctie III betreffende het gedrag van bekleding en korrelmateriaal

Bij de gedetailleerde beoordelingsmodellen (par.3.3) worden aparte modellen voor elk van de overdrachtsfuncties gehanteerd.

Een nog verdere detaillering van het onderste deel van de foutenboom is weergegeven in figuur 2.4. Enerzijds gaat het om een opsplitsing van overdrachtsfunctie I zodat ook de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud expliciet worden. Anderzijds worden de verschillende soorten eigenschappen van bekleding en dijklichaam benoemd en worden de onderlinge relaties tussen die soorten aangegeven.

Onder de geometrische eigenschappen worden onder meer verstaan:

- De laagdikten van toplaag en eventuele tussenlagen
- De vorm en afmetingen van blokken
- De spleetbreedte tussen de blokken
- De zeefkromme-karakteristieken van de materialen waaruit de tussenlagen en het dijklichaam zijn opgebouwd
- De openingen in eventuele geotextielen
- De ruwheid van de toplaag aan het talud-oppervlak.

bladnummer : - 20 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Onder de hydraulische eigenschappen worden onder meer verstaan:

- De waterdoorlatendheden van toplaag, tussenlagen en dijklichaam
- De eventuele aanstromingsweerstand bij spleten, voorzover niet impliciet meegenomen in de doorlatendheden
- De hydraulische bergingscapaciteit van de tussenlaag en/of het materiaal van het dijklichaam.

Onder de mechanische eigenschappen worden onder meer verstaan:

- De soortelijke gewichten van toplaag-blokken en de materialen waaruit de tussenlagen en dat dijklichaam is opgebouwd
- De wrijvingscoëfficiënt tussen de blokken
- Het vermogen van de toplaag om momenten op te nemen
- De stijfheid van de toplaag
- De cohesie en haakweerstand van de materialen waaruit de tussenlagen en het dijklichaam zijn opgebouwd
- De samendrukbaarheid van die materialen
- De treksterkte en elasticiteit van eventuele geotextielen.

### 2.3. Operationele foutenboom

De hoofd-foutenboom geeft de hoofdlijnen aan van de relaties tussen basisgrootheden (basis-gebeurtenissen) en vervolg-gebeurtenissen of afgeleide grootheden. Maar de boom is ook in zijn zeer gedetailleerde vorm (fig. 2.4) nog betrekkelijk vaag. Zo wordt bijvoorbeeld niet aangegeven met welke parameters de hydraulische randvoorwaarden op diep water en die aan de teen van het talud beschreven moeten worden. Evenmin wordt aangegeven met welke functie of welk model men de relaties tussen de verschillende grootheden kan bepalen.

Zodra men een concrete voorspelling wil doen van de gebeurtenissen, dan zal de foutenboom, of het interessante deel daarvan, moeten worden uitgewerkt in een hanteerbare vorm. Die zal hier "operationele foutenboom" genoemd worden.

Hoe die hanteerbare vorm er uit ziet hangt echter af van het beoordelingsmodel dat men kiest. Wil men bijvoorbeeld voorspellen of een loszittend blok uit de toplaag verdwijnt, dan kan men kiezen uit een aantal beoordelingsmodellen, waaronder "modelproeven", "black box", en "analytische formules" (zie hoofdstuk 3.). Voor elk model is meestal een andere operationele foutenboom nodig.

In de operationele foutenboom voor een bepaald beoordelingsmodel moeten alle invoergrootheden van dat model en alle grootheden of gebeurtenissen die met dat model bepaald worden, vermeld worden.

Bovendien moet aangegeven worden hoe de relaties (formules, grafieken, proefresultaten, numerieke modellen) tussen de verschillende grootheden bepaald worden. De relaties zullen in de foutenboom aangegeven worden met golflijntjes. De relaties tussen enkelvoudige gebeurtenissen bestaan meestal uit overdrachtskansen met eventuele "en" of "of" poortjes. In figuur 2.5 is de operationele foutenboom van de globale beoordelingsmodellen (par.3.2) gegeven, in figuur 2.6, 2.7, 2.8 en 2.9 die voor de gedetailleerde beoordelingsmodellen.

### 3. OVERZICHT BEOORDELINGSMODELLEN VAN STEENZETTINGEN

#### 3.1. Algemeen

In dit hoofdstuk volgt een kort overzicht van de thans beschikbare "beoordelingsmodellen", modellen om een gegeven steenzetting te beoordelen. Dat zijn rekenmodellen of andere methoden om te bepalen bij welke belasting een bepaalde vorm van schade optreedt, bijvoorbeeld:

- modelproeven
- aflezen uit empirische grafieken
- serie rekenmodellen, voor elk deel-proces één.

De modellen hebben alle betrekking op "bekleding aangetast" (zie foutenboom van figuur 2.2). De verdere gebeurtenissen in de foutenboom worden beschouwd als "vervolgschade", waarvan de kwantificering een (nog) subjectiever karakter draagt dan de kwantificering van de onzekerheden met betrekking tot het onderste deel van de foutenboom.

Een belangrijk onderscheid is het onderscheid tussen globale en gedetailleerde beoordelingsmodellen. Bij de globale worden de drie in par. 2.2 (figuur 2.3 B) genoemde overdrachtsfuncties niet apart opgelost, bij de gedetailleerde wel.

#### 3.2. Globale beoordelingsmodellen (zie figuur 2.5)

Hierbij wordt een direct verband gelegd tussen de enerzijds "hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud" en "de vorm van het talud", anderzijds de gebeurtenis "bekleding aangetast". Zo'n verband wordt gevonden door de constructie die men beschouwd, in een golfgoot na te bouwen en te beproeven. Uit dergelijke proeven zal in het algemeen blijken welk van de faalmechanismen maatgevend is. Dit beoordelingsmodel wordt hier aangeduid met "proeven".



In het verleden zijn nogal wat proeven gedaan op allerlei steenzettingen. Beschouwt men een steenzetting die lijkt op één of meer van de vroeger beproefde zettingen, dan kan men deze zetting beoordelen op grond van de oude resultaten. Dit model zal hier worden aangeduid met "black box".

Men kan een zetting evenzo beoordelen op basis van ervaringen aan bestaande bekledingen onder overeenkomstige belastingen. Ook dat is een globaal beoordelingsmodel. Maar het wordt hier niet verder behandeld.

De overdrachtsfunctie van hydraulische randvoorwaarden in diep water naar die aan de teen moet bij beide beoordelingsmodellen "proeven" en "black box" opgelost worden. In par. 6.2 wordt een voorbeeld gegeven van die overdrachtsfunctie.

### 3.3. Gedetailleerde beoordelingsmodellen

Bij de nu volgende beoordelingsmodellen wordt uitgegaan van de gedetailleerde foutenboom (figuur 2.3B en 2.4). Voor de beoordeling van de kans op de gebeurtenis "bekleding aangetast" zijn drie overdrachtsfuncties nodig:

- I. de overdrachtsfunctie van "hydraulische randvoorwaarden op diep water", "vorm talud en vooroever" en "eigenschappen van bekleding" naar "waterdruk op talud" (de stroom is hier niet van belang);
- II. de overdrachtsfunctie van "waterdruk op talud" en "hydraulische eigenschappen van bekleding en dijklichaam" naar "waterdruk in tussenlagen en dijklichaam";
- III. de overdrachtsfunctie van "waterdruk op talud", in tussenlagen en dijklichaam" en "mechanische eigenschappen van bekleding en dijklichaam" naar de gebeurtenis "bekleding aangetast".

bladnummer : - 24 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Overdrachtsfunctie I wordt opgesplitst overeenkomstig figuur 2.4. De suboverdrachtsfunctie van "hydraulische randvoorwaarden op diep water" en "vooroever geometrie" naar "hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud" valt buiten het bestek van deze studie. Als voorbeeld wordt één serie analytische uitdrukkingen gepresenteerd in par. 6.2. De overdrachtsfuncties van "geometrische eigenschappen van bekleding en dijklichaam" naar "hydraulische" worden apart behandeld in par.6.3.

Voor de rest van overdrachtsfunctie I, die van "hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud", de "vorm van het talud" en de "geometrische eigenschappen van de bekleding" naar "waterdruk op talud" zijn twee goed hanteerbare sub-modellen beschikbaar:

- parametrisch drukkenmodel
- gemeten drukken

Voor overdrachtsfunctie II zijn drie goed hanteerbare sub-modellen beschikbaar:

- analytisch model
- STEENZET/1
- STEENZET/2

Bij overdrachtsfunctie III moet allereerst onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende schademechanismen. Voor het mechanisme "los blok uit toplaag" zijn twee goed hanteerbare sub-modellen beschikbaar:

- analytisch model
- beweging blok met STEENZET/1+

Voor de andere twee faalmechanismen zijn analytische uitdrukkingen beschikbaar. Alhoewel ook daar meerdere onafhankelijke uitdrukkingen beschikbaar zijn, gaat het niet om alternatieven maar om meerdere sub-faalmechanismen die in principe alle beschouwd moeten worden.



Het onderscheid naar faalmechanisme heeft overigens ook enige invloed op overdrachtsfunctie II: bij het ene faalmechanisme zijn andere waterdruk- of grondwaterstroom parameters van belang dan bij het andere. In het ene geval bijvoorbeeld drukken, in het andere drukgradiënten of in het ene geval drukken direct onder de toplaag, in het andere geval op de grens van tussenlaag en ondergrond.

Gezien de boven aangeduide alternatieven voor een aantal overdrachtsfuncties zijn er in principe vele combinaties van de overdrachtsfuncties I, II en III mogelijk. In de ontwerppraktijk heeft het echter niet veel zin de eenvoudige randvoorwaarden volgens het parametrische drukkenmodel (overdrachtsfunctie I) te combineren met de verfijndere (sub-modellen) STEENZET/1 of STEENZET/2 (overdrachtsfunctie II).

Daarom worden hier voor de faalmechanismen "los blok uit toplaag" en "vervorming talud door korreltransport". Hier worden slechts drie combinaties behandeld:

- \* drukparameters - analytisch - analytisch
- \* gemeten drukken - STEENZET/1+
- \* gemeten drukken - STEENZET/2- STEENZET/1+

Voor het faalmechanisme "locale afschuiving van bekleding of ondergrond" wordt één combinatie behandeld:

- \* drukparameters - analytisch

#### 4. ONZEKERHEDEN

##### 4.1. Algemeen

In hoofdstuk 2 is aangegeven door welke oorzaken, in wat voor een combinatie de veiligheid van een waterkering met steenzetting eventueel bedreigd kan worden. In hoofdstuk 3 zijn de modellen beschreven waarmee zo goed mogelijk beoordeeld kan worden of een bepaalde bedreiging reëel is. De onzekerheden over modellen en de gegevens die er in verwerkt worden komen in dit hoofdstuk aan de orde. Dit hoofdstuk beperkt zich tot een aantal algemene beschouwingen en tot de methodiek om de onzekerheden te kwantificeren. Om welke onzekerheden het concreet gaat wordt in de hoofdstukken 6 tot en met 13 behandeld, terwijl in hoofdstuk 5 de methodieken om de verschillende onzekerheden te combineren ter sprake zullen komen.

##### 4.2. Gebieden waarop de onzekerheden betrekking hebben

Men kan de onzekerheden onderscheiden in die welke de belasting betreffen en die welke de sterkte betreffen. Dat zal hier niet worden gedaan omdat dat onderscheid varieert naar de definitie die men hanteert, en dus niet zo relevant is.

Bovendien maakt dat onderscheid de faalkansanalyse vaak onnodig gecompliceerd.

In het volgende zullen de onzekerheden onderscheiden worden in enerzijds onzekerheden betreffende basisgebeurtenissen en invoergrootheden, anderzijds onzekerheden betreffende de relaties tussen die gebeurtenissen of grootheden en de vervolggebeurtenissen of afgeleide grootheden. Dit sluit aan op de indeling gemaakt in de foutenbomen.





Veelal kunnen de onzekerheden met betrekking tot de relaties vertaald worden in de onzekerheid van een in de formule aanwezige coëfficiënt. Als zo'n coëfficiënt in een formule aanwezig is moet men opletten dat hij ook de onzekerheid van de VORM van de formule voor de gebruikte situatie aangeeft. Als er niet zo'n coëfficiënt aanwezig is, moet een coëfficiënt worden toegevoegd. Zodoende wordt iedere onzekerheid weergegeven als onzekerheid over een grootheid (of coëfficiënt of parameter). Een en ander wordt uitgewerkt in de hoofdstukken 6 - 13.

Opmerking: bij de keuze van het beoordelingsmodel ("black box" of "analytisch model" of ...) moet een beschouwing van de onzekerheden een belangrijke rol spelen. Zo'n keuze betekent een beslissing over welke invoergrootheden expliciet meegenomen worden en welke niet. het heeft geen zin een geavanceerd model met veel invoergrootheden toe te passen als de onzekerheid over deze grootheden of over hun invloed erg groot is. Aan de andere kant betekent het niet meenemen van zo'n grootheid dat de invloed ervan verwerkt moet worden in een coëfficiënt.

#### 4.3. Karakter van de onzekerheden

Men kan verschillende soorten onzekerheden ook onderscheiden naar hun karakter:

- Onzekerheden omtrent typisch stochastische grootheden, variërend in tijd en/of plaats: Bijvoorbeeld golfhoogte (wat is de hoogste golf tijdens de levensduur?); wel of niet losliggen van blokken (wat is het aantal losse blokken in het dijkvak?).
- Onzekerheden omtrent anderszins variërende stochastische grootheden; grootheden die men met waarnemingen/metingen bepaalt of die men schat op basis van waarnemingen/metingen uit het verleden: bijvoorbeeld wrijvingscoëfficiënt tussen betonblokken; doorlatendheid van pleistoceen zand, enz..
- Idem, maar waarvan geen waarnemingen/metingen bestaan, ook niet uit het verleden: vermindering van de doorlatendheid van mijnsteen met de tijd.
- Onzekerheden omtrent de toegepaste denkmodellen en uitgangspunten.

Vrouwenvelder (1986) maakt de volgende behartenswaardige opmerkingen over het karakter van de onzekerheden:

" In sommige gevallen heeft men de beschikking over een groot aantal statistische gegevens. Men kan dan gebruik maken van de talrijke methoden uit de klassieke statistiek voor het schatten van de verdelingen. De kern van het probleem is echter vaak dat men weinig of in het geheel geen objectieve gegevens heeft. Wil men tot resultaten komen dan is men gedwongen op gevoelsmatige gronden een aantal subjectieve aannamen te doen. Voor sommigen is dit aanleiding om te stellen dat een probabilistische betrouwbaarheidsanalyse onmogelijk is of op z'n minst weinig zinvol.



Toch is deze redenering niet erg logisch. Men doet een beroep op de waarschijnlijkheidsleer omdat er onzekerheden in het spel zijn, maar verwerpt vervolgens diezelfde waarschijnlijkheidsleer als de onzekerheden nog groter blijken. Bovendien doet men het voorkomen alsof met het verwerpen van het probabilistische element ook het subjectieve element mee zou verdwijnen. Dit is natuurlijk niet waar. De subjectiviteit is inherent aan het probleem en een objectieve oplossing bestaat eenvoudig niet. Ongeacht de wijze waarop men het probleem aanpakt komt er altijd een moment waarop men aangewezen is op gevoelsmatige uitspraken, het "engineering judgement". Juist het inschakelen van de waarschijnlijkheidsleer kan ertoe bijdragen dat op de intuïtie geen groter beroep wordt gedaan dan noodzakelijk is.

De tak van de waarschijnlijkheidsleer waarbinnen de mogelijkheid aanwezig is om kansen toe te kennen op subjectieve gronden is de zogenaamde Bayesiaanse kansrekening, genoemd naar de Engelse wiskundige Thomas Bayes. In de Bayesiaanse gedachtengang is een gebeurtenis stochastisch zodra de uitkomst niet voorspelbaar is. De oorzaak van de onvoorspelbaarheid kan zowel liggen in de intrinsieke spreidingen van de natuurverschijnselen als in onze onwetendheid daarover. De kans op een gebeurtenis zegt in de eerste plaats iets over de onzekerheid die iemand heeft: de kans weerspiegelt een "state of mind". Tegenover deze stroming staat de frequentistische gedachtenwereld. In deze stroming kunnen alleen intrinsieke spreidingen in de natuur worden gemodelleerd en niet onze onwetendheden daarover.

Een kans wordt beschouwd als de weerspiegeling van een "state of matter".

Aldus Vrouwenfelder. In dit rapport wordt zoveel mogelijk de Bayesiaanse gedachtengang gevolgd.

#### 4.4. Soorten kansverdelingsfuncties

Aan iedere onzekere grootte, coëfficiënt of parameter wordt een kansverdelingsfunctie toegekend.

In dit rapport zullen drie soorten kansverdelingsfuncties toegepast worden: de normale verdeling (of Gauss functie), de lognormale verdeling en de Gumbel-verdeling. Bij elk van deze soorten wordt de functie volledig bepaald door twee karakteristieken.

Als de grootte  $x$  NORMAAL verdeeld is of verondersteld wordt te zijn, kan men de functie het beste karakteriseren door het gemiddelde  $\mu_x$  en de standaardafwijking  $\sigma_x$ .

Voor de kansdichtheid geldt dan:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right\}$$

De overschrijdingskans of de onderschrijdingskans  $P(x)$  kan men vinden in een tabel. Omdat de functie symmetrisch is ten opzichte van  $x = \mu_x$ , is het gemiddelde gelijk aan de mediaan:  $\mu_x = x_{50}$ .

Voor het tweezijdig 95 % betrouwbaarheidsinterval geldt:

$$\mu_x - 2\sigma_x < x < \mu_x + 2\sigma_x$$

De grootte  $x$  is LOGNORMAAL verdeeld als de logaritme van de grootte een normale verdeling heeft.

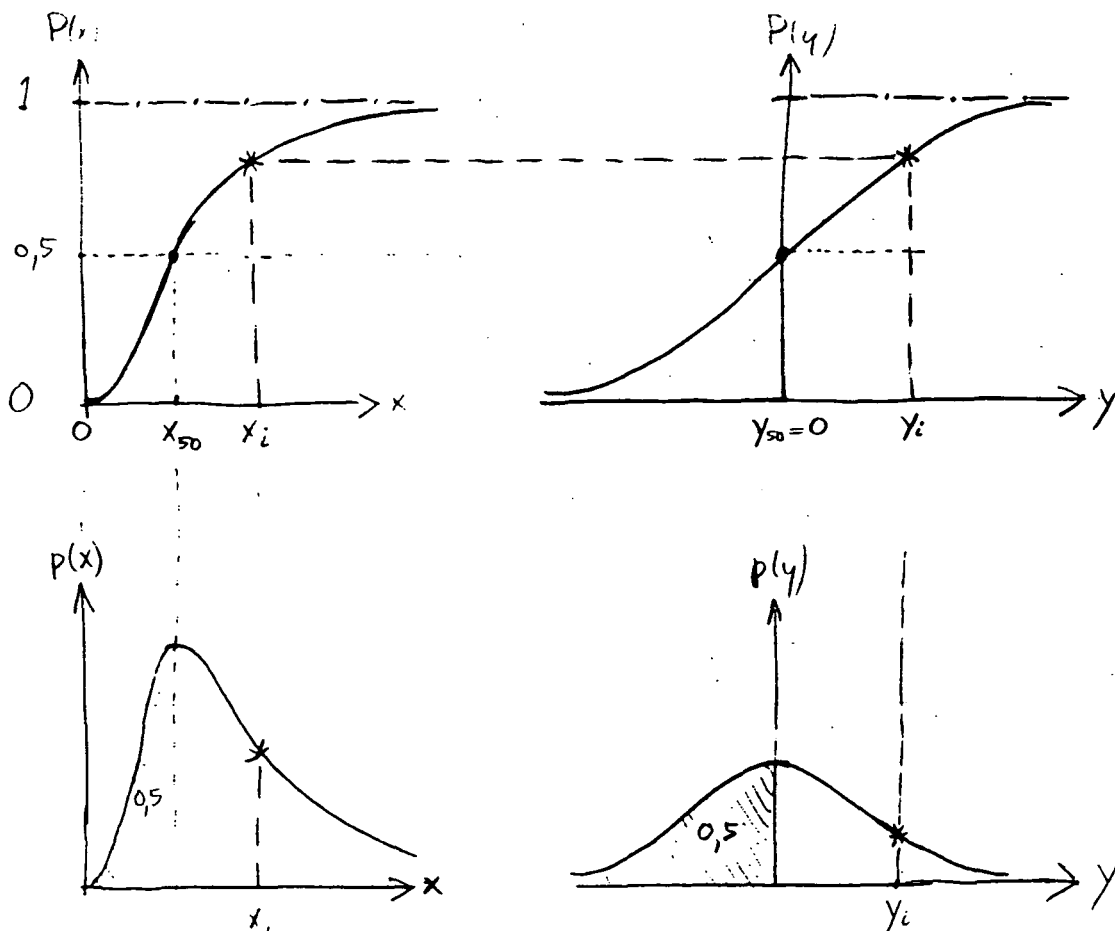
Het beste kan men de verdeling dan karakteriseren door de mediaan  $x_{5,0}$  en door de standaardafwijking  $\sigma_y$  van de lognormaal verdeelde functie  $y = \ln(x/x_{5,0})$  of door de exponent daarvan  $\exp(\sigma_y)$ . Voor de kansdichtheid van  $y$  geldt dan, omdat  $\mu_y = y_{5,0} = \ln(x_{5,0}/x_{5,0}) = 0$ :

$$p(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

De kansdichtheid van  $x$ ,  $p(x)$  heeft in het algemeen een andere waarde.

De overschrijdingskansen van overeenkomstige waarden van  $x$  en  $y$  zijn echter wel aan elkaar gelijk:

$$P(x_i) = P(y_i)$$



bladnummer : - 32 -  
ons kenmerk: C0-291810  
datum : juli 1988

Voor het tweezijdig 95 % betrouwbaarheidsinterval van  $x$  en  $y$  geldt:

$$-2\sigma_y < y = \ln(x/x_{s0}) < +2\sigma_y$$

$$\frac{1}{\exp(2\sigma_y)} < \frac{x}{x_{s0}} = \exp y < \exp(2\sigma_y)$$

$$\frac{x_{s0}}{(\exp \sigma_y)^2} < x < x_{s0} (\exp \sigma_y)^2$$

Men kan de functie uiteraard ook karakteriseren door het gemiddelde en de standaardafwijking van  $x$ :  $\mu_x$  en  $\sigma_x$ . Deze zijn als volgt gerelateerd aan  $x_{s0}$  en  $\sigma_y$ :

$$\mu_x = x_{s0} \sqrt{\exp \sigma_y^2} \quad \text{en} \quad \sigma_x = \mu_x \sqrt{\exp \sigma_y^2 - 1} = x_{s0} \sqrt{\exp \sigma_y^2 (\exp \sigma_y^2 - 1)}$$

of:

$$x_{s0} = \frac{\mu_x}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2 + 1}} \quad \text{en} \quad \sigma_y = \sqrt{\ln\left\{\left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2 + 1\right\}}$$

Van belang is op te merken dat de minimumwaarde van  $x$  nul is.

Als  $x$  een andere minimumwaarde (bijvoorbeeld  $x_0$ ) zou hebben, kan niet  $x$ , maar wel  $x' = x - x_0$  een lognormale verdeling hebben.

Als  $\sigma_y \leq 1$  volgt  $\sigma_x \leq \mu_x$ ,  $\mu_x \approx x_{s0}$  en  $\sigma_x \approx x_{s0} \sigma_y$



Als  $x$  een GUMBEL-verdeling heeft kan men deze karakteriseren door twee grootheden:  $x_1$  en  $x_2$ .

Dan geldt voor de overschrijdingskans van  $x$ :

$$P(x) = 1 - \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x - x_1}{x_2}\right)\right\}$$

$$\approx \exp\left(-\frac{x - x_1}{x_2}\right) \text{ voor } \frac{x - x_1}{x_2} > \text{ca. } 3$$

Uit de benadering van  $P(x)$  voor grote waarden van  $(x - x_1)/x_2$  volgt dat de overschrijdingskans met een factor  $e$  afneemt bij elke vergroting van  $x$  met de waarde  $x_2$ .

Men kan de kansverdelingsfunctie ook karakteriseren door gemiddelde en standaardafwijking. Deze zijn als volgt gerelateerd aan  $x_1$  en  $x_2$ :

$$\mu_x = x_1 + \gamma \cdot x_2 \quad \text{en} \quad \sigma_x = \frac{\pi}{\sqrt{6}} x_2$$

of:

$$x_1 = \mu_x - \gamma \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \sigma_x \quad \text{en} \quad x_2 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \sigma_x$$

Hierin is  $\gamma$  de constante van Euler:

$$\gamma = \int_0^{\infty} \frac{1}{z} \left( \frac{1}{1+z} - \exp(-z) \right) dz \approx 0,5772$$

bladnummer : - 34 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De NORMALE verdeling is een goede benadering voor het merendeel der grootheden. De belangrijkste uitzonderingen worden hieronder vermeld.

De LOGNORMALE verdeling is veelal een goede benadering voor grootheden die niet negatief kunnen worden maar wel waarden kunnen aannemen die tweemaal of meermalen de verwachtingswaarde bedragen, dus voor grootheden die een sterk scheve verdeling hebben.

Dit geldt meestal voor een grootheid als de Darcy-doorlatendheid  $k$ . Het betrouwbaarheidsinterval kan men voor zo'n grootheid beter met een FACTOR ten opzichte van de mediaan  $k_{s_0}$  weergeven dan met  $k_{s_0} \pm$  een TERM.

Bijvoorbeeld de factor 3 voor het 95 % betrouwbaarheidsinterval:

$$\frac{1}{3}k_{s_0} < k < 3k_{s_0}$$

Als  $y = \ln(k/k_{s_0})$  geldt dan  $(\exp \sigma_y)^2 = 3$ , dus  $\sigma_y = \ln \sqrt{3} = 0,55$ .

Opmerking: een grootheid die niet negatief kan worden, is eenzijdig naar onderen begrensd door nul, dus  $x > 0$ . Van een grootheid die eenzijdig naar onderen of naar boven begrensd is door  $x_0$ , dus  $x > x_0$  of  $x < x_0$ , kan de getransformeerde grootheid  $x' = x - x_0$ , respectievelijk  $x' = x_0 - x$  een lognormale verdeling hebben.

Opmerking: de normale verdeling en de lognormale verdeling verschillen weinig voor grootheden waarvan de standaardafwijking klein is t.o.v. het gemiddelde. Voor dergelijke grootheden maakt het niet uit of een normale dan wel lognormale verdeling gekozen wordt.

De GUMBEL-verdeling is bij uitstek van toepassing op grootheden die de extreem zijn van een min of meer periodiek proces. Zo is de verdeling van telkens de hoogste waterstand van één springtij-doodtij cyclus veelal een Gumbel-verdeling.



#### 4.5. Schattingsmethode van karakteristieken van de verdeling

##### 4.5.1. Schatting op basis van veel waarnemingen (meer dan 10 - 20)

Door de cumulatieve verdeling van de waarnemingen en de logaritme daarvan op waarschijnlijkheidspapier uit te zetten (of op Gumbelpapier  $\approx$  logaritmisch papier, althans voor de extreme waarden), kan men zien welke verdeling het meest geschikt is.

Goede "schatters" van het gemiddelde (de mediaan) en de standaardafwijking (van de logaritme) zijn veelal de gemiddelde (mediaan) respectievelijk standaardafwijking (van de logaritme) van de waarnemingen. De werkelijke karakteristieken zullen weliswaar afwijken van de schatters, doch die afwijking zal gering zijn door het grote aantal waarnemingen.

##### 4.5.2. Schatting op basis van weinig waarnemingen

Ook hier kan men schatters voor de karakteristieken voor de hele verdeling vinden door het gemiddelde (de mediaan) en de standaardafwijking (van de logaritme) van de waarnemingen te bepalen. Een alternatief voor het gemiddelde of de mediaan: het gemiddelde van de hoogste en de laagste waarneming.

Een alternatief voor de standaardafwijking:

$$\text{schatte van } \sigma_x = A_n (x_{\max} - x_{\min})$$

waarin  $n$  het aantal waarnemingen is en de grootte van  $A_n$  uit de volgende tabel is af te lezen (overgenomen uit Sieben en de Munck, 1965, hfdst. IV - 6.2):

bladnummer : - 36 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

| n     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $A_n$ | 0,89 | 0,59 | 0,49 | 0,43 | 0,40 | 0,35 | 0,32 | 0,31 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,27 |

Een handige methode om de schatters te bepalen is ook het uitzetten van de cumulatieve verdeling (of de logaritme daarvan) op waarschijnlijkheidspapier (Gumbelpapier) en het bepalen van de beste rechte lijn door die punten (kleinste kwadraten).

Er zijn nog meer methoden. Zie Vrouwenfelder, 1986, par. 193 of een handboek over statistiek.

Bij een beperkt aantal waarnemingen is het erg belangrijk dat men zich realiseert dat de karakteristieken van de werkelijke verdeling vrij sterk kunnen afwijken van de "schatters". In handboeken zijn methoden te vinden om die afwijking te schatten.

Zo kan men de betrouwbaarheid van de ligging van het gemiddelde van een normale verdeling schatten uit de waarnemingen met behulp van de zogenaamde "student-verdeling" (zie Calle, 1986, par. 2.4 of Sieben en de Munck, 1965, hfdst. IX-3).



Men zou de onzekerheid over de ligging van het gemiddelde kunnen combineren met de algemene onzekerheid over de grootheid (dat wil zeggen de onzekerheid over de waarde die de grootheid op een bepaalde plaats, op een bepaald moment of in een bepaald geval aanneemt) tot één standaardafwijking. Met behulp van Student's t waarden kan voor het spreidingsgebied van de grootheid een betrouwbaarheidsgebied worden aangegeven van bijvoorbeeld 95% (tweezijdig: aan weerszijde valt 2,5% buiten het gebied):

$$P\left(\bar{x} - t_{0,025}^{n-1} S_x \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \leq x_i \leq \bar{x} + t_{0,025}^{n-1} S_x \sqrt{1 + \frac{1}{n}}\right) = 0.95$$

Hierin is:

$\bar{x}$  - rekenkundig gemiddelde van steekproef van n waarnemingen

$S_x$  - standaardafwijking van steekproef

$x_i$  - een willekeurige realisatie van de stochastische grootheid

n - aantal waarnemingen

t - Student's t-waarde, die varieert met n en het gekozen betrouwbaarheidsgebied (te vinden in tabellen)

bladnummer : - 38 -  
 ons kenmerk: C0-291810  
 datum : juli 1988

Vervolgens kan een "vervangende" normale verdeling worden aangenomen, met verwachting  $\bar{x}$  en een standaardafwijking  $\sigma_x$ , zodanig dat  $\bar{x} \pm 2 \sigma_x$  een even groot betrouwbaarheidsgebied (ook weer 95%) bevat. Er volgt dan:

$$\sigma_x \approx \left( \frac{1}{2} \cdot t_{0,025}^{n-1} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \right) \cdot S_x$$

| n  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| $\frac{1}{2} \cdot t_{0,025}^{n-1} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$ | 7,8 | 2,5 | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,25 | 1,19 | 1,15 | 1,12 | 1,10 | 1,08 | 1,07 |

#### 4.5.3. Schatting op basis van "engineering judgement"

Hierover schrijft Vrouwenfelder (1986):

" In dit geval zullen de eigenschappen van de variabelen volledig geschat moeten worden. Men moet dan afgaan op ervaring en intuïtie van experts, vaak ondersteund door gegevens uit de literatuur. In de meeste gevallen is het een bruikbare strategie om waarden te specificeren waaronder of waarboven de betreffende variabele naar alle waarschijnlijkheid niet zal liggen. Bekend is dat er volgens de normale verdeling 95 % kans is dat een variabele een waarde aanneemt tussen  $\mu - 2\sigma$  en  $\mu + 2\sigma$ . Op grond hiervan kunnen gemiddelden in standaardafwijkingen geschat worden uit:

$$\mu(x) = \frac{1}{2}\{x(\text{hoog}) + x(\text{laag})\}$$

$$\sigma(x) = \frac{1}{2}\{(x(\text{hoog}) - x(\text{laag}))\}$$

Voor een lognormale verdeling luiden de overeenkomstige formules (zolang  $x(\text{hoog})/x(\text{laag}) < 10$ ):

$$\mu(x) = \sqrt{x(\text{hoog}) \cdot x(\text{laag})}$$

$$\sigma(\ln\{x/\mu(x)\}) = \frac{1}{2} \ln\{x(\text{hoog})/x(\text{laag})\}$$

Aldus Vrouwenfelder.

bladnummer : - 40 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

#### 4.5.4. Schatting op basis van "engineering judgement" en enkele waarnemingen

Hiervoor heeft Bayes een methode ontwikkeld. Bij deze methode wordt eerst een kansverdelingsfunctie gekozen (dat wil zeggen soort functie en de karakteristieken) op basis van engineering judgement: de "a priori" verdelingsfunctie. Vervolgens wordt deze gecorrigeerd met de waarnemingen, resulterend in een "a posteriori" verdeling. Behandeling van deze methode zou hier te ver voeren. Zie echter Vrouwenfelder (1986).

5. METHODEN OM INVLOED ONZEKERHEDEN OP VEILIGHEID TE KWANTIFICEREN

5.1. Algemeen

Het onderstaande is grotendeels ontleend aan of sluit aan op:

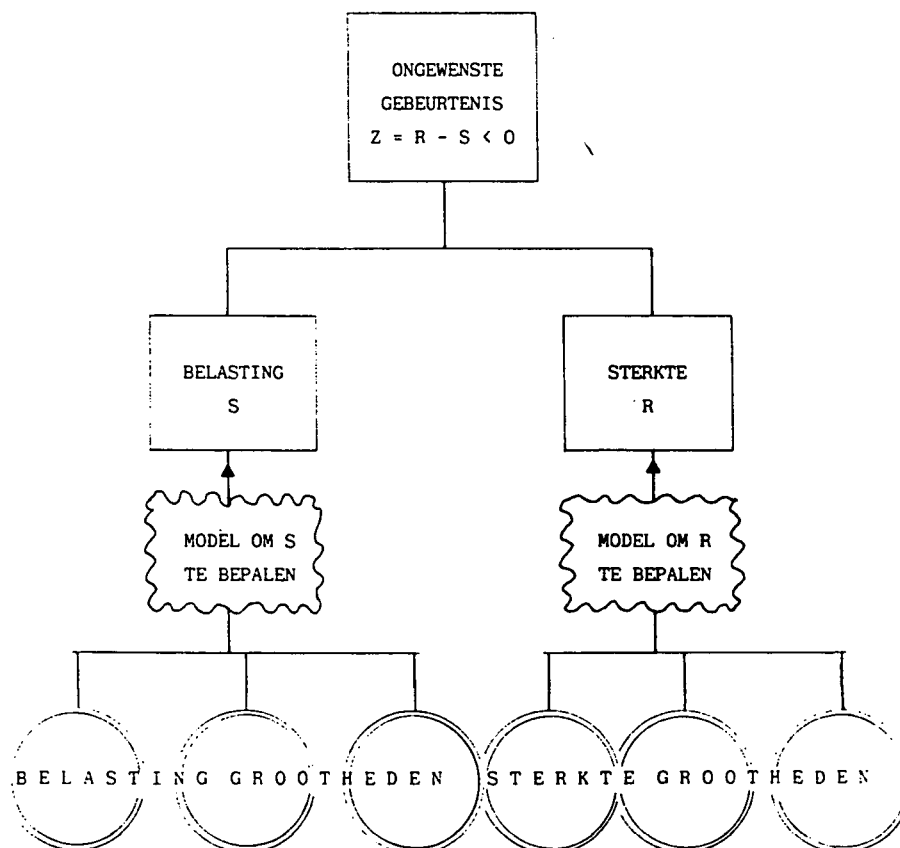
ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder en drs. ir. J.K. Vrijling: "Probabilistisch Ontwerpen" college dictaat b3 van TUD, Civiele Techniek.

Aangenomen wordt dat de lezers van dit rapport de inhoud van dat college of een gelijkwaardige cursus/publicatie tenminste een keer bestudeerd hebben en dat zij dit zondig opnieuw zullen doen.

Hier zullen slechts enkele hoofdlijnen kort beschreven worden.

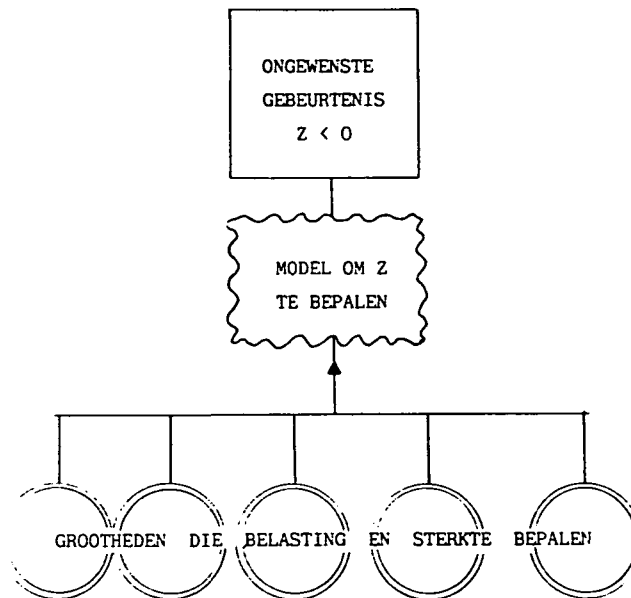
Bepaalde aspecten worden hier echter specifiek voor steenzettingen nader uitgewerkt.

Er zijn verschillende methoden om de invloed van onzekerheden op de veiligheid te kwantificeren. Alle methoden gaan echter uit van min of meer hetzelfde denkschema:



bladnummer : - 42 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

of, in een iets directere en algemenere vorm waarbij de betrouwbaarheidsfunctie  $Z$  op verschillende manieren gedefinieerd kan worden:



Bij alle methoden gaat men er van uit dat er een rekenmodel is of een ander model (modelproeven) om uit de (invoer)grootheden de belasting en sterkte of de betrouwbaarheidsfunctie  $Z$  af te leiden, zodat men kan nagaan of de ongewenste gebeurtenis optreedt of hoe groot de marge tot die ongewenste gebeurtenis volgens dat model is.





Dit denkschema kan bijna altijd beschouwd worden als een onderdeel van de operationele foutenboom. Het gaat om dat deel waarbij een of meer invoergrootheden gerelateerd worden aan een enkelvoudige gebeurtenis en wel de eerste enkelvoudige gebeurtenis die door de grootheden bepaald wordt. Bij de steenzettingen gaat het in eerste instantie om de enkelvoudige gebeurtenis "bekleding aangetast". Doch het schema kan in tweede instantie ook gebruikt worden voor "bekleding over groot oppervlak verdwenen" (zie fig. 2.2), mits de invloed van tenminste één invoergrootheid op die gebeurtenis met een of ander model gekwantificeerd kan worden. Dat zal in dit rapport overigens niet gedaan worden.

De rest van de foutenboom zal hier met "vervolgschade" worden aangeduid.

De kwantificering daarvan, dat wil zeggen de bepaling van de kans op de topgebeurtenis ("ramp", fig. 2.1 of "erosie buitentalud", fig. 2.2) bij bekende kans op de ongewenste gebeurtenis ( $Z < 0$ ), kan gedaan worden door schatting van de overdrachtskansen tussen de in de foutenboom aangegeven enkelvoudige gebeurtenissen.

Allereerst volgt echter in dit hoofdstuk een korte samenvatting van enige hoofdlijnen van bovengenoemd collegedictaat. Daarbij wordt gestart met de indeling in niveaus (collegedictaat b3, par. 3.1).

Niveau III behelst de exacte probabilistische benadering, waarbij de kansdichtheidsfuncties van alle variabelen in aanmerking worden genomen. Dit niveau zal hier niet verder behandeld worden.

Niveau II omvat een aantal benaderende methoden, waarbij het probleem wordt gelineariseerd rond een bepaald met zorg gekozen punt. Op dit niveau maakt men onderscheid tussen drie hoofdklassen van methoden:

1. gemiddelde waarde - 1e orde - tweede moment
2. verfijnde - 1e orde - tweede moment
3. benaderende kansdichtheidsfuncties.

bladnummer : - 44 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Hier zal alleen hoofdklasse 3 gebruikt worden.

In par. 5.2 zal de methodiek in zijn algemeenheid beschreven worden.  
In de hoofdstukken 7, 8, 9 en 11 volgt de toepassing.

Niveau I bevat de huidige ontwerpmethoden, die afstand scheppen tussen de karakteristieke waarden van sterkte en belasting door middel van een verzameling partiële veiligheidsfactoren.

Alleen bij berekeningen volgens niveaus II en III wordt de veiligheid of de betrouwbaarheid expliciet vastgesteld. Meestal gebeurt dat uit praktische overwegingen in de vorm van een bezwijkkans.

Bij de niveau I benadering wortelt de veiligheid meer in de ervaring, dat constructies, die volgens de geldende voorschriften gedimensioneerd zijn, goed voor hun taak berekend zijn.

De recente ontwikkeling is echter, dat niveau I voorschriften gecalibreerd worden met behulp van methoden van een hoger niveau teneinde de veiligheid consistent te maken voor diverse typen constructies. Dat zal hier voor steenzettingen worden gedaan. In par. 5.3 zal het principe van twee gebruikelijke niveau I methoden worden beschreven. In de hoofdstukken 7, 8 en 11 wordt een dezer methoden uitgewerkt.

## 5.2 Niveau II - hoofdklasse 3: benaderende kansdichtheidsfuncties

### 5.2.1 Eisen te stellen aan model om Z te bepalen

Uitgangspunt is het deel van de operationele foutenboom dat overeenkomt met het schema van par. 5.1 in zijn meest algemene vorm (onderste van de twee schema's). Uit de operationele foutenboom kan blijken dat "het model om Z te bepalen" bestaat uit meerdere deelmodellen, "gescheiden" door grootheden die als tussenresultaat beschouwd kunnen worden, zoals bijvoorbeeld  $H_s$ ,  $T_z$  enz. in figuur 2.5.



Ieder deelmodel kan bestaan uit een of meer formules, een of meer grafieken, de resultaten van modelproeven of uit de resultaten van numerieke berekeningen.

Aan het model om  $Z$  te bepalen wordt bij de niveau II methoden een bijzondere eis gesteld: met het model moet de partiële afgeleide van  $Z$  naar elk van de niet exact bekende invoergrootheden bepaald worden, althans rond de waarde  $Z = 0$ , het "ontwerppunt". Voor elk van de deelmodellen geldt dan uiteraard een soortgelijke eis.

Als elk deelmodel uit een of meer continu differentieerbare functies bestaat wordt automatisch aan die eis voldaan. Als het gaat om modelproeven of numerieke berekeningen dan wordt alleen op een eenvoudige manier aan die eis voldaan als elke niet exact bekende grootheid apart gevarieerd is. Veelal zullen slechts een beperkt aantal proeven of berekeningen gedaan zijn zodat de afgeleide naar een aantal niet exact bekende invoergrootheden niet uit de proeven of berekeningen is af te leiden. Dat is niet erg als de betreffende invoergrootheden een zeer kleine spreiding hebben of slechts een geringe invloed op de waarde van  $Z$  hebben. Ze kunnen dan als deterministische grootheden behandeld worden: de invloed op de onzekerheid van de  $Z$ -functie kan verwaarloosd worden. In andere gevallen zullen de betreffende partiële afgeleiden geschat moeten worden.

### 5.2.2 Kenmerken van de hoofdklasse 3 methoden

De hoofdklasse 3 methoden zijn de meest verfijnde niveau II methoden. De kans op de ongewenste gebeurtenis wordt bepaald voor die combinatie van niet exact bekende invoergrootheden en relatie-onzekerheden waarvoor de kansdichtheid van  $Z = 0$  het grootst is. Dat punt wordt het ontwerppunt genoemd. De kansdichtheidsfuncties van de niet exact bekende invoergrootheden en relatie-onzekerheden kunnen benaderd worden door Gauss-functies maar ook door lognormale verdelingen, Gumbelverdelingen of andere functies. Rond het ontwerppunt worden deze benaderd door een Gauss-functie.

bladnummer : - 46 -  
ons kenmerk: C0-291810  
datum : juli 1988

### 5.3 Niveau I: veiligheidscoëfficiënten

#### 5.3.1 Veiligheidscoëfficiënten voor elke onzekerheid

Bij een van de niveau I methoden wordt de onzekerheid van elke niet exact bekende invoergrootte en elke relatie-onzekerheid apart in rekening gebracht. Dat gebeurt op twee manieren. Enerzijds wordt een karakteristieke waarde van de grootte of de relatiecoëfficiënt(en) gekozen. Dat kan de verwachtingswaarde zijn, maar ook een veilige waarde (bijvoorbeeld de "ontwerp-golfhoogte"). Het verdient aanbeveling om een waarde te kiezen die gevoelsmatig ook als basis voor een eerste orde berekening zou worden gekozen. Vervolgens vermenigvuldigt men de karakteristieke waarde met een partiële veiligheidscoëfficiënt om de onzekerheid tot uitdrukking te brengen die nog niet in de keuze van de karakteristieke waarde verwerkt is.

In hoofdstuk 8 wordt aangegeven hoe deze methode gec calibreerd kan worden met een niveau II, hoofdklasse 3 methode.

#### 5.3.2 Beperkt aantal partiële veiligheidscoëfficiënten

Bij de niveau I benadering gaat men soms uit van een beperkt gestandaardiseerd aantal partiële veiligheidscoëfficiënten, die toegepast dienen te worden om de afstand te bepalen tussen de karakteristieke belasting  $S_{kar}$  en de karakteristieke sterkte  $R_{kar}$ .



In sommige gevallen is duidelijk vastgelegd wat onder "karakteristiek" verstaan dient te worden (bv. TGB 1972, TGB 1985). In andere gevallen moet de ontwerper een keuze doen. Hij dient zich te realiseren hoeveel onzekerheden hij al in die keuze verwerkt, voordat hij de grootte van de partiële veiligheidscoëfficiënten kiest.

De basisuitdrukking voor een veiligheidsbeschouwing met partiële veiligheidsfactoren wordt gegeven door:

$$S_{kar} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_c < \frac{R_{kar}}{\gamma_m}$$

Volgens ISO 2394 wordt  $\gamma_s$  opgesplitst in 3 factoren en  $\gamma_c$  en  $\gamma_m$  in elk 2 factoren. Achtereenvolgens hebben deze factoren de volgende functie:

- $\gamma_{s_1}$  houdt rekening met de mogelijkheid van een ongunstige afwijking van de belastingen ten opzichte van de karakteristieke belastingen
- $\gamma_{s_2}$  houdt rekening met de onwaarschijnlijkheid, dat verschillende belastingen die gezamenlijk op de constructie werken, tegelijkertijd hun karakteristieke waarde bereiken.
- $\gamma_{s_3}$  is bedoeld om rekening te houden met mogelijk ongunstige effecten van onjuiste ontwerpveronderstellingen en van kleine uitvoeringsfouten zoals de toevallige scheefstand en excentriciteit van kolommen.
- $\gamma_{m_1}$  is bedoeld om de mogelijke reductie in sterkte van de in de constructie verwerkte materialen ten opzichte van de karakteristieke sterkte, die werd afgeleid uit proefstukken, te dekken.

bladnummer : - 48 -  
ons kenmerk: C0-291810  
datum : juli 1988

- $\gamma_{m_3}$  dekt mogelijke zwakheden in de constructie, die het gevolg zijn van andere oorzaken, dan de hierboven genoemde reductie in materiaalsterkte.
- $\gamma_{c_1}$  houdt rekening met de aard van de constructie en haar gedrag bij bezwijken (bv. bezwijken zonder waarschuwing, geen herverdeling van krachten of voortgaand bezwijken).
- $\gamma_{c_2}$  houdt rekening met de ernst van de situatie die het gevolg is van het bereiken van de bezwijktoestand.

Deze methode is hier niet verder uitgewerkt.



## 6 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN DOORLATENDHEDEN

### 6.1 Algemeen

Onderin de gedetailleerde hoofdfoutenboom (zie figuur 4) zijn twee relaties te vinden die in bijna alle beoordelingsmodellen op dezelfde manier behandeld worden:

- de relatie tussen enerzijds de hydraulische randvoorwaarden op diep water en de vooroevergeometrie, anderzijds de hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud.
- de relatie tussen enerzijds de geometrische eigenschappen van bekleding en dijklichaam (blokdikte, spleetbreedte korrelverdeling), anderzijds de hydraulische eigenschappen van bekleding en dijklichaam, met name de doorlatendheden.

Deze relaties worden in de volgende twee paragrafen besproken. Van de eerste relatie zal alleen een voorbeeld gegeven worden. Dit voorbeeld zal echter in alle verdere voorbeelden (hoofdstuk 7 tot en met 14) weer terugkomen. De tweede relatie is universeel

### 6.2 Hydraulische randvoorwaarden aan de teen van het talud

Bij de hier gehanteerde voorbeelden worden de hydraulische randvoorwaarden gekarakteriseerd door de volgende variabelen:

1. Het stormvloedpeil, bijvoorbeeld ten opzichte van NAP.
2. De diepte van het voorland, bijvoorbeeld ten opzichte van NAP.
3. De significante golfhoogte op diep water, direkt voor de constructie.
4. De significante golfsteilheid direkt voor de constructie (significante golfhoogte gedeeld door de golflengte op diep water).

bladnummer : - 50 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

(significante)

Aangenomen wordt dat de golfhoogte volledig gecorreleerd is aan het stormvloedpeil. Het stormvloedpeil is afhankelijk van de lokale omstandigheden en de gekozen ontwerphoogwaterfrequentie. In [2] is een formule gegeven die het verband aangeeft tussen het stormvloedpeil  $S_v$  en de ontwerphoogwaterfrequentie  $p$  voor de kust bij Hoek van Holland:

$$p = 1 - \exp(-\exp(-(S_v - 1,98)/0,33)) \quad (6.1)$$

met:  $p$  = overschrijdingskans van  $S_v$  in een willekeurig jaar (-)

$S_v$  = stormvloedpeil ten opzichte van NAP (m)

De twee coëfficiënten in de formule hebben de dimensie [m].

De verdelingsfunctie (6.1) is die van het type Gumbel. De verwachtingswaarde en standaardafwijking van deze verdeling zijn [8]:

$$\mu(S_v) = 1,98 + 0,5772 * 0,33 = 2,17 \text{ m}$$

$$\sigma(S_v) = 0,33 * \pi/\sqrt{6}$$

Als gevolg van de asymmetrie van de verdeling heeft de verwachtingswaarde een overschrijdingskans van 43%.

De gegeven kansverdeling heeft betrekking op perioden van 1 jaar. Het geeft de kans dat een bepaalde waarde van  $S_v$  in een willekeurig jaar wordt overschreden. Voor het ontwerpen van een steenzetting is echter ook de overschrijdingskans in een periode gelijk aan de levensduur van belang. De kans dat  $S_v$  minstens één keer in  $j$  jaren een bepaalde waarde overschrijdt, is gelijk aan de kans dat elk jaar de waarde niet wordt onderschreden:

$$p(S_{vi} > S_v) = \{1 - p\}^j \quad (6.2)$$

met:  $p(S_{vi} > S_v)$  = kans dat in minstens één jaar  $S_v$  wordt overschreden.





Wordt formule (6.1) ingevuld, dan volgt na enig rekenwerk:

$$p_j = p(S_{vi} > S_v) = 1 - \exp(-\exp(-(S_{vj} - 1,98 - \ln(j) \cdot 0,33)/0,33)) \quad (6.3)$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de Gumbel-verdeling van het stormvloedpeil per j jaren ( $S_{vj}$ ) gekarakteriseerd wordt door:

$$\mu(S_{vj}) = \mu(S_v) + 0,33 \ln(j) \quad (6.4)$$

$$\sigma(S_{vj}) = \sigma(S_v) \quad (6.5)$$

Formule (6.3) kan omgewerkt worden tot een formule voor de waarde van  $S_{vj}$  bij gegeven overschrijdingskans  $p_j$ :

$$S_{vj} = 1,98 - 0,33 \ln(-\ln(1 - p_j)) + 0,33 \ln(j) \quad (6.6)$$

De onzekerheid in de formule (zowel het type verdeling als de gebruikte coëfficiënten) moet echter ook in rekening gebracht worden. In navolging van [2] wordt dit gedaan middels een coëfficiënt  $c_S$ :

$$S_{vj} = 1,98 - 0,33 \ln(-\ln(1 - p_j)) + 0,33 \ln(j) + c_S \quad (6.7)$$

met:  $c_S$  = coëfficiënt die de onzekerheid van de formule en de

coëfficiënten weergeeft (m)

$$\mu(c_S) = 0 = \text{verwachtingswaarde van } c_S \text{ (m)}$$

$$\sigma(c_S) = 0,11 (\mu(S_{vj}) - 2,25) \quad (6.8)$$

= spreiding van  $c_S$  (m) (geldig mits  $\mu(S_{vj}) > 2,25$  m; voor kleinere waarden geldt  $\sigma(c_S) = 0$ )

bladnummer : - 52 -  
ons kenmerk: C0-291810  
datum : juli 1988

Ten einde de formule onafhankelijk van de gekozen plaats te maken,  
worden de voor Hoek van Holland geldende coëfficiënten vervangen door  
variabelen:

$$\underline{S}_{vj} = c_{S1} - c_{S2} \{ \ln(-\ln(1 - p_j)) - \ln(j) \} + c_S \quad (6.9)$$

$$= \mu(S_{vj}) + c_S$$

$$\sigma(c_S) = c_{S3} (\mu(S_{vj}) - c_{S4}) = \text{spreiding van } c_S \text{ (m)} \quad (6.10)$$

met:  $\mu(S_{vj})$  = verwachtingswaarde van  $\underline{S}_{vj}$

$$= c_{S1} + c_{S2} (0,577 + \ln(j)) \quad (6.11)$$

$$\sigma(S_{vj}) = \text{spreiding van } \underline{S}_{vj} = \text{spreiding van } \mu(S_{vj})$$
$$= c_{S2} \pi/\sqrt{6} \quad (6.12)$$

met voor Hoek van Holland:

$$c_{S1} = 1,98 \text{ m}$$

$$c_{S2} = 0,33 \text{ m}$$

$$c_{S3} = 0,11$$

$$c_{S4} = 2,25 \text{ m}$$



In [2] is het verband gegeven tussen het stormvloedpeil en de significante golfhoogte op diep water voor de kust bij Hoek van Holland:

$$H_s = \sqrt{3,45 S_v - 7,67} + 4,5 + c_H \quad \text{als } S_v > 2,5 \text{ m} \quad (6.13)$$

met:  $H_s$  = significante golfhoogte op diep water (m)

$S_v$  = gerealiseerde stormpeil (m)

$c_H$  = coëfficiënt die de onzekerheid van de formule weergeeft (m)

$\mu(c_H)$  = 0 = verwachtingswaarde van  $c_H$  (m)

$\sigma(c_H)$  = 0,69m = spreiding van  $c_H$  (m) (6.14)

De formules worden als volgt onafhankelijk van de gekozen plaats gemaakt:

$$H_s = \sqrt{c_{H1} S_v + c_{H2}} + c_{H3} + c_H \quad (6.15)$$

Deze formule is ook te gebruiken als er geen verband bestaat tussen het stormvloedpeil en de optredende golfhoogte. Men kiest dan de coëfficiënten als volgt:

$$c_{H1} = 0$$

$$c_{H2} = 0$$

$$c_{H3} = \mu(H_s)$$

$$\mu(c_H) = 0$$

$$\sigma(c_H) = \sigma(H_s)$$

bladnummer : - 54 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat in [3] een andere formule voor het stormvloedpeil en de significante golfhoogte bij Hoek van Holland is gegeven:

$$p = 727,86 \exp(-3,01 S_v) \quad (6.16)$$

$$\mu(H_s) = 4,82 + 0,6 S_v - 0,0063 ((7,0 - S_v)^{3,13}) \quad \text{als } S_v < 7 \text{ m} \quad (6.17)$$

$$\mu(H_s) = 4,82 + 0,6 S_v \quad \text{als } S_v > 7 \text{ m} \quad (6.18)$$

$$\sigma(H_s) = 0,60 \text{ m}$$

In [3] worden ook metingen van  $H_s$  van andere plaatsen langs de kust gegeven (zie figuur 6.1).

Deze formules worden echter niet in deze studie gebruikt.

Aangenomen kan worden dat de "hoogste" golf tijdens de storm de grootste kans op schade geeft. De maatgevende golfhoogte op diep water volgt uit:

$$H_m = c_m H_s \quad (6.19)$$

met:  $H_m$  = golfhoogte van maatgevende golf voor constructie bij  
zodanige waterdiepte dat de golven nog niet breken (m)  
 $c_m$  = coëfficiënt ( $\mu(c_m) \approx 1,5$ ) (-)

Als de verwachtingswaarde van  $c_m$  gelijk aan 1.5 wordt gekozen, dan betekent dit dat de golfhoogte met overschrijdingsfrequentie van 1% als maatgevend gezien wordt (gegeven een Rayleigh verdeling van de golfhoogten en een bepaalde  $H_s$ ).

De maatgevende golfhoogte bij de constructie is afhankelijk van refractie, diffractie, de lokale waterdiepte en andere invloeden. Ter vereenvoudiging van de problematiek wordt hier slechts rekening gehouden met het brekerkriterium:

$$H = \min(H_m, c_d h) \quad (6.20)$$

met: H = lokale maatgevende golfhoogte (m)

h = waterdiepte aan teen van constructie =  $S_v + d$  (m)

d = diepte van teen van constructie tov NAP (m)

$c_d$  = brekerindex ( $\mu(c_d) \approx 0,6$ ) (-)

$\min(\dots, \dots)$  = kleinste waarde van beide.

De lokale golfperiode volgt uit de golfsteilheid op diep water:

$$G_{Oz} = H_s / L_{Oz} = \frac{H_s}{1,56 \frac{m}{s^2} T_z^2} = \frac{H_s}{1,56 \frac{m}{s^2} (T_p / c_T)^2} \Rightarrow \quad (6.21)$$

$$T_p = c_T \sqrt{H_s / G_{Oz} / 1,56 m/s^2} \quad (6.22)$$

met:  $G_{Oz}$  = golfsteilheid op diep water, berekend met de gemiddelde golfperiode (-)

$L_{Oz}$  = golflengte op diep water, berekend met de gemiddelde golfperiode (m)

$T_z$  = gemiddelde golfperiode (s)

$c_T$  = quotiënt van  $T_z$  en  $T_p$  ( $\mu(c_T) \approx 1,2$ ) (-)

Met bovenstaande formules liggen de hydraulische randvoorwaarden voor dijken die langs de Nederlandse kust liggen vast. De enige invoervariabelen zijn j, d,  $G_{Oz}$  en de coëfficiënten  $c_{s1}$ ,  $c_{s2}$ ,  $c_{s3}$ ,  $c_{s4}$ ,  $c_H$ ,  $c_{H1}$ ,  $c_{H2}$  en  $c_{H3}$ .

bladnummer : - 56 -  
ons kenmerk:CO-291810  
datum : juli 1988

Voor dijken die elders in het nederlandse getijdegebied liggen, hoeven de golfkarakteristieken niet direkt aan de waterstand gekoppeld te zijn. In de hier gegeven voorbeelden wordt echter wel van die koppeling uitgegaan.

### 6.3 Doorlatendheid en lek lengte

De doorlatendheid van filtermateriaal is in [4] nader geanalyseerd aan de hand van de Forchheimer relatie. Dit heeft geresulteerd in de volgende formules:

$$i_f = a_f v_f + b_f v_f^2 \quad (6.23)$$

$$a_f = c_{af} \cdot \frac{160 v (1 - n)^2}{g n^3 D_{f15}^2} \quad (6.24)$$

$$b_f = c_{bf} \cdot \frac{2,2}{g n^2 D_{f15}} \quad (6.25)$$

met:  $a_f$  = lineaire weerstandscoefficiënt van filter (s/m)  
 $b_f$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van filter (s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)  
 $c_{af}$ ,  $c_{bf}$  = onzekerheidsfactoren (-)  
 $g$  = zwaartekrachtsversnelling (m/s<sup>2</sup>)  
 $n$  = porositeit (-)  
 $D_{f15}$  = korrelgrootte van het filter dat door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)  
 $v$  = viscositeit van het water (m<sup>2</sup>/s)

Ten behoeve van de analytische berekening van de grondwaterstroming in het filter moet echter bovenstaande niet-lineaire doorlatendheidsrelatie gelineariseerd worden (zie [1]):

$$k = (- a_f + \sqrt{(a_f^2 + 4 b_f i_s)}) / (2 b_f i_s) \quad (6.26)$$

met:  $k$  = gelineariseerde doorlatendheid van het filter (m/s)  
 $i_s$  = schatting van maatgevend verhang in filter // toplaag (-)

De onzekerheid in de linearisatie wordt ondergebracht in de spreiding van  $i_s$ . Bovenstaande formules zijn te gebruiken voor de berekening van de doorlatendheid van verschillende filterlagen, zoals  $k_u$



(doorlatendheid van uitvullaag),  $k_m$  (doorlatendheid van mijnsteen),  $a_g$  en  $b_g$  (weerstandcoëfficiënten voor de granulaire gatvulling).

In [5] is het onderzoek naar de doorlatendheid van de toplaag beschreven. Het heeft geresulteerd in de volgende formules:

$$i_t = a' v_t + b' v_t^2 \quad (6.27)$$

met:  $i_t$  = verhang over de toplaag (-)

$a'$  = lineaire weerstandcoëfficiënt van toplaag (s/m)

$b'$  = kwadratische weerstandcoëfficiënt van toplaag (s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$v_t$  = specifiek debiet (filtersnelheid) door de toplaag (m/s)

toplaag met alleen spleten tussen de rechthoekige blokken:

$$a' = \frac{12 v_2 \ell}{g s^2} + \frac{\ell s a_f}{\pi D} \ln \left\{ \frac{\ell s}{\pi e r_{\min}} \right\} + \frac{a_g \ell T_g}{D} \quad (6.28)$$

$$b' = \frac{\ell^2}{2 g D} \left\{ \left( \frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right\} + \frac{\ell s b_f}{\pi D} \left\{ \frac{\ell s}{\pi r_{\min}} - 2 \right\} + \frac{b_g \ell^2 T_g}{D} \quad (6.29)$$

met:  $r_{\min} = \max (D_{f15}/2 ; 0,4 s) \quad (m)$

$\ell = B L / (B s + L s) \quad (-)$

$D =$  blokdikte (m)

$s =$  spleetbreedte (m)

$e =$  grondtal van natuurlijke logaritme (-)

$a_g =$  lineaire weerstandcoëfficiënt van geotextiel (s/m)

$b_g =$  kwadratische weerstandcoëfficiënt van geotextiel (s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$T_g =$  dikte van geotextiel (m)

bladnummer : - 58 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

Toplaag met gaten die een regelmatige onderlinge afstand hebben, waarbij de doorlatendheid van de spleten verwaarloosbaar is:

$$a' = \frac{a_f}{D} \sqrt{\frac{B' L'}{4 \pi}} \cdot \left\{ \sqrt{\frac{B' L' / \pi}{2 r_{\min}}} - 2 \right\} + \frac{a_g \ell T_g}{D} + a_v \ell \quad (6.30)$$

$$b' = \frac{\ell^2}{2 g D} \left\{ \left( \frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right\} + \frac{b_f}{D} \sqrt{\frac{B' L'}{4 \pi}} \cdot \left\{ 3 \left[ \sqrt{\frac{B' L' / \pi}{2 r_{\min}}} \right]^3 - 4 \right\} + \frac{b_g \ell^2 T_g}{D} + b_v \ell^2 \quad (6.31)$$

met:  $r_{\min} = \max (D_{f15}/2 ; 0,4 \sqrt{A_g})$  (m)

$\ell = B' L' / A_g$  (-)

$B'$  = gatafstand loodrecht op dijkas, langs het talud gemeten (m)

$L'$  = gatafstand evenwijdig aan dijkas, langs het talud gemeten (m)

$A_g =$  gatoppervlak ( $m^2$ )

$a_v =$  lineaire weerstandscoefficiënt van granulaire gatvulling, te berekenen met formule (6.24) (s/m)

$b_v =$  kwadratische weerstandscoefficiënt van granulaire gatvulling, te berekenen met formule (6.25) ( $s^2/m^2$ )

Betonzuilen (zoals Basalton) kunnen opgevat worden als dichte blokken met spleten. De fiktieve spleetbreedte moet dan zo gekozen worden dat het open oppervlak goed wordt weergegeven.

De benodigde gelineariseerde toplaagdoorlatendheid kan berekend worden met:

$$k' = c_{k'} \frac{-a' + \sqrt{(a')^2 + 4 b' i_t}}{2 b' i_t} \quad (6.32)$$

met:  $k' =$  gelineariseerde toplaagdoorlatendheid (m/s)

$c_{k'} =$  onzekerheidsfactor voor  $k'$  (-)

$i_t =$  schatting van het maatgevende verhang over de toplaag (-)



Als de spleten tussen blokken met gaten niet te verwaarlozen zijn, dan kan  $k'$  als volgt benaderd worden:

$$k' = k'_g + k'_s - 0.5 \min(k'_g; k'_s) \quad (6.33)$$

met:  $k'_g$  = doorlatendheid van zetting met alleen gaten (m/s)  
 $k'_s$  = doorlatendheid van zetting met alleen spleten (m/s)  
 $\min(...;...)$  = kleinste waarde kiezen.

Met de berekende waarden voor  $k$  en  $k'$  kan als volgt de grootte van de lek lengte berekend worden:

$$\lambda = \sin(\alpha) \sqrt{\frac{(k_u b_u + k_m b_m) D'}{k'}} \quad (6.34)$$

met:  $\lambda$  = lek lengte (m)  
 $k_u$  = gelineariseerde doorlatendheid van de uitvullaag (m/s)  
 $k_m$  = gelineariseerde doorlatendheid van de mijnsteen (m/s)  
 $b_u$  = dikte uitvullaag (m)  
 $b_m$  = dikte van mijnsteenlaag (m)

Als er slechts 1 filterlaag aanwezig is, dan is bovenstaande formule te gebruiken door  $b_m = 0$  te stellen.

Bij de berekening van de doorlatendheid van de toplaag dient men de weerstandscoefficienten van de uitvullaag te gebruiken.

bladnummer : - 60 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

## 7. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET PROEVEN OF BLACK BOX

### 7.1 Algemeen

De beoordelingsmodellen "proeven" en "black box" worden beschreven in de paragrafen 7.2 en 7.3. Figuur 2.5 geeft de operationele foutenboom, uitgaande van (informatie over) proeven met onregelmatige golven. In paragraaf 7.4 worden de betreffende formules samengevat en wordt aangegeven hoe de onzekerheden omtrent het beoordelingsmodel worden verwerkt.

Gaat men bij het black box model uit van proeven met regelmatige golven, dan moeten enige grootheden iets anders gedefinieerd worden. Dit wordt in paragraaf 7.5 beschreven.

Dan volgt in paragraaf 7.6 een uiteenzetting over de formules waarin de resultaten van de tot 1988 verrichtte proeven gegoten worden (latere gegevens zijn verwerkt in [18]).

Deze formules zijn dus geldig voor de "black box" methode. Als proeven voor een concrete constructie worden gedaan zijn soortgelijke formules af te leiden.

In paragraaf 7.7 wordt een voorbeeld beschreven: constructie met randvoorwaarden. Daarvan worden in paragraaf 7.8 de berekende faalkansen volgens de black box gepresenteerd. Het hoofdstuk wordt afgerond (paragraaf 7.9) met een advies over partiële veiligheidscoëfficiënten voor de beoordelingsmethoden "proeven" en "black box".

### 7.2. Beoordelingsmodel: modelproeven

Wil men van een bestaande steenzetting of een ontworpen zetting weten bij welke belasting een loszittend blok uit de toplaag gaat, dan geven modelproeven in een golfgoet veelal een betrouwbaar antwoord.

Aangenomen wordt dat het om één constructie gaat door één combinatie van bloksoort en tussenlagen bij één taludvorm, maar dat waterstand en golfbelasting kunnen variëren. Bij één waterstand en één spectrumvorm wordt de significante golfhoogte  $H_s$  net zolang opgevoerd totdat een

los blok uit de toplaag gelicht wordt. Dit wordt herhaald voor nog één of meer spectrumvormen (dus meerdere piekperiodes  $T_p$ ) en, zonodig, nog enige waterstanden.

Men kan nu de kritieke significante golfhoogten uitzetten als functie van waterstand  $h$  en piekperiode  $T_p$ . Het is echter gebruikelijk de resultaten in de volgende, dimensieloze vorm uit te zetten:

$$\left[ \frac{H_s}{\Delta D} \right]_{\text{krit}} \text{ tegen } \xi_p = \sqrt{2\pi H_s / g T_p^2}$$



Hierin:  $\alpha$  - taludhelling  
D - blokdikte  
 $\Delta$  - relatief soortelijk gewicht van de toplaag

Er ontstaat dan meestal een grafiek als die in figuur 7.1.  
Om dit faalmechanisme te kunnen bestuderen, dient men er voor te  
zorgen dat één of enkele blokken los in de zetting zitten.

### 7.3. Beoordelingsmodel: black box

In het verleden zijn nogal wat proeven gedaan op allerlei steenzettingen. Zie bijlage I.

Beschouwt men een steenzetting die lijkt op één of meer van de vroeger beproefde steenzettingen, dan kan men de resultaten gebruiken om een schatting te maken van de te verwachten waarde  $[H_s/\Delta D(\xi_p)]_{kr}$ .

Uiteraard zal de onzekerheid omtrent deze waarde groter zijn naarmate de beschouwde steenzetting meer afwijkt van de beproefde steenzetting(en). Ook prototype-proefvakken kunnen voor dit doel gebruikt worden, mits de golfbelasting waarbij eventueel falen optreedt, bekend is. Verder geldt voor dit beoordelingsmodel hetzelfde als voor het vorige. Uit bijlage I blijkt dat in het verleden nogal veel proeven gedaan zijn bij regelmatige golven. Ook deze proeven kunnen gebruikt worden. Maar daarmee wordt wel een lastige onzekerheid geïntroduceerd: wat is de maatgevende golfhoogte uit het spectrum die dezelfde schade geeft als de regelmatige golf? Hetzelfde geldt voor de maatgevende golfsteilheid, ofwel de  $\xi$ -waarde. Meer hierover in par. 7.5 en par. 7.8.

### 7.4 Wiskundige formulering voor proeven met onregelmatige golven

Het faalcriterium luidt, als uitgegaan wordt van proeven met onregelmatige golven:

$$Z < 0 \quad (7.1)$$

met

$$Z = -\frac{H_s}{\Delta D} + \frac{1}{M_1} \left[ \frac{H_s}{\Delta D} \right]_{krit} \quad (7.2)$$

Hierin is:

$H_s$ : Significante golfhoogte van de inkomende golf op diep water

$\Delta$ : Relatieve massa van de elementen van de steenzetting

D: Dikte van de steenzettings-elementen

$M_1$ : Factor met betrekking tot de betrouwbaarheid van de Modelproeven.

bladnummer : - 62 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Uit elke proef volgt een waarde van  $[H_s/\Delta D]_{\text{krit}}$  als functie van de golfsteilheidsparameter  $\xi_{\text{op}}$  gedefinieerd als:

$$\xi_{\text{op}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_s/gT_p^2}} = C_T \xi_{\text{oz}} = C_T \frac{\tan \alpha}{\sqrt{Goz}} \quad (7.3)$$

Hierin is  $T_p$  de golfperiode bij de piek van het spectrum; de index o geeft aan dat het om de waarde op diep water gaat. De index z (of 2?) heeft betrekking op de definities uitgaande van de gemiddelde golfperiode i.p.v. de piekperiode.

Zoals in paragraaf 7.6 aannemelijk wordt gemaakt, kan door de relevante punten een hyperbool getrokken worden zodat:

$$\left[ \frac{H_s}{\Delta D} \right]_{\text{krit}} = A \cdot \xi_{\text{oz}}^B \cdot n_1 \quad (7.4)$$

Hierin zijn A en B nog nader te bepalen constanten (zie paragraaf 7.6), terwijl  $n_1$  een coëfficiënt met verwachtingswaarde 1 is die de spreiding van de punten rond de hyperbool moet weergeven, veroorzaakt door het feit dat elk punt een andere combinatie van constructie en randvoorwaarden betreft. Dat staat los van de onzekerheid over de betrouwbaarheid van ieder punt op zich, die met M, wordt weergegeven.

#### 7.5 Wiskundige formulering voor proeven met regelmatige golven

Nu geldt:

$$Z = - \frac{H}{\Delta D} + \frac{1}{M_1} \left[ \frac{H_o}{\Delta D} \right]_{\text{krit}} \quad (7.5)$$

Hierin is:

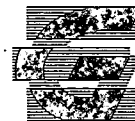
H = minimum van  $H_m$  of  $(c_d \cdot h)$

$H_m$ : maatgevende golfhoogte uit het spectrum van de inkomende golf op diep water =  $c_m H_s$

$H_o$ : hoogte op diep water van de regelmatige golven bij de proeven

De grootte van de golfsteilheidsparameter bij de proeven met regelmatige golven wordt als volgt gedefinieerd:

$$\xi_o = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_o/L_o}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_o/gT^2}} \quad (7.6)$$



T = golfperiode

De hiermee vergelijkbare, maatgevende golfsteilheidsparameter,  $\xi_{om}$ , in de werkelijkheid kan op vier manieren gedefinieerd worden:

$$\text{of } \xi_{om} = \xi_{op} = c_T \frac{\tan \alpha}{\sqrt{g_{oz}}} \quad (7.7A)$$

$$\text{of } \xi_{om} = \xi_{oz} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{g_{oz}}} \quad (7.7B)$$

$$\text{of } \xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_m / g T_p^2}} = c_T \frac{\tan \alpha}{\sqrt{c_m g_{oz}}} \quad (7.7C)$$

$$\text{of } \xi_{om} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_m / g T_z^2}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{c_m g_{oz}}} \quad (7.7D)$$

Hier wordt uitgegaan van definitie (7.7C)

Tenslotte wordt ook hier een hyperbolische formule gehanteerd:

$$\left[ \frac{H_o}{AD} \right]_{krit} = A \cdot \xi_{om}^B \cdot n_1 \quad (7.8)$$

#### 7.6 Kromme door meetpunten uit het verleden

Een samenvatting van de meetresultaten tot 1988, is gegeven in bijlage I. Het betreft een verzameling van een heleboel verschillende proeven: verschillende constructies, zij het alle steenzettingen; verschillende soorten golfbelasting: regelmatig en onregelmatig, tenslotte ook verschillende schalen, zij het alle grootschalig (minimaal 1:3). Die verschillen staan niet toe om alles op een hoop te gooien. Daarom is in bijlage I een indeling in een aantal groepen constructies gemaakt en is steeds onderscheid gemaakt naar regelmatige en onregelmatige golven.

In de bijlage is ook aandacht besteed aan de vraag of er wel een of enkele losse blokken aanwezig waren in het kleine stukje dijk dat in de goot is ingebouwd. Bij de laatste proevenserie (tabel B.I.2, lit 15, deel van figuren 5 en 6) zijn een aantal blokken zorgvuldig los gelegd. Bij de overige proeven is dat niet gebeurd.

Als men zou aannemen dat dat bij elke proef het geval is geweest, dan zou men de relatie tussen  $[H/AD]_{krit}$  en  $\xi$  kunnen weergeven door een kromme midden door de wolk van meetpunten. Uit de figuren is zonder meer duidelijk dat die wolken erg breed zijn. Op deze waarde zou de verwachtingswaarde van  $[H/AD]_{krit}$  vrij hoog worden, maar de spreiding erg groot: b.v.  $\sigma(\ln n_1) = \ln 1,5$ .

bladnummer : - 64 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Mede gezien die spreiding lijkt het niet onredelijk aan te nemen dat alleen de laagste waarden van  $[H/\Delta D]_{krit}$  betrekking hebben op losse blokken. In figuur 7.1 is een manier geschetst om die veronderstelling uit te werken. In deze figuur zijn de resultaten uit fig. BI-5 voor een zetting met een dichte toplaag van losse elementen op een grof filter weergegeven. De gezochte ondergrens is aangegeven door een getrokken lijn, die overeenkomt met een hyperbool volgens de formules (7.4) en (7.8), met als coëfficiënten:

Onregelmatige golf:  $A = 3,68$   $B = -0,513$   $\sigma(\ln n_1) = \ln 1,1$   
Regelmatige golf:  $A = 2,95$   $B = -0,858$   $\sigma(\ln n_1) = \ln 1,1$

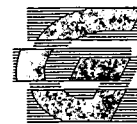
De grootte van de spreiding van  $n_1$  is geschat op basis van de wijziging van de kromme die zou optreden, als de resultaten van een aantal proeven zouden ontbreken.

Een aantal kanttekeningen bij deze gang van zaken is wel op zijn plaats. In de eerste plaats moet nog bezien worden of de karakterisering van de faalpunten door slechts twee parameters geschikt genoeg is. Met andere woorden: Is het fysisch verschijnsel zodanig dat als de werkelijke faalgrens voor het mechanisme van een los blok bekend zou zijn, deze faalgrens geprojecteerd naar het  $H_1/\Delta \cdot D$  - $\xi$  vlak een voldoende scherpe grens zou geven? In de tweede plaats is de methodiek van het onder de faalpunten aanveien van een kromme van de hyperbolische vorm en het vervolgens toevoegen van een onzekerheid aan deze grens niet sterk onderbouwd. De plaats en vorm van de kromme onder de faalpunten is arbitrair, de middels een spreiding toegevoegde onzekerheid is dat ook. In de derde plaats is ook het aantal faalpunten ondanks het grote aantal uitgevoerde proeven, toch zodanig laag dat, mocht er een methodiek bestaan, nog nauwelijks sterke uitspraken gedaan kunnen worden. Daartegenover staat dat het in de loop van de laatste jaren verworven inzicht toch sterk wijst in de richting van het bestaan van zo'n ondergrens in die buurt.

*Het bovenstaande is gebaseerd op de gegevens die tot 1988 beschikbaar waren. Later zijn meer proefresultaten beschikbaar gekomen en zijn alle gegevens nog verder geanalyseerd [18]. Er zijn daarbij een beperkt aantal constructieklassen onderscheiden. Voor elke klasse is gekozen:  $B = -0,67$ . Voor  $A$  is per constructieklasse een onder- en een bovengrens gevonden (de grootte "A" wordt met "F" aangeduid; bij onregelmatige golven wordt een equivalente golfhoogte genomen van  $H = 1,2 H_s$ ). Als men op basis daarvan een faalkansberekening zou willen maken, dan kan men het beste  $A$  als stochastische grootte beschouwen waarin alle sterkte onzekerheden verwerkt worden. De verwachtingswaarde moet dan ergens tussen onder- en bovengrens gekozen worden, terwijl de standaardafwijking zodanig gekozen moet worden dat die grenzen overeenkomen met bijvoorbeeld het 90% betrouwbaarheids interval.*

#### 7.7 Beschrijving voorbeeld: PROVO - steenzetting

Als eerste voorbeeld om de methode op toe te passen, is gekozen voor een zetting van Haringmanblokken op mijnsteen uitgevuld met steenslag, zoals beproefd in het kader van het PROVO-onderzoek [7]. Zie figuur 7.2. De hydraulische randvoorwaarden zijn de volgende:



Waterstand overeenkomstig Hoek van Holland (zie par.6.2), zij het dat de onnauwkeurigheid  $C_s$  constant wordt genomen:

$$C_{S_1} = 1,98 \text{ m}$$

$$C_{S_2} = 0,33 \text{ m}$$

$$\sigma(C_s) = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{dus } \sigma(S_v) = 0,42 \text{ m} \quad \mu(S_{v_1}) = 2,17 \text{ m} \quad \mu(S_{v100}) = 3,67 \text{ m}$$

De golfkarakteristieken worden als volgt gekozen (zie formule 6.15 en fig. 7.3, randvoorwaarden 1):

$$C_{H_1} = 0,5 \text{ m}$$

$$C_{H_2} = -0,5 \text{ m}^2$$

$$C_{H_3} = -0,6 \text{ m}$$

$$\sigma(\sigma_H) = 0,07 \text{ m}$$

$$\mu(G_{oz}) = 0,05 \quad \sigma(G_{oz}) = 0,005$$

Hieruit volgt,

$$\text{met } \sigma(H_s) \approx \sqrt{\left\{ \left[ \frac{\partial H_s}{\partial S_v} \cdot \sigma(S_v) \right]^2 + \left[ \frac{\partial H_s}{\partial C_H} \cdot \sigma(C_H) \right]^2 \right\}} = \sqrt{\frac{1}{2} C_{Hi} \frac{\sigma^2 S_v}{\mu(S_v)} + \sigma^2(C_H)}$$

|                              |                    |                                 |                          |
|------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| $\mu(S_v, 1 \text{ jaar})$   | $= 2,17 \text{ m}$ | $\sigma(S_v)$                   | $= 0,42 \text{ m}$       |
| $\mu(S_v, 100 \text{ jaar})$ | $= 3,69 \text{ m}$ | $\sigma(S_v)$                   | $= 0,42 \text{ m}$       |
| $\mu(H_s, 1 \text{ jaar})$   | $= 0,16 \text{ m}$ | $\sigma(H_s, 1 \text{ jaar})$   | $\approx 0,12 \text{ m}$ |
| $\mu(H_s, 100 \text{ jaar})$ | $= 0,56 \text{ m}$ | $\sigma(H_s, 100 \text{ jaar})$ | $\approx 0,10 \text{ m}$ |
| $\mu(\xi_{oz})$              | $= 1,28$           | $\sigma(\xi_{oz})$              | $\approx 0,13$           |

Deze constructie moet volgens de systematiek van bijlage I beschouwd worden als een "dichte toplaag op een fijn filter" (fig B I-6). Toch zal de constructie hier behandeld worden als een "dichte toplaag op een grof filter" (fig. BI-5) omdat daarvoor meer meetpunten beschikbaar zijn en de figuren weinig verschillen.

#### 7.8 Resultaten van faalkansberekening m.b.t. voorbeeld

Met de boven en in hoofdstuk 6 gegeven formules en grootheden zijn voor het voorbeeld van paragraaf 7.7 vier faalkansberekeningen gemaakt: 2 op basis van de proeven met onregelmatige golven en 2 op basis van de proeven met regelmatige golven; 2 voor een periode van 1 jaar ( $j = 1$ ) en 2 voor een periode van 100 jaar ( $j = 100$ ). De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 7.1 - 7.4.

bladnummer : - 66 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De resultaten voor onregelmatige golven zien er redelijk geloofwaardig uit. De kans op falen is niet erg groot, maar toch ook niet verwaarloosbaar klein. De faalkans voor een periode van 1 jaar is niet veel meer dan 1% van de faalkans voor een periode van 100 jaar. Dat is in overeenstemming met de belangrijke bijdrage van het stormvloedpeil aan de onzekerheid. Opvallend is de geringe bijdrage, ook bij het resultaat voor regelmatige golven, van de onzekerheden over de methoden  $M_1$  en  $n_1$ ,

De resultaten gebaseerd op proeven met regelmatige golven verschillen in hoge mate van die bij onregelmatige golven. De faalkans is voor een periode van 100 jaar zelfs meer dan 90%. Dat komt grotendeels doordat de sterkte  $[H/AD]_{krit}$  aanzienlijk kleiner is dan de overeenkomstige sterkte  $[H_s/AD]_{krit}$  (zie figuur 7.1), terwijl de belasting  $H_m$  juist veel groter is genomen dan de overeenkomstige belasting  $H_s$ . Het is de vraag of dit wel juist is. Met name kan men zich afvragen of die éne hoogste golf in een onregelmatig golfveld ( $H_m = 1,5 H_s$ ) wel maatgevend is, d.w.z. evenveel schade veroorzaakt als een regelmatige golf met dezelfde hoogte. Uit vergelijking van de beide grafieken van figuur 12 zou men eerder besluiten tot  $H_m < H_s$ , dus  $C_m < 1$ .

Voorlopig lijkt een waarde  $C_m = 1,0$  de meest waarschijnlijke.

## 7.9 Partiële veiligheidscoëfficiënten

Slechts voor één constructie met slechts één paar randvoorwaarden zijn hier faalkansberekeningen gemaakt. Daarom is het nog niet goed mogelijk betrouwbare partiële veiligheidscoëfficiënten vast te stellen. Toch zal hier een voorlopige aanbeveling worden gedaan van partiële veiligheidscoëfficiënten ten behoeve van de methode beschreven in par. 5.3.1. Hierin zijn nog niet de conclusies van [18] verwerkt.

Als grootschalige modelPROEVEN worden gedaan, waarbij gezorgd wordt dat tenminste één blok loszit op het meest kritische niveau ten opzichte van de waterstand en dat de stabiliteitsgrens bij meerdere waarden van de golfsteilheidsparameter gevonden wordt, waaronder de bij de ontwerpstorm verwachte golfsteilheidsparameters, wordt voorlopig het volgende aanbevolen:

- Neem als karakteristieke waarde voor het stormvloedpeil ( $S_v$ ) de 5% overschrijdingswaarde.
- Als de golfhoogte op een andere manier gegeven is, neem dan als karakteristieke waarde van de significante golfhoogte, de waarde die in de beschouwde periode een overschrijdingskans van 5% heeft.
- Neem als karakteristieke waarden voor de overige stochastische invoergrootheden de verwachtingswaarden. In het





geval van proeven met regelmatige golven betekent dat  $C_m = 1,0$ .

- Neem de volgende partiële veiligheidscoëfficiënten t.o.v. de karakteristieke waarden:

\* partiële veiligheidscoëfficiënt van 1,2 voor  $C_m$  (dus  $C_m = 1,2$ )

\* partiële veiligheidscoëfficiënt van 1,2 voor  $M_1$  (dus  $M_1 = 1,2$ )

\* partiële veiligheidscoëfficiënt van 1,1 à 1,3 voor  $n_1$  (dus  $n_1 = \frac{1}{1,1}$  à  $\frac{1}{1,3}$ ) afhankelijk van het aantal proeven en de gevonden spreiding.

Als een zetting beoordeeld wordt op basis van in het verleden uitgevoerde proeven (BLACK BOX), dan wordt voorlopig aanbevolen om op dezelfde manier te werk te gaan als bij uitvoering van proeven, met dien verstande dat:

- de partiële veiligheidscoëfficiënt voor  $M_1$  groter wordt gekozen ( $M_1 > 1,2$ ) naarmate de te beoordelen zetting met zijn randvoorwaarden ( $\xi$ ) meer afwijkt van de beproefde zettingen (zie ook de indeling naar constructie typen, gemaakt in bijlage I).
- de partiële veiligheidscoëfficiënt voor  $1/n_1$  minimaal op 1,2 gesteld wordt en groter wordt gekozen naarmate het aantal beschikbare, betrouwbare proefresulten kleiner is.

bladnummer : - 68 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

## 8. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET ANALYTISCHE MODEL

### 8.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt allereerst het analytische model beschreven. Daarbij wordt een overzicht gegeven van alle benodigde formules, die aangevuld worden met coëfficiënten die de onzekerheid ervan vertegenwoordigen. Ook de kansverdelingen van deze coëfficiënten en van de invoergrootheden worden gegeven, waarmee alle gegevens voor de niveau II (hoofdklasse 3) faalkansberekeningen vastliggen (zie paragraaf 5.2).

De in- en uitvoer van een faalkansberekening voor het analytische model zijn in paragraaf 8.4 beschreven aan de hand van de PROVO-constructie.

Een groot aantal faalkansberekeningen zijn gemaakt voor twee constructie-typen bij verschillende randvoorwaarden, op basis waarvan partiële veiligheidscoëfficiënten zijn afgeleid. Hiermee zijn samen met de analytische formules veilige constructies te dimensioneren (niveau I, zie paragraaf 5.3.1).

Om dit te bereiken was het noodzakelijk een afbakening te geven van de toepasbaarheid van de formules, en daarna relevante constructies te selekteren die model staan voor alle constructie waarvoor het model toepasbaar is. Dit is beschreven in paragraaf 8.3. Het heeft geresulteerd in de selectie van twee constructie-typen met ieder een dozijn varianten.

Voor elke constructie zijn de veiligheidscoëfficiënten bepaald aan de hand waarvan een aanbeveling voor de benodigde coëfficiënten is gegeven (paragraaf 8.5). *Deze aanbevelingen zijn later herzien in [19].*

### 8.2 Overdrachtsfuncties

#### 8.2.1 Inleiding

Het beoordelingsmodel voor het faalmechanisme 'los blok uit toplaag' volgens het analytische model is uitvoerig beschreven in [1].

Voor de drie in paragraaf 3.3 genoemde overdrachtsfuncties zijn analytische uitdrukkingen beschikbaar, die onderstaand worden toegelicht (zie ook operationele foutenboom in figuur 2.5).

Voor overdrachtsfunctie I wordt het parametrisch drukkenmodel genomen. Op grond van vele metingen bij goot-proeven is een relatie gevonden tussen enerzijds de golfkarakteristieken op diep water ( $H_{si}$ ,  $T_p$  en  $h$ )

en de taludhelling ( $\alpha$ ) en anderzijds een aantal parameters die het stijghoogteverloop  $\phi(y,t)$  op het talud karakteriseren op een wijze die voor ons doel geschikt is. voor de beschouwde zettingtypen is èèn moment van belang: het moment vlak voor de golfklap. Op dit moment zijn twee grootheden van belang:  $\phi_b$  en  $\beta$  (zie schets in paragraaf 8.2.2).



Voor overdrachtsfunctie II wordt gebruik gemaakt van de analytische methode die Wolsink heeft ontwikkeld om de stijghoogte onder de zetting te berekenen uit  $\phi_b$  en  $\beta$  voor een (oneindig lange) zetting op een doorlatende tussenlaag (filter) en een ondoorlatende ondergrond. Uitgangspunt is quasi-stationaire, één-dimensionale, lineaire weerstandsstroming in de filterlaag. Een correctie-coëfficiënt  $\Gamma_b$  wordt toegepast om de stijghoogteverlaging weer te geven die een gevolg is van het toestromen van water naar de ruimte, die onder het blok vrijkomt, zodra het omhoog beweegt.

Voor overdrachtsfunctie III wordt hier aangenomen dat het (losse) blok uit de toplaag gaat zodra het stijghoogteverschil over het blok het eigen gewicht en de wrijving overschrijdt. De parameters  $\Gamma_{s1}$  en  $\Gamma_{s2}$  worden gebruikt in verband met respectievelijk de wrijvingsweerstand tussen het omhoogkomende blok en de omringende blokken en de traagheid die overwonnen moet worden om het blok met het meebewegende water een voldoende snelheid te geven tijdens de beperkte periode van overdruk.

In onderstaande paragrafen worden de verschillende overdrachtsfuncties uit [1], en uit andere bronnen, gememoreerd. Elke overdrachtsfunctie wordt aangevuld met één of meerdere stochastische coëfficiënten, die de onzekerheid van de overdrachtsfuncties weergeven. De volgorde waarin de verschillende formules aan de orde komen, komt overeen met die waarin ze gebruikt moeten worden in het rekenmodel.

De berekening van de stabiliteit van de toplaag omvat achtereenvolgens de volgende onderdelen:

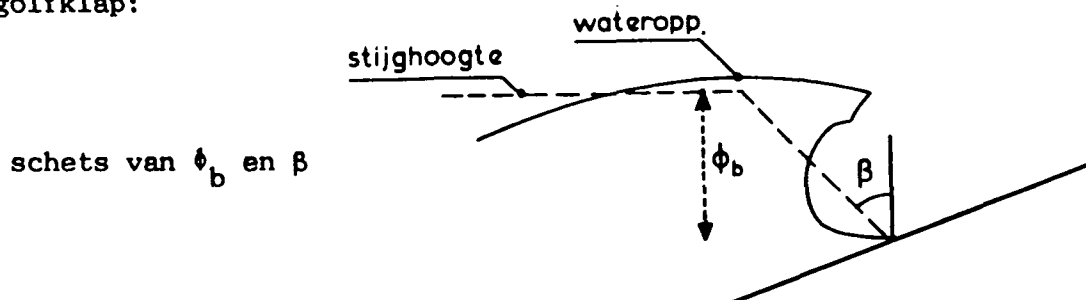
- bepaling uitwendige randvoorwaarden (paragraaf 6.2).
- berekening van maatgevende belasting op het talud (paragraaf 8.2.2)
- berekening van doorlatendheden en lek lengte (paragraaf 6.3)
- berekening van toelaatbaar stijghoogte-verval over de toplaag (sterkte) (paragraaf 8.2.3).
- berekening optredend stijghoogte-verval over de toplaag (belasting) (paragraaf 8.2.4).

In paragraaf 8.2.5 wordt tot slot een overzicht van de gebruikte invoervariabelen gegeven. Tevens zijn in die paragraaf aanbevolen typen en karakteristieken (zoals  $\mu$  en  $\sigma$ ) van de kansverdelingsfuncties opgenomen.

Het toepassingsgebied van het analytische rekenmodel wordt in 8.3.2 afgebakend.

### 8.2.2 Belasting op het talud (overdrachtsfunctie I)

De maatgevende belasting op het talud met een relatief ondoorlatende steenzetting (minder dan 15% open oppervlak) kan berekend worden met de formules uit [1] voor de stijghoogte-verdeling op het talud vlak vóór de golfklap:



$$\phi_b = H (0,17 \cot(\alpha) + 0,07) \xi^{-0,125 \cot(\alpha) + 1,22} \quad (8.1)$$

$$\beta = (26,6 + 2,45 \cot(\alpha)) \xi^{-0,215 \cot(\alpha) + 0,73} \cdot (h/H)^{0,05 \cot(\alpha) + 0,06} \quad (8.2)$$

$$\text{met: } \xi = \tan(\alpha) \left( \frac{H}{1,56 T_p^2} \right)^{-0,5} = c_T \tan(\alpha) G_{oz}^{-0,5} = \text{brekerparameter} \quad (8.3)$$

$\phi_b$  = grootste stijghoogte op het talud, ten opzichte van run-down (m)

$\beta$  = hoek van het drukfront ten opzichte van de vertikaal (°)

$\alpha$  = taludhelling tov de horizontaal (°)

De onzekerheid in deze formules wordt als volgt geïntroduceerd:

$$\phi_b = c_\phi H (0,17 \cot(\alpha) + 0,07) \xi^{-0,125 \cot(\alpha) + 1,22} \quad (8.4)$$

$$\beta = c_\beta (26,6 + 2,45 \cot(\alpha)) \xi^{-0,215 \cot(\alpha) + 0,73} \cdot (h/H)^{0,05 \cot(\alpha) + 0,06} \quad (8.5)$$

met:  $c_\phi$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_b$  (-)

$c_\beta$  = onzekerheid in formule voor  $\beta$  (-)

**OPMERKING:** De formules zijn na 1988 vervangen door formules die een iets betere fit opleveren (zie M1795/M1881, deel XVII, sectie 3). Het verschil is hier niet van wezenlijk belang.

Voor de lokale afschuiving is tenslotte ook van belang:

$$d_s (=R_d) = c_{ds} \cdot 0,11 \cdot H \cdot (\xi^2 \cot \alpha)^{0,1} \quad \text{met} \quad R_d/H \leq 1,5 \quad (8.5^*)$$



### 8.2.3 Maximaal toelaatbaar verval over de toplaag (overdrachtsfunctie III)

Het maximaal toelaatbare verval over de toplaag kan opgevat worden als de sterkte van de zetting. In [1] is dit als volgt in formule-vorm weergegeven:

$$R = \Delta D \cos(\alpha) (\Gamma_{s1} + \Gamma_{s2} - 1) \quad (8.6)$$

met:  $R$  = sterkte van zetting (m)

$$\Delta = \text{relatieve soortelijke massa van blok} = \rho_s / \rho - 1 \quad (-)$$

$$\rho_s = \text{soortelijke massa van blok (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho = \text{soortelijke massa van water (kg/m}^3\text{)}$$

$$\Gamma_{s1}, \Gamma_{s2} = \text{invloedsfactoren } (-)$$

De grootte van  $\Gamma_{s1}$ , die de invloed van de blokwrijving weergeeft, is als volgt te berekenen:

- als  $D/B > f_b$ :

$$\Gamma_{s1} = 1 + c_w f_b \tan(\alpha) \quad (8.7)$$

als  $D/B < f_b$  en  $\zeta D/B < \tan(\alpha)$ :

$$\Gamma_{s1} = \max\left\{ 1 + c_w \frac{D}{B} \tan(\alpha) ; 1 + c_w \left[ \frac{1 + f_b^2 \frac{B}{D} \tan(\alpha)}{1 + \zeta f_b^2} - 1 \right] \right\} \quad (8.8)$$

- als  $D/B < f_b$  en  $\zeta D/B > \tan(\alpha)$ :

$$\Gamma_{s1} = 1 + c_w \frac{D}{B} \tan(\alpha) \quad (8.9)$$

Met:  $f_b$  = wrijvingscoëfficiënt van de blokken (-)

$\zeta$  = coëfficiënt die afhankelijk is van de blokvorm (-)

$c_w$  = onzekerheidsfaktor (-)

De grootte van  $\Gamma_{s2}$ , die de invloed van de traagheid van het blok weergeeft, is als volgt te berekenen:

$$\Gamma_{s2} = 1 + 1,78 c_{tr} \cdot \frac{\varepsilon D (\Delta + 2)}{g \Delta t_o^2 \cos(\alpha)} \quad (8.10)$$

bladnummer : - 72 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

met:  $\epsilon$  = toelaatbare relatieve blokbeweging (tov de blokdikte) (-)  
 $t_o$  = duur van de overbelaste situatie (s)  
 $c_{tr}$  = onzekerheidsfactor in formule voor invloed van traagheid (-)

Ondanks dat de grootte van  $t_o$  nog niet experimenteel is vastgesteld, mag verwacht worden dat het afhankelijk is van de golfperiode. Het volgende wordt voorgesteld:

$$t_o = c_{to} (0,25 + T_p/20) \quad (8.11)$$

met:  $c_{to}$  = onzekerheidsfactor voor duur overbelaste situatie (-)

#### 8.2.4 Maximaal optredende verval over de toplaag (overdrachtsfunctie II)

Het maximaal optredende verval over de toplaag kan gezien worden als de maatgevende belasting op de toplaag. In [1] is dit als volgt in formulevorm weergegeven:

$$S = c_{\phi_w} \phi_w / \Gamma_b \quad (8.12)$$

met:  $S$  = maatgevende belasting = verval over toplaag (m)  
 $\phi_w$  = verval over toplaag, berekend met de methode uit [6] (m)  
 $\Gamma_b$  = invloedsfactor met betrekking tot de toestroming naar een bewegend blok (-)  
 $c_{\phi_w}$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_w$  (-)

Een eerste benadering van het verval over de toplaag kan gegeven worden met de formule die in [1] is afgeleid:

$$\phi_w = \left\{ \frac{\lambda}{2 \tan(\alpha) \tan(\beta)} (1 - e^{-\tan(\alpha) \tan(\beta) \phi_b / \lambda}) + \lambda/2 \right\} \{1 - e^{-2\phi_b / \lambda}\} \quad (8.13)$$

De grootte van  $\Gamma_b$  is met de volgende formule te berekenen (volgens [1] geldt:  $\Gamma_b = \Gamma_{b1} + \Gamma_{b2} - 1$ . Hier wordt  $\Gamma_{b1} = 1$  gesteld.):

$$\Gamma_b = 1 + \frac{c_{toe} \epsilon D \sqrt{B L \tan(\alpha)}}{\pi \Gamma_s \Delta t_u \lambda k'} \left( 0,56 + 0,18 \ln(\sqrt{B L \sin(\alpha)} / \lambda) \right) \quad (8.14)$$



met:  $c_{toe}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot de formule voor  
toestroming (-)

$$t_u = \text{duur van de beweging} = 1,5 c_{tu} t_o \quad (\text{s}) \quad (8.15)$$

$c_{tu}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot formule voor de duur  
van de beweging (-)

Voor  $\Gamma_b$  geldt dat de gegeven formule onrealistisch hoge waarden kan opleveren als ze toegepast worden buiten het geldigheidsgebied. Als maximaal waarde voor  $\Gamma_b$  kan 1,5 aangehouden worden (zie ook paragraaf 8.3.2).

### 8.2.5 Overzicht van gebruikte invoervariabelen

In de vorige paragrafen zijn de formules gegeven waarmee een probabilistische berekening van de stabiliteit van de toplaag mogelijk is. De benodigde invoergrootheden zijn onderstaand samengevat:

$j$  = duur van de beschouwde periode (aantal jaren) (-)

$c_{s1}$   $c_{s2}$   $c_{s4}$  = coëfficiënten in de formules voor het stormvloedpeil (m)

$c_{s3}$  = coëfficiënt in de formules voor het stormvloedpeil (-)

$c_H$   $c_{H1}$   $c_{H3}$  = coëfficiënten in de formule voor de significante golfhoogte (m)

$c_{H2}$  = coëfficiënt in de formule voor de significante golfhoogte (m<sup>2</sup>)

$d$  = diepte van teen van constructie tov NAP (m)

$G_{oz}$  = golfsteilheid op diep water, berekend met de gemiddelde golfperiode (-)

$c_d$  = brekerindex ( $\mu(c_d) \approx 0,6$ ) (-)

$c_m$  = quotiënt van  $H_{max}$  en  $H_s$  ( $\mu(c_m) \approx 1,5$ ) (-)

$c_T$  = quotiënt van  $T_z$  en  $T_p$  ( $\mu(c_T) \approx 1,2$ ) (-)

$\alpha$  = taludhelling (°)

$n_u$  = porositeit van uitvullaag (-)

$D_{u15}$  = korrelgrootte van de uitvullaag die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)

$n_m$  = porositeit van de mijnsteen (-)

$D_{m15}$  = korrelgrootte van de mijnsteen die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)

bladnummer : - 74 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

$n_g$  = porositeit van de gatvulling (-)  
 $D_{g15}$  = korrelgrootte van de gatvulling die door 15  
gewichtsprocenten wordt onderschreden (m)  
 $v$  = viscositeit van het water ( $m^2/s$ )  
 $i_s$  = schatting van maatgevend verhang in filter // toplaag (-)  
 $D$  = blokdikte (m)  
 $B$  = blokbreedte (m)  
 $L$  = bloklengte (evenwijdig aan de dijkas) (m)  
 $s$  = spleetbreedte (m)  
 $a_g$  = lineaire weerstandscoefficiënt van geotextiel (s/m)  
 $b_g$  = kwadratische weerstandscoefficiënt van geotextiel ( $s^2/m^2$ )  
 $T_g$  = dikte van geotextiel (m)  
 $B'$  = gatafstand loodrecht op dijkas, langs het talud gemeten (m)  
 $L'$  = gatafstand evenwijdig aan dijkas, langs het talud gemeten  
(m)  
 $A_g$  = gatoppervlak ( $m^2$ )  
 $i_t$  = schatting van het maatgevende verhang over de toplaag (-)  
 $b_u$  = dikte uitvullaag (m)  
 $b_m$  = dikte van mijnsteenlaag (m)  
 $\Delta$  = relatieve soortelijke massa van de blokken (-)  
 $f_b$  = wrijvingscoëfficiënt van de blokken (-)  
 $\zeta$  = coëfficiënt die afhankelijk is van de blokvorm (-)  
 $\epsilon$  = toelaatbare relatieve blokbeweging (tov de blokdikte) (-)  
 $c_H$  = coëfficiënt die de onzekerheid van de formule voor de  
significante golfhoogte weergeeft (m)  
 $c_\phi$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_b$  (-)  
 $c_\beta$  = onzekerheid in formule voor  $\beta$  (-)  
 $c_{\phi_w}$  = onzekerheid in formule voor  $\phi_w$  (-)  
 $c_{af}, c_{bf}$  = onzekerheidsfactoren in de formules voor de  
filterdoorlatendheid (-)  
 $c_{tr}$  = onzekerheidsfactor in formule voor invloed van traagheid (-)  
 $c_{to}$  = onzekerheidsfactor in formule voor duur overbelaste situatie  
(-)  
 $c_{toe}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot de formule voor  
toestroming (-)  
 $c_{tu}$  = onzekerheidsfactor met betrekking tot formule voor de duur  
van de beweging (-)  
 $c_w$  = onzekerheidsfactor in de formule voor de invloed van de  
wrijving (-)





$c_{k'}$  = onzekerheidsfaktor voor  $k'$  (-)

Bovenstaande variabelen zijn stochastisch van aard (met uitzondering van  $j$ ) en moeten bijvoorbeeld beschreven worden met een verwachtingswaarde en een standaardafwijking. Op basis van de geconstateerde afwijking van de gebruikte formules, ten opzichte van de metingen die aan de formules ten grondslag lagen, is onderstaand een schatting gegeven van de waarde van de verschillende onzekerheidsfactoren. In paragraaf 8.4 worden middels een voorbeeld waarden gegeven voor de andere onzekerheden.

Voor een groot aantal onzekerheidsfactoren kan aangenomen worden dat ze een normale verdeling hebben. Ze worden gekarakteriseerd door een verwachtingswaarde en een standaardafwijking:

| <u>faktor</u> | <u><math>\mu</math></u> | <u><math>\sigma</math></u> | <u>[eenheid]</u> | <u>opmerking</u>                |
|---------------|-------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|
| $c_H$         | 0                       | 0,69                       | m                | Hoek van Holland (form. (6.14)) |
| $c_\phi$      | 1                       | 0,1                        | -                |                                 |
| $c_\beta$     | 1                       | 0,1                        | -                |                                 |
| $c_{\phi_w}$  | 1                       | 0,1                        | -                |                                 |
| $c_w$         | 1                       | 0,1                        | -                |                                 |
| $c_{tr}$      | 1                       | 0,2                        | -                |                                 |
| $c_{to}$      | 1                       | 0,3                        | -                |                                 |
| $c_{toe}$     | 1                       | 0,3                        | -                |                                 |
| $c_{tu}$      | 1                       | 0,2                        | -                |                                 |

Door de onzekerheidsfactoren  $c_w$  tot en met  $c_{toe}$  een normale verdeling te geven wordt bewerkstelligd dat de bovengrenzen van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de coëfficiënten  $\Gamma_s$  en  $\Gamma_b$  minder ver van het gemiddelde verwijderd liggen, dan de ondergrenzen. Hiermee is de gedachte, dat de coëfficiënten niet zo'n extreem hoge waarde kunnen hebben, min of meer gekwantificeerd.

bladnummer : - 76 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De onzekerheidsfactoren met betrekking tot de doorlatendheidsformules kunnen het best beschreven worden met een lognormale verdeling. De waarde van  $\sigma$  is voor een log-normale verdeling als volgt te berekenen uit het quotient van de waarde op de rand van het 95% betrouwbaarheidsinterval en de verwachtingswaarde:

$$\sigma = \frac{\mu}{2} \ln(f) \quad (8.16)$$

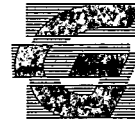
met:  $f$  = quotient van de waarde op de rand van het 95%  
betrouwbaarheidsinterval en de verwachtingswaarde (-)

Aannemende dat  $a_f$  en  $b_f$  een faktor 2 en  $k'$  een faktor 3 kunnen afwijken van het gemiddelde, betekent voor  $\sigma$  het volgende (afgeronde waarden):

| <u>faktor</u> | <u>mediaan</u> | <u><math>\sigma</math></u> | <u>[eenheid]</u> |
|---------------|----------------|----------------------------|------------------|
| $c_{af}$      | 1              | 0,4                        | -                |
| $c_{bf}$      | 1              | 0,4                        | -                |
| $c_{k'}$      | 1              | 0,5                        | -                |

Ter vereenvoudiging wordt de verwachtingswaarde gelijk gesteld aan de mediaan.

bladnummer : - 77 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



### 8.3 Inventarisatie van karakteristieke constructies

#### 8.3.1 Inleiding

Karakteristieke constructies zijn constructies die model kunnen staan voor een bepaalde categorie. In een bepaalde categorie verschillen de constructies weinig, zodat dezelfde veiligheidsfactoren te gebruiken zijn. Ten einde reële categorieën te kunnen onderscheiden is het van belang eerst de grenzen van het toepassingsgebied van de formules uit de vorige paragrafen te bepalen. Door vervolgens met probabilistische berekeningen voor diverse constructies de veiligheidscoëfficiënten te bepalen is het mogelijk om te beoordelen of verschillende constructie tot dezelfde categorie behoren. Bepalend hiervoor is of de berekende veiligheidscoëfficiënten sterk verschillen of dat er slechts marginale verschillen zijn.

In onderstaande paragrafen zijn eerst de grenzen van het toepassingsgebied verkend en vervolgens zijn er een groot aantal relevante constructies geselecteerd. In hoofdstuk 8.5 zijn hiervoor de veiligheidscoëfficiënten berekend. Met die resultaten is in dat hoofdstuk tevens aangegeven welke constructies tot dezelfde categorie behoren.

#### 8.3.2 Grenzen van het toepassingsgebied

Een nauwkeurige en volledige afbakening van de grenzen van het toepassingsgebied van de in de vorige hoofdstukken gegeven formules is helaas ondoenlijk, omdat het aantal variabelen leidt tot een bijna oneindig aantal constructie-varianten. Ten einde in voorkomende gevallen te kunnen beoordelen of de stabiliteit van een bepaalde constructie met de formules kan worden berekend, is onderstaand een lijst beoordelingscriteria gegeven:

bladnummer : - 78 -  
ons kenmerk : CO-291810  
datum : juli 1988

- 1 relatieve golfhoogte:  $0.5 \leq H/(\Delta D) \leq 10$  (ofwel:  $0.3 \leq H_g/(\Delta D) \leq 7$ )
- 2 blokdikte (m):  $0.1 \leq D \leq 0.5$
- 3 dikte-breedte verhouding:  $0.25 \leq D/B \leq 2$
- 4 breedte-lengte verhouding:  $0.33 \leq B/L \leq 3$
- 5 dikte filterlagen:  $b_u < b_m$  (of  $b_m = 0$ )
- 6  $b_u + b_m < \max(\lambda/\sin(\alpha), 5 D)$
- 7 doorlatendheid filterlagen:  $k_u > k_m$  (als er twee filterlagen zijn)
- 8  $k_u > 2 k'$
- 9 korrelgrootte uitvullaag:  $D_{f15u} \geq 2 \text{ mm}$
- 10 taludhelling:  $0.2 \leq \tan(\alpha) \leq 0.5$
- 11 spleetbreedte (m):  $0.001 \leq s \leq \frac{1}{20} \min(B,L)$
- 12 relatieve waterdiepte:  $2 \leq h/H \leq 15$
- 13 golfsteilheid:  $0.01 \leq G_{oz} \leq 0.06$
- 14 invloedsfactoren:  $\Gamma_{s1} < 1.5$
- 15  $\Gamma_{s2} < 1.5$
- 16  $\Gamma_b < 1.5$
- 17 invloed golfhoogte op belasting:  $\partial S/\partial H > 0.2$

Een aantal van bovenstaande criteria vloeien voort uit het feit dat empirische formules niet te ver buiten het meetbereik (ervaringsgebied) kunnen worden toegepast. Dit geldt voor criterium 2 tot en met 4 en 9 tot en met 16.

Criterium 1 is vooral gebaseerd op ervaring met grootschalig modelonderzoek. Criterium 5 en 7 zijn een gevolg van de definitie van een uitvullaag, waarmee ook tijdens de afleiding van de formules rekening gehouden is.

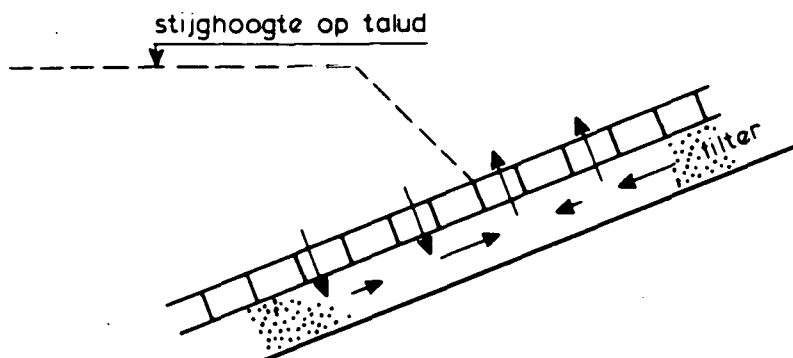
Criterium 6 houdt verband met de aanname dat de stroming in het filter geschematiseerd kan worden tot een 1-dimensionale. Is de totale filterlaag dikker dan vermeldt, dan zijn de formules met enige

bladnummer : - 79 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



voorzichtigheid wel bruikbaar, mits er een effectieve filterlaagdikte wordt verondersteld die wel aan het criterium voldoet.

Criterium 8 is van belang gezien de aanname dat de stroming in de toplaag uitsluitend loodrecht op het talud plaatsvindt en in het filter uitsluitend evenwijdig aan het talud:

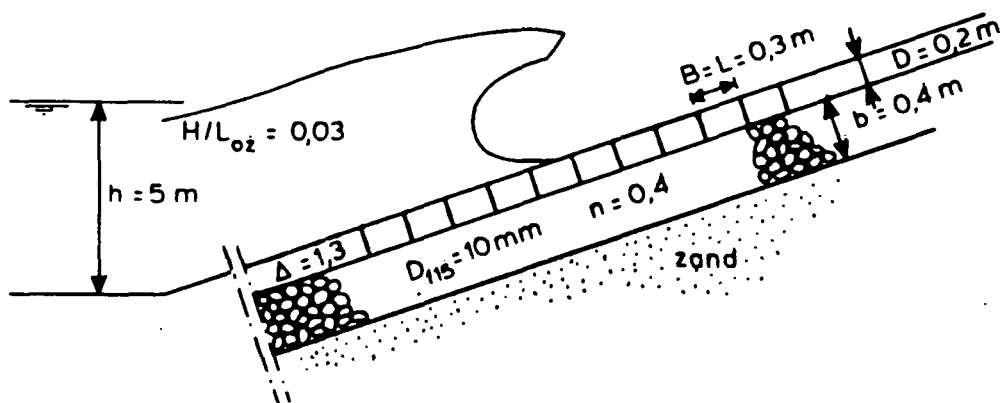


Deze aanname is pas juist als dit ook de weg van de minste weerstand is, dus als het filter een duidelijk kleinere stromingsweerstand heeft dan de toplaag.

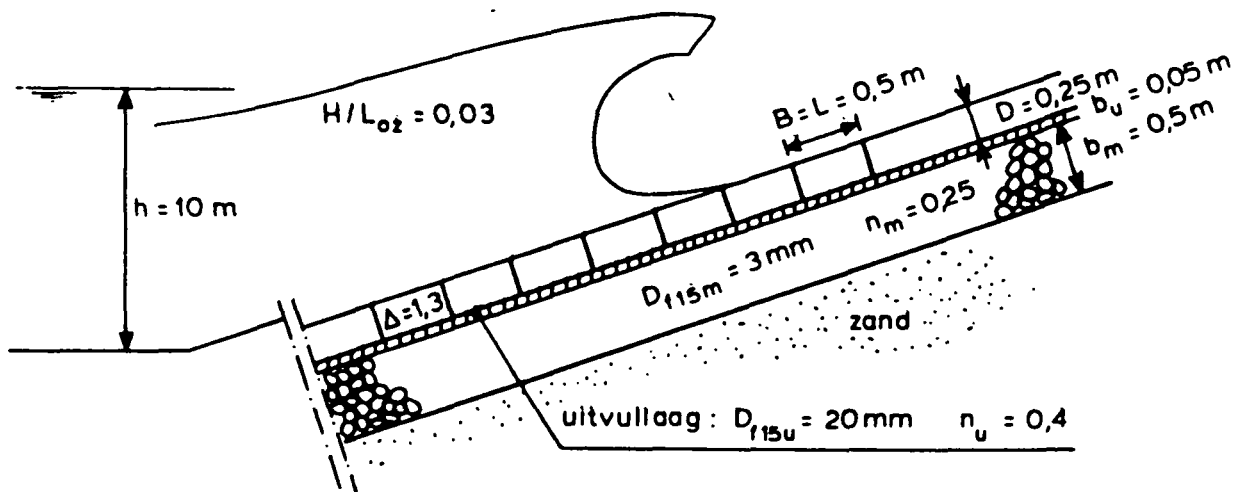
Criterium 17 houdt verband met de ervaring dat de verhoging van de golfhoogte altijd een duidelijke verhoging van de belasting (verschilddruk over de toplaag) veroorzaakt. Vooral bij een korte lek lengte en kleine blokdikte geven de formules een ongeloofwaardige verhouding tussen de golfhoogte vergroting en de verschilddruk vergroting. De relatieve golfhoogte bij bezwijken,  $H/(\Delta D)$ , wordt dan ook erg groot (criterium 1). Bij een gelijdelijke verkorting van de lek lengte wordt vaak eerst niet meer aan criterium 17 voldaan, waarna bij een nog iets kortere lek lengte ook niet meer aan criterium 1 wordt voldaan.

bladnummer : - 80 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

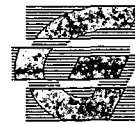
Uitgaande van twee totaal verschillende constructies is er aan de hand van de gegeven criteria onderzocht bij welke waarde van een individuele grootheid de formules niet meer toepasbaar zijn. Deze constructies zijn onderstaand geschetst, terwijl de diverse grootheden in tabel 8.1 (achter in dit rapport) zijn vermeld.



KONSTRUKTIE A: kleine blokken op één filterlaag



KONSTRUKTIE B: grote blokken op uitvullaag op mijnsteen



bladnummer : - 81 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Als een bepaalde grootte wordt gevarieerd, dan wordt op een gegeven moment de grens van de toepasbaarheid van de formules gevonden. Dit is gedaan voor onderstaande variabelen, waarbij steeds één variabele is gewijzigd en gezocht is bij welke spleetbreedte de grens bereikt wordt.

Constructie A, kleine blokken op een filterlaag

- blokdikte gevarieerd van 0.1 tot 0.5 m, waarbij de waterdiepte is vergroot als de bezwijkhoogte groter dan de halve waterdiepte dreigde te worden. conclusie ten aanzien van toepasbaarheid: zie figuur 8.1.
- korrelgrootte filter gevarieerd van 5 tot 20 mm. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 5$  mm, tenzij  $D_{f15u} \approx 5$  mm, dan  $s \leq 3$  mm.
- taludhelling gevarieerd van  $\cot(\alpha) = 2.5$  tot 5. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 5$  mm, tenzij  $\cot(\alpha) \approx 5$ , dan  $s \leq 3$  mm.
- golfsteilheid gevarieerd van 0.01 tot 0.04. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 5$  mm.

Constructie B, grote blokken op uitvullaag op mijnsteen:

- blokdikte gevarieerd van 0.2 tot 0.3 m. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 1.9$  mm.
- dikte van de uitvullaag gevarieerd van 0.03 tot 0.1 m. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 3.5$  mm bij  $b_u = 0.1$  m en  $s \leq 1.7$  mm bij  $b_u = 0.03$  m.
- taludhelling gevarieerd van  $\cot(\alpha) = 3$  tot 5. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 1.9$  mm als  $\cot(\alpha) = 3$  en  $s \leq 1.2$  mm als  $\cot(\alpha) = 5$ .
- golfsteilheid gevarieerd van 0.02 tot 0.05. conclusie: toepasbaar als  $s \leq 1.9$  mm.

Voor enkele interessante variabelen is de volledige twee-dimensionale ruimte, gevormd door beide variabelen, afgezocht om alle toegestane combinatie van die variabelen te vinden. De resultaten hiervan zijn samengevat in figuur 8.1 en 8.2.

bladnummer : - 82 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Uit de gegeven resultaten kan geconcludeerd worden dat de toepasbaarheid voor een constructie met een filterlaag met relatief grof materiaal veel ruimer is dan voor een constructie met een uitvullaag en mijnsteen. Voor constructie A kan globaal gesteld worden dat de formules toepasbaar zijn als de spleetbreedte kleiner is dan orde 4 mm, behalve bij zeer dikke of zeer dunne blokken. Bij constructie B is de toepasbaarheid beperkt tot spleetbreedten tot orde 1.5 à 2 mm.

### 8.3.3 Karakteristieke constructies

Met als uitgangspunt de constructies A en B zijn er een groot aantal varianten opgesteld die representatief zijn voor het gehele toepassingsgebied met betrekking tot deze constructie-typen. De varianten zijn vermeld in tabel 8.2 en 8.3 (achterin dit rapport). Voor al deze varianten zijn middels probabilistische berekeningen de veiligheidscoëfficiënten bepaald. Als van twee varianten de veiligheids-coëfficiënten bijna gelijk zijn, dan behoren ze blijkbaar tot dezelfde categorie waarbij een van beide als karakteristieke constructie gekozen kan worden.

De probabilistische berekeningen, de bepaling van de veiligheidscoëfficiënten en de daaruit voortvloeiende conclusies zijn gerapporteerd in hoofdstuk 8.5.



bladnummer : - 83 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



#### 8.4 Faalkansberekening van de PROVO-constructie

De methode om de faalkans van een constructie te berekenen wordt in dit hoofdstuk uiteen gezet aan de hand van enkele fiktieve voorbeelden. Hiervoor is dezelfde constructie gebruikt als in hoofdstuk 7, namelijk de Oosterschelde-dijk uit [7] (provo-constructie, zie figuur 7.2). Deze constructie is van het type B (zie paragraaf 8.2.2).

Bovendien is de invloed van een marginale verandering gedemonstreerd aan de hand van een variant op de provo-constructie.

Uitgangspunt voor de berekeningen wordt gevormd door de overschrijdingsfrequentie van het stormvloedpeil, zoals dat gemeten is bij Hoek van Holland (zie formule 6.6). De verdeling wordt gekarakteriseerd door de volgende verwachtingswaarde en spreiding:

$$\mu(S_{vj}) = 2,17 + 0,33 \ln(j) \quad (8.17)$$

$$\sigma(S_{vj}) = 0,42 \text{ m}$$

Deze waarden zijn gelijk aan die uit paragraaf 7.5.

De onzekerheid van formule (6.6) wordt als volgt verdisconteerd:

$$S_v = S_{vj} + c_s \quad (8.18)$$

$$\mu(c_s) = 0$$

De waarde van  $\sigma(c_s)$  is volgens formule (8.8) afhankelijk van het stormvloedpeil. Gezien het feit dat dit in de berekening problemen van praktische aard veroorzaakt, wordt in dit voorbeeld een vaste waarde gekozen:

$$\sigma(c_s) = 0,1 \text{ m}$$

bladnummer : - 84 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

In figuur 7.3 is voor twee situaties het verband tussen het stormvloedpeil en de optredende golfhoogte te zien. Met de volgende coëfficiënten (zie formule (6.15)) wordt het getekende verbanden tussen  $H_g$  en  $S_v$  goed weergegeven:

randvoorwaarde 1 (overeenkomstig paragraaf 7.5):

$$c_{H1} = 0,5 \text{ m}$$

$$c_{H2} = -0,5 \text{ m}^2$$

$$c_{H3} = -0,6 \text{ m}$$

$$\sigma(c_H) = 0.07 \text{ m}$$

randvoorwaarde 2 (variant op randvoorwaarde van paragraaf 7.5):

$$c_{H1} = 0,2 \text{ m}$$

$$c_{H2} = -0,37 \text{ m}^2$$

$$c_{H3} = 0 \text{ m}$$

$$\sigma(c_H) = 0.07 \text{ m}$$

Het verschil tussen beide randvoorwaarden komt ook tot uiting in de verwachtingswaarde van de golfhoogte:

$$\text{randvw 1: } j = 1 \text{ jaar: } \mu(H_g) = 0.16 \text{ m}$$

$$j = 100 \text{ jaar: } \mu(H_g) = 0.56 \text{ m}$$

$$\text{randvw 2: } j = 1 \text{ jaar: } \mu(H_g) = 0.25 \text{ m}$$

$$j = 100 \text{ jaar: } \mu(H_g) = 0.61 \text{ m}$$

Met bovenstaande randvoorwaarden zijn er probabilistische berekeningen uitgevoerd met twee constructies en verschillende 'levensduren'  $j$ . Hiervoor is de advanced mean value methode gebruikt.



bladnummer : - 85 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

---

De dwarsdoorsnede van de eerste constructie is getekend in figuur 7.2. Deze constructie is beproefd in de Deltagoot, hetgeen gerapporteerd is in [7]. Tabel 8.4, achterin dit rapport, geeft een overzicht van de invoer voor de berekeningen. Enkele resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in de tabel op de volgende bladzijde:

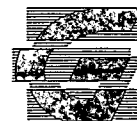
bladnummer : - 86 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

| levensduur j | randvw nr. | $\{H_g / (\Delta D)\}_{\text{bezwijken}}$ | faalkans            |
|--------------|------------|---|---------------------|
| 1            | 1          | 2,1                                       | $1,6 \cdot 10^{-3}$ |
| 10           | 1          | 2,2                                       | $9,9 \cdot 10^{-3}$ |
| 50           | 1          | 2,5                                       | $26 \cdot 10^{-3}$  |
| 100          | 1          | 2,6                                       | $35 \cdot 10^{-3}$  |
| 1            | 2          | 2,1                                       | $4,0 \cdot 10^{-3}$ |
| 100          | 2          | 2,7                                       | $46 \cdot 10^{-3}$  |

In deze tabel valt allereerst op dat het niet veel uitmaakt of men randvoorwaarde 1 of randvoorwaarde 2 kiest. De vorm van de  $H_g - S_v$  kromme (zie figuur 7.3) heeft dus geen grote invloed op de faalkans. Verder blijkt dat bij  $j=100$  de faalkans voor randvoorwaarde 1 ongeveer gelijk is aan die voor randvoorwaarde 2, terwijl bij  $j = 1$  het verschil veel groter is (verhoudingsgewijs). Er kan hieruit geconcludeerde worden dat in twee gevallen met gelijke  $H_g$  bij bezwijken de faalkans niet gelijk hoeft te zijn, maar dat de faalkans wel ongeveer gelijk is als de grootte van  $S_v$  bij bezwijken gelijk is.

De alternatieve provo-constructie, constructie 2 genaamd, is voor het grootste deel gelijk aan constructie 1. De verwachtingswaarde van de afmetingen van de blokken zijn veranderd:  $\mu(B) = \mu(L) = 0.4$  m,  $\mu(\Delta) = 1,3$ . Verder is er ook gerekend met wat minder steile golven ( $\mu(H_g / L_{oz}) = 0,04$ ). De grootte van  $\sigma$  is verder gelijk gehouden.

bladnummer : - 87 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



De belangrijkste resultaten zijn in onderstaande tabel samengevat:

| levensduur | randvw nr. | $\mu(H_s/L_{oz})$ | $\{H_s/(AD)\}_{\text{bezwijken}}$ | faalkans             |
|------------|------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1          | 1          | 0.05              | 1,9                               | $0,83 \cdot 10^{-3}$ |
| 100        | 1          | 0.05              | 2,4                               | $20 \cdot 10^{-3}$   |
| 1          | 1          | 0.04              | 1,8                               | $1,4 \cdot 10^{-3}$  |
| 100        | 1          | 0.04              | 2,4                               | $31 \cdot 10^{-3}$   |

Uit deze tabel kan geconcludeerd worden dat de invloed van de golfsteilheid in dit voorbeeld maar klein is.

In de tabellen 8.5 - 8.9 (achterin dit rapport) zijn de resultaten van enkele berekeningen meer in détail gegeven. In de laatste kolom is steeds het aandeel van de onzekerheid van een bepaalde variabele op de totale onzekerheid gegeven. Aan de hand van dit aandeel is een verklaring te geven voor de geconstateerde invloed van  $S_v$  en golfsteilheid  $G_{oz}$ .

Er is in het bovenstaande geconstateerd dat de invloed van de grootte van  $S_v$  bij bezwijken van de zetting groot is. Dit wordt verklaard door het grote aandeel dat  $S_v$  op de faalkans heeft, zoals te zien is in bijvoorbeeld tabel 8.5 (j=1: aandeel is 16,6%). De invloed van  $G_{oz}$  is daarentegen veel kleiner, hetgeen ook tot uiting komt in het aandeel in de onzekerheid: volgens tabel 8.9 slechts 1%.

bladnummer : - 88 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Er is tot nu toe uitgegaan van het feit dat er slechts een los blok in de zetting aanwezig is. Als er meerdere zijn, dan kan verwacht worden dat de faalkans groter is dan met één los blok. De situatie bij de verschillende losse blokken is zeker niet onafhankelijk, omdat zowel de ontwerpformules als de golfrandvoorwaarde op elke plaats langs de dijk gelijk zijn. Doorgaans zullen de verschillende losse blokken vele tientallen meters uiteen liggen, waardoor de geometrie-parameters wel volledig onafhankelijk verondersteld kunnen worden.

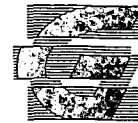
De mate van afhankelijkheid van de betrouwbaarheidsfunctie Z van twee losse blokken is in te schatten aan de hand van het aandeel dat elke parameter op de totale onzekerheid heeft. Daartoe groeperen we de percentages in drie categorieën:

- aandeel onzekerheid in golfrandvoorwaarde: orde 27%
- aandeel onzekerheid in geometrie parameters: orde 15%
- aandeel onzekerheid in formules: orde 58%.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat Z voor het grootste deel bepaald wordt door parameters die afhankelijk zijn (85%). Daardoor zal de faalkans van een dijk met x losse blokken veel kleiner zijn dan x maal de faalkans van een dijk met 1 los blok. Dit aspect wordt in hoofdstuk 13 gekwantificeerd.

De berekende faalkansen geven te zien dat de faalkans in j jaar niet j maal groter is dan in 1 jaar. Ook dit is te verklaren met het aandeel van een bepaalde parameter op de totale onzekerheid. Voor elk jaar geldt dat de geometrie-parameters en formules volledig afhankelijk zijn. Alleen de golfrandvoorwaarden zijn onafhankelijk, maar die bepalen slechts 27% van de faalkans.

Opgemerkt moet worden dat het mogelijk is dat bovenstaande conclusies niet geldig zijn voor andere situaties dan welke zijn onderzocht.



bladnummer : - 89 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### 8.5 Partiële veiligheidscoëfficiënten

*Het volgende is in [19] herzien. Het aantal partiële veiligheidscoëfficiënten is gereduceerd en de grootte ervan is objectiever bepaald, namelijk op basis van Deltagoot onderzoek.*

#### 8.5.1 Berekeningsmethodiek

De methode om te komen tot partiële veiligheidscoëfficiënten wordt in deze paragraaf uitgelegd aan de hand van het zelfde voorbeeld als in de vorige paragrafen.

De resultaten van die faalkansberekeningen zijn direct te gebruiken om partiële veiligheidscoëfficiënten  $\gamma_x$  te berekenen. Elke  $\gamma_x$  is gedefinieerd als het quotiënt van de waarde van een variabele in het ontwerppunt en de karakteristieke waarde:

$$\gamma_x = \frac{x_{\text{ontwerppunt}}}{x_{\text{KAR}}} \quad (8.19)$$

De karakteristieke waarde wordt gelijk aan de verwachtingswaarde gekozen als het verschil tussen ontwerppunt en  $\mu$  klein is ten opzichte van de standaardafwijking. In de andere gevallen is de waarde gekozen die een onder- of overschrijdingskans heeft van 5% (ongunstigste van beide), zodat ook de spreidingsgrootte in de karakteristieke waarde tot uiting komt (en dus in het berekeningsresultaat). Om praktische redenen is de 5%-waarde ook aangehouden bij de variabelen met een verwachtingswaarde nul en een  $\gamma$  ongelijk aan 1.

De karakteristieke waarde met een overschrijdingskans van 5% kan als volgt berekend worden (zie paragraaf 4.4):

$$\text{Gumbel verdeling van } S_v: S_{v\text{KAR}} = 1,98 - 0,33\{\ln(-\ln(1-0,05)) - \ln(j)\}$$

$$\text{Normale verdeling van } x: x_{\text{KAR}} = \mu(x) + 1,65 \sigma(x)$$

$$\text{Log normale verdeling van } x: x_{\text{KAR}} = x_{50} \exp\{ 1,65 \sigma(x)/\mu(x) \}$$

Bij benadering kan  $x_{50}$  vervangen worden door  $\mu(x)$ .

bladnummer : - 90 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

In de tabellen 8.5 - 8.9 (achterin dit rapport) zijn de waarden van het ontwerp punt, de karakteristieke waarde en de bijbehorende partiële veiligheidscoëfficiënten weergegeven. Het blijkt dat het ontwerp punt soms tussen de verwachtingswaarde en de karakteristieke waarde in ligt.

In die gevallen waarvoor geldt dat de partiële veiligheidscoëfficiënt  $\gamma$  minder dan 5% van 1 afwijkt, is het gelijk aan 1 gekozen. Dit is gedaan om het aantal  $\gamma$ 's te beperken.

Uit de tabellen blijkt dat de grootte van de diverse  $\gamma$ 's nauwelijks afhankelijk is van de invoergrootheden. Onderstaand worden de belangrijkste nader geanalyseerd om te komen tot een aanbeveling met betrekking tot het gekozen voorbeeld.

- onzekerheid stormvloedpeil  $c_s$ .  
Het aandeel van  $c_s$  op de totale onzekerheid is klein: orde 0,5%. De grootte ervan is ook klein (ten opzichte van  $S_v$ ): 0,002 à 0,025. Daarom wordt aanbevolen deze onzekerheid weg te laten.
- Onzekerheid op de significante golfhoogte  $c_H$ .  
Het aandeel van  $c_H$  is groot: 4 à 8%. De grootte ervan is vrij klein ten opzichte van  $H_g$ : maximaal 0,05, terwijl  $H_g$  orde 0,5 m is. Aanbevolen wordt om een multiplikatieve veiligheidscoëfficiënt aan  $H_g$  toe te voegen:  $\gamma_H = 1,1$ .
- Onzekerheid lineaire weerstandscoefficiënt van het filter  $c_{af}$ .  
Het aandeel van  $c_{af}$  is zeer groot: 14 tot 20%. De spreiding in de  $\gamma$  is echter klein: 0,65 à 0,70. Aanbeveling:  $\gamma_{caf} = 0,65$ .
- Onzekerheid kwadratische weerstandscoefficiënt van het filter  $c_{bf}$ .





bladnummer : - 91 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

- Het aandeel van  $c_{bf}$  is niet onbelangrijk: 1 tot 2%. De grootte van  $\gamma$  varieert tussen 0,83 en 0,85. Advies:  $\gamma_{bf} = 0,85$ .
- Onzekerheid in de stijghoogte op het talud  $c_{\phi}$ .  
Aandeel in totale onzekerheid: orde 2%. De grootte van  $\gamma$  is maar weinig van 1 afwijkend: 1,02 tot 1,04. Daarom wordt geadviseerd deze onzekerheid weg te laten.
  - Onzekerheid in de spleetbreedte  $s$ .  
Het aandeel van de onzekerheid in  $s$  is groot: 6 tot 12%. Geadviseerd wordt om een waarde te gebruiken met 5% onderschrijdingskans en die vervolgens met een  $\gamma_s = 1,15$  te vermenigvuldigen.
  - Onzekerheid in de formule voor de toplaagdoorlatendheid  $c_k$ .  
Aandeel: 6 tot 8%. Grootte: 0,77 tot 0,84. Advies:  $\gamma_{ck'} = 0,8$ .
  - Onzekerheid in duur van overbelaste situatie  $c_{to}$ .  
Grootte: 1,15 à 1,20. Advies:  $\gamma_{cto} = 1,20$ .
  - Onzekerheid in duur van blokbeweging  $c_{tu}$ .  
Grootte: ongeveer 1,06. Advies:  $\gamma_{ctu} = 1,05$
  - Onzekerheid in maximaal toelaatbare blokbeweging  $\epsilon$ .  
Grootte: 0,82 tot 0,87. Advies:  $\gamma_{\epsilon} = 0,85$ .
  - Onzekerheid in berekende verschilddruk  $\phi_w$ .  
Grootte: 1,05 à 1,07. Advies:  $\gamma_{\phi_w} = 1,05$ .
  - Onzekerheid in  $\Gamma_b$ .  
Grootte: 0,76 à 0,83. Advies:  $\gamma_{\Gamma_b2} = 0,8$
  - Onzekerheid in het maatgevende stormvloedpeil  $S_v$ .

bladnummer : - 92 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De grootte van  $S_v$  is voor een belangrijk deel bepalend voor de grootte van de faalkans. De grootte van  $\gamma_{Sv}$  wordt daarom in relatie met de faalkans beschouwd:

| zetting | randvw. | j   | faalkans | $\gamma$ |
|---------|---------|-----|----------|----------|
| 1       | 1       | 1   | 0,002    | 1,00     |
| 1       | 2       | 1   | 0,004    | 0,94     |
| 2       | 1'      | 1   | 0,001    | 1,00     |
| 1       | 1       | 100 | 0,035    | 0,85     |
| 1       | 2       | 100 | 0,046    | 0,83     |

Hieruit blijkt dat als  $j=1$  en de gewenste faalkans ongeveer 0,002 is, de benodigde  $\gamma_{Sv}$  gelijk aan 1 is. Als  $j=100$  en de gewenste faalkans is 0,04, dan is een  $\gamma_{Sv}$  van 0,85 noodzakelijk. Steeds moet gebruik gemaakt worden van het stormvloedpeil met overschrijdingskans van 5% in  $j$  jaren.

In sommige gevallen is het ontwerppunt minder van de verwachtingswaarde verwijderd dan de 5%-waarde. Het lijkt dan logisch om niet een 5% over- of onderschrijdingskans te hanteren, maar bijvoorbeeld de 20%-waarde. Ten einde de rekenmethode niet onnodig gecompliceerd te maken en aan te blijven sluiten bij de alom gehanteerde interpretatie van het begrip 'karakteristieke waarde', is hier toch steeds gekozen voor de 5%-waarde.

bladnummer : - 93 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



Met behulp van de partiële veiligheidscoëfficiënten en de karakteristieke waarden kan nu een steenzetting ontworpen worden, zonder dat er een probabilistische som gemaakt hoeft te worden. Daartoe berekent men de karakteristieke waarden zoals bovenstaand aangegeven is, vermenigvuldigt ze met de partiële veiligheidscoëfficiënten en bepaalt dan met een deterministische som de sterkte en de belasting. Zijn deze waarden aan elkaar gelijk, dan mag geconcludeerd worden dat de constructie een faalkans heeft van ongeveer 0,002 per jaar of 0,04 per 100 jaar. Uiteraard geldt dit slechts voor de onderzochte constructies. Voor conclusies met een breder toepassingsgebied wordt verwezen naar de volgende paragraaf.

De aanbevolen partiële veiligheidscoëfficiënten en de karakteristieke waarden zijn samengevat in tabel 8.10 (achterin rapport). Bij wijze van controle is constructie 1 met randvoorwaarde 1 en levensduur van 100 jaar deterministisch doorgerekend. Hierbij is de blokdikte  $D$  zodanig gekozen dat de sterkte  $R$  (zie formule (8.6)) en belasting  $S$  (zie formule (8.12)) gelijk zijn. Na enig rekenwerk blijkt dat dit bereikt wordt bij  $D = 24$  cm.

Onderstaand zijn enkele tussenresultaten vermeld.

Stormvloedpeil:  $S_v = 3,808$  m

Golfperiode:  $T_p = 3,446$  s

Duur overbelaste situatie:  $t_o = 0,5068$  s

Ontwerp golfhoogte:  $H_{1\%} = 0,9651$  m

Brekerparameter:  $\xi_{spo} = 1,533$

$[ H_s / (AD) ]_{\text{bezwijken}} = 2,28$

Doorlatendheid uitvullaag:  $k_u = 158$  mm/s

bladnummer : - 94 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Doorlatendheid mijnsteen:  $k_m = 13 \text{ mm/s}$

Doorlatendheid toplaag:  $k' = 2,2 \text{ mm/s}$

Leklengte:  $\lambda = 0,401 \text{ m}$

$\Gamma_s = 1,22$

$\Gamma_b = 1,49$

Sterkte:  $R = 0,3306 \text{ m}$

Belasting:  $S = 0,3301 \text{ m}$

Uit bovenstaande resultaten blijkt dat de benodigde blokdikte volgens de niveau I berekening 20% groter is dan met een niveau II berekening. Dit is een gevolg van het feit dat het aantal veiligheidscoëfficiënten klein is gehouden.

Met het ontwerp met  $D = 0,24 \text{ m}$  is een probabilistische berekening gemaakt. Het resultaat is een faalkans van 0,01, hetgeen duidelijk lager is dan de beoogde faalkans van 0,04.

Er kan geconcludeerd worden dat met de voorgestelde veiligheidscoëfficiënten een veiliger ontwerp wordt gerealiseerd dan met een niveau II berekening.

#### 8.5.2 Resultaten voor constructie A en B

In deze paragraaf worden de resultaten beschreven van de probabilistische berekeningen die leiden tot partiële veiligheidscoëfficiënten. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de constructies die weergegeven zijn in tabel 8.2 en 8.3. Deze constructies zijn geselecteerd na afbakening van het toepassingsgebied van de gebruikte formules (zie paragraaf 8.3) en zijn representatief voor het toepassingsgebied met betrekking tot de twee geselecteerde constructie-typen A en B. Een schets van deze typen is gegeven in paragraaf 8.3.2.



bladnummer : - 95 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Voor de hydraulische randvoorwaarden is gebruik gemaakt van de formules uit paragraaf 6.2 met de volgende coëfficiënten:

$$c_{S1} = 2.0 \text{ m}$$

$$c_{S2} = 0.10 \text{ m}$$

$$\sigma(c_S) = 0.1 \text{ m}$$

$$c_{H1} = 0.5 \text{ m}$$

$$c_{H2} = -0.5 \text{ m}^2$$

$$c_{H3} = -0.6 \text{ m}$$

$$\sigma(c_H) = 0.07 \text{ m}$$

Ten opzichte van de randvoorwaarden uit paragraaf 7.5 is de waarde van  $c_{S2}$  verkleind, waardoor de  $S_v$  en  $H_s$  kleiner zijn (als  $j=1$  dan:  $\mu(S_v) = 2.06 \text{ m}$  en  $\mu(H_s) = 0.13 \text{ m}$ ). Alleen voor constructie B3 zijn hogere golven gebruikt, omdat de faalkans te klein dreigde te worden. Dit is gerealiseerd door  $c_{H3} = -0.4$  te kiezen.

#### Constructie-type A.

De belangrijkste resultaten van de probabilistische berekeningen zijn weergegeven in tabel 8.11 en 8.12. Aan de hand van de grootte van de faalkans zijn er 5 groepen te onderscheiden:

I: constructie A7, faalkans:  $0.007 \cdot 10^{-3}$

II: constructie A6 en A8, faalkans:  $0.6 \cdot 10^{-3}$  tot  $1.5 \cdot 10^{-3}$

III: constructie A2, A4, A5, A10 en A11, faalkans:  $2.6 \cdot 10^{-3}$  tot  $8.8 \cdot 10^{-3}$

IV: constructie A1 en A3, faalkans:  $2.5 \cdot 10^{-3}$  tot  $6.7 \cdot 10^{-3}$

V: constructie A9, faalkans:  $150 \cdot 10^{-3}$

bladnummer : - 96 -  
ons kenmerk: C0-291810  
datum : juli 1988

Voor elk van deze groepen geldt dat de 'afstand' tussen gemiddelde waarde en het ontwerppunt, weergegeven door de grootte van de diverse partiële veiligheids-coëfficiënten, direkt afhankelijk is van de faalkans. De meeste grootheden hebben echter slechts een kleine invloed op de faalkans. Uit de berekeningen blijkt dat de faalkans voor 65 tot 75% wordt bepaald door onzekerheid van de volgende variabelen:  $c_H$  (significante golfhoogte),  $k'$  (toplaagdoorlatendheid),  $S_v$  (stormvloedpeil),  $c_s$  (stormvloedpeil) en  $\phi_w$  (verschilddruk over toplaag zonder blokbeweging). Daarom geldt met name voor deze variabelen dat de partiële veiligheidscoëfficiënt in relatie tot de gewenste faalkans beschouwd moet worden.

bladnummer : - 97 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988



Een nauwkeurige analyse van de resultaten heeft geleid tot de volgende veiligheidscoëfficiënten:

| constructie  | I<br>A7 | II<br>A6&8 | III<br>A2&4&5&<br>A10&11 | IV<br>A1&3 | V<br>A9 |
|--|---------|------------|--------------------------|------------|---------|
| faalkans*10 <sup>3</sup>                                 | 0.01    | 1          | 4                        | 30         | 150     |
| Variabele  |         |            |                          |            |         |
| c <sub>H</sub>   | 1.3     | 1.0        | 0.9                      | 0.75       | 0.45    |
| k'   | 0.43    | 0.47       | 0.57                     | 0.7        | 0.7     |
| S <sub>v</sub>   | 1       | 1          | 1                        | 0.94       | 0.91    |
| c <sub>S</sub>   | 0.5     | 0.41       | 0.37                     | 0.32       | 0.19    |
| φ <sub>w</sub>   | 1.2     | 1.15       | 1.12                     | 1.05       | 1       |
| G <sub>oz</sub>  |         | 1.2*       | 1                        |            | 1       |
| φ <sub>b</sub>   |         | 1.1        | 1                        |            | 1       |
| D <sub>f15</sub> (uitvullaag)                            |         | 1.2        | 1.1                      |            | 1       |
| c <sub>af</sub>  |         | 0.9        | 0.8                      |            | 0.9     |
| c <sub>bf</sub>  |         | 0.7        | 0.8                      |            | 0.9     |
| t <sub>o</sub>   |         | 1.2        | 1.2                      |            | 1.1     |
| ε  |         | 0.9        | 0.9                      |            | 1       |
| overige  |         | 1          | 1                        |            | 1       |
| * = karakteristieke waarde heeft 5% onderschreidingskans |         |            |                          |            |         |

Voor de meeste variabelen geldt dat de verwachtingswaarde overeenkomt met de karakteristieke waarde. Alleen voor S<sub>v</sub>, c<sub>S</sub>, c<sub>H</sub> en G<sub>oz</sub> (bij

bladnummer : - 98 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

kleine faalkans) moet de waarde met 5% over- of onderschreidingskans gekozen worden.

De resultaten van de berekeningen laten zien dat slechts een klein deel van de verschillen in  $\gamma$  een gevolg is van een verschil in constructie-type. Dit is geconcludeerd op basis van de geconstateerde kleine spreiding in  $\gamma$  en het feit dat  $\gamma$  in bijna alle gevallen geleidelijk naar 1 tendeert als de faalkans groter wordt (respectievelijk naar nul voor  $c_H$  en  $c_S$ ). De onzekerheid in de lineaire doorlatendheid van het filter  $c_{af}$  is een voorbeeld van een variabele die een andere tendens vertoont. Tabel 8.12 (achterin rapport) laat zien dat dit vooral veroorzaakt wordt door constructie A4 en A5. Deze hebben beide een zeer fijn filter, hetgeen leidt tot een veel belangrijkere invloed van de lineaire term van de filterdoorlatendheid.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat constructie A1 karakteristiek is voor alle beschouwde constructies met een vrij grof filter ( $D_{f15u} > 5$  mm). Voor constructies met een fijn filter, waarvoor constructie A5 model staat, moet  $\gamma_{caf}$  een kleinere waarde hebben: 0.75 in plaats van 0.9. De andere variabelen zijn onafhankelijk van de constructie (mits van het type A).

Ter vereenvoudiging wordt aanbevolen alleen voor de variabelen  $S_v$ ,  $c_S$ ,  $c_H$ ,  $\phi_w$  en  $k'$  onderscheid te maken ten aanzien van de gewenste faalkans en voor alle andere variabelen de  $\gamma$  te kiezen overeenkomstig de eerste kolom van bovenstaande tabel. De zo geadviseerde  $\gamma$ 's zijn weergegeven in tabel 8.13 (achterin dit rapport).





bladnummer : - 99 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De geadviseerde  $\gamma$ 's zijn gecontroleerd voor een concreet geval: Het doel is een constructie te ontwerpen met een niveau I berekening die een faalkans van ongeveer  $10^{-4}$  per jaar heeft. De ontworpen constructie is weergegeven in tabel 8.14. Het resultaat is gecontroleerd met een niveau II berekening. Dit resulteerde in een faalkans van  $1.2 \cdot 10^{-4}$ , hetgeen betekent dat de niveau I berekening met de gegeven partiële veiligheidscoëfficiënten inderdaad leidt tot een constructie met de gewenste faalkans.

#### Constructie-type\_B

De resultaten van de probabilistische berekeningen zijn samengevat in de tabellen 8.15 en 8.16 (achterin dit rapport). Op grond van de grootte van de faalkans zijn er 5 groepen te onderscheiden:

- I: constructie B9, faalkans:  $0.04 \cdot 10^{-3}$
- II: constructie B2 en B4, faalkans:  $0.1 \cdot 10^{-3}$  tot  $0.2 \cdot 10^{-3}$
- III: constructie B8 en B3, faalkans:  $0.6 \cdot 10^{-3}$  tot  $0.8 \cdot 10^{-3}$
- IV: constructie B1, B5, B7, B10 en B11, faalkans:  $1.4 \cdot 10^{-3}$  tot  $2.9 \cdot 10^{-3}$
- V: constructie B6 en B12, faalkans:  $5.6 \cdot 10^{-3}$  tot  $6.6 \cdot 10^{-3}$

De constructies B8 en B3 (groep III) zijn moeilijk met elkaar te vergelijken omdat bij B3 de golfrandvoorwaarde zodanig gewijzigd is dat de faalkans voldoende groot werd. Als de faalkans kleiner dan ongeveer  $10^{-6}$  dreigt te worden, dan is de werkelijke faalkans niet met de gebruikte programmatuur te berekenen. Daarom wordt constructie B3 in een aparte groep gezet (III').

Een nauwkeurige analyse van de resultaten heeft geleid tot de volgende veiligheidscoëfficiënten:

bladnummer : - 100 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

| constructie   | I<br>B9 | III<br>B8 | V<br>B6&B12 | III'<br>B3 |
|---|---------|-----------|-------------|------------|
| faalkans*10 <sup>3</sup>                                | 0.04    | 0.6       | 6           | 0.8        |
| Variabele   |         |           |             |            |
| c <sub>H</sub> *  | 1.20    | 1.05      | 0.85        | 0.8        |
| k'  | 0.43    | 0.50      | 0.60        | 0.47       |
| S <sub>v</sub> *  | 1       | 1         | 1           | 1          |
| c <sub>S</sub> *  | 0.42    | 0.37      | 0.33        | 0.30       |
| φ <sub>w</sub>  | 1.15    | 1.10      | 1.10        | 1.15       |
| G <sub>oz</sub> (als G <sub>oz</sub> < 3)               |         |           | 0.8         |            |
| G <sub>oz</sub> (als G <sub>oz</sub> > 3)               |         |           | 0.94        |            |
| ε   |         |           | 0.70        |            |
| Γ <sub>b</sub>  |         |           | 0.80        |            |
| φ <sub>b</sub>  |         |           | 1.05        |            |
| c <sub>af</sub>   |         |           | 0.75        |            |
| c <sub>bf</sub>   |         |           | 0.75        |            |
| t <sub>o</sub>  |         |           | 1.20        |            |
| overige   |         |           | 1           |            |
| * = karakteristieke waarde heeft 5% overschreidingskans |         |           |             |            |

Ook bij dit constructie-type kan geconcludeerd worden dat slechts een klein deel van de verschillen wordt veroorzaakt door verschillen in de varianten. Er blijft daardoor alleen een relatie tussen faalkans en veiligheidscoëfficiënt over, behalve bij de golfsteilheid G<sub>oz</sub>. Voor



bladnummer : - 101 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

deze variabele geldt dat de  $\gamma$  niet geleidelijk naar 1 tendeert bij een groter wordende faalkans. Maken we echter onderscheid tussen een grote en een kleine golfsteilheid dan blijkt er wel een duidelijke tendens aanwezig te zijn. Dit blijkt uit onderstaande tabel:

| constructie              |                | I    | II   | III  | III' | IV   | V    |
|--------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| faalkans*10 <sup>3</sup> |                | 0.04 | 0.1  | 0.6  | 0.8  | 2    | 6    |
| $\gamma_{Goz}$           | $G_{oz} = 2\%$ |      | 0.74 | 0.78 |      | 0.82 | 0.85 |
|                          | $G_{oz} = 4\%$ | 0.94 | 0.94 |      | 0.94 |      |      |

Ter vereenvoudiging wordt er èèn  $\gamma$  voor  $G_{oz} < 3\%$  en èèn  $\gamma$  voor  $G_{oz} > 3\%$  geadviseerd.

Bij nadere analyse van de veiligheidsfactoren die sterk afhankelijk zijn van de faalkans, te weten  $c_H$ ,  $k'$ ,  $S_v$ ,  $c_s$  en  $\phi_w$ , valt op dat B3 (III') duidelijk afwijkt van de andere typen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat er een andere relatie tussen stormvloedpeil en significante golfhoogte is gebruikt. Daardoor is de golfhoogte in het ontwerppunt veel hoger dan te verwachten is op basis van de optredende faalkans. Gezien het feit dat de onzekerheid in de significante golfhoogte verwerkt is in de vorm van een additionele term, is de relatieve onzekerheid bij een grotere waarde van  $H_s$  kleiner. Daardoor is bij B3 de relatieve onzekerheid van  $H_s$  kleiner en zal de grootte van  $c_H$  een kleinere invloed op de faalkans hebben. Het resultaat is een kleine veiligheidscoëfficiënt voor  $c_H$ .

bladnummer : - 102 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Om uiteindelijk toch op een kleine faalkans te komen, moet de kleine waarde van  $\gamma_{CH}$  gecompenseerd worden door de andere  $\gamma$ 's. Daardoor is de veiligheidsfactor van  $k'$  wat kleiner en die van  $\phi_w$  wat groter dan voor constructie B8.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat er drie karakteristieke constructies te onderscheiden zijn:

1. constructie B1 (grote golfsteilheid)
2. constructie B4 (kleine golfsteilheid)
3. constructie B3 (hoge golven)

Deze zijn representatief voor alle constructies van het type B.

De bijbehorende veiligheidsfactoren zijn samengevat in tabel 8.17 (achterin dit rapport).

### 8.5.3 Conclusies

De resultaten van de berekeningen leiden tot de conclusie dat zowel voor constructie-type A als voor B wijzigingen in de grootte van de constructie-beschrijvende paramaters in de meeste gevallen geen gevolgen hebben voor de benodigde veiligheids-coëfficiënten. De gewenste faalkans heeft wel een grote invloed op de benodigde  $\gamma$ 's.

Constructie-type A is opgebouwd uit één filterlaag (geen mijnsteen) met een toplaag bestaande uit kleine blokken. Gedetailleerde gegevens zijn te vinden in tabel 8.2 (achterin dit rapport).

Een overzicht van de geadviseerde veiligheidscoëfficiënten is gegeven in tabel 8.13. Het blijkt dat binnen het toepassingsgebied van het analytische rekenmodel alleen een uitzondering voor constructies met een fijn filter ( $D_{f15} < 5$  mm) gemaakt hoeft te worden. In dat geval is  $\gamma_{caf}$ , die de onzekerheid in de doorlatendheidsformule van het filter vertegenwoordigd, niet 0,9 maar 0,75.



bladnummer : - 103 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Constructie B is opgebouwd uit een filterlaag van mijnsteen met daarop een dunne uitvullaag. De zetting bestaat uit grote rechthoekige blokken. Voor details wordt verwezen naar tabel 8.3.

De geadviseerde veiligheidscoëfficiënten zijn te vinden in tabel 8.17. De  $\gamma$ 's blijken voor alle varianten (binnen het toepassingsgebied) gelijk te zijn, alleen als  $G_{Oz}$  groter is dan 3% dan moet voor  $\gamma_{Goz}$  niet 0,8 maar 0,94 gekozen worden.

Een van de varianten is doorgerekend met een andere golfrandvoorwaarde, zonder de onzekerheid in  $H_s$  (vertegenwoordigd in de additionele term  $c_H$ ) te wijzigen. Het resultaat is een duidelijke verandering van de  $\gamma$ 's die afhankelijk zijn van de faalkans. Dit is veroorzaakt door de gewijzigde relatieve onzekerheid van  $H_s$ . Hieruit kan geconcludeerd worden dat de geadviseerde  $\gamma$ 's slechts geldig zijn voor de hier gehanteerde verhoudingen tussen de grootte van de parameters in het ontwerp punt en de onzekerheden.

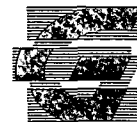
Uit een onderlinge vergelijking van de  $\gamma$ 's voor type A en type B kan geconcludeerd worden dat de verschillen groot genoeg zijn om een scheiding tussen deze typen te rechtvaardigen. Desondanks zijn in onderstaande tabel  $\gamma$ 's gegeven die voor beide typen geldig zijn. De consequentie van het bijvoegen van type A en B is uiteraard dat in veel gevallen de gerealiseerde faalkans duidelijk kleiner is dan de beoogde faalkans. Er is dan dus sprake van overdimensionering.

bladnummer : - 104 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

Overzichtstabel van de veiligheidscoëfficiënten voor het analytische model

| faalkans*10 <sup>3</sup><br>Variabele                    | 0.01   | 0.1  | 1   | 10   | 100 |
|--|--|------|-----|------|-----|
| Onzekerheid $H_s$ ( $c_H$ ) **                           | 1.3  | 1.2  | 1.0 | 0.8  | 0.6 |
| Stormvloedpeil ( $S_v$ ) **                              | 1  | 1    | 1   | 0.95 | 0.9 |
| Onzekerheid $S_v$ ( $c_S$ ) **                           | 0.5  | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 |
| Toplaagdoorlatendheid ( $k'$ )                           | 0.4  | 0.45 | 0.5 | 0.6  | 0.7 |
| Stijghoogteverschil ( $\phi_w$ )                         | 1.2  | 1.15 | 1.1 | 1.05 | 1   |
| Golfsteilheid ( $G_{oz}$ )                               | 0.7 (als $G_{oz} < 3\%$ )<br>0.9 (als $G_{oz} > 3\%$ ) |      |     |      |     |
| Stijghoogte op talud ( $\phi_b$ )                        | 1.1  |      |     |      |     |
| filterdoorlatendheid ( $a_f$ )                           | 0.75   |      |     |      |     |
| filterdoorlatendheid ( $b_f$ )                           | 0.7  |      |     |      |     |
| overbelastingsduur ( $t_o$ )                             | 1.2  |      |     |      |     |
| Toelaatbare beweging ( $\epsilon$ )                      | 0.7  |      |     |      |     |
| Toestromingsinvloed ( $\Gamma_b$ )                       | 0.8  |      |     |      |     |
| ** = karakteristieke waarde heeft 5% overschrijdingskans |  |      |     |      |     |

bladnummer : - 105 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



## 9. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET STEENZET/1+

### 9.1 Algemeen

Voor overdrachtsfunctie I wordt hier gebruik gemaakt van de complete functie  $p(y,t)$  zoals deze volgt uit modelproeven, zie figuur 2.7. Er gaat zodoende minder informatie verloren dan bij het model "drukparameters". Een beperking is overigens (ook) hier dat in de praktijk slechts de functies  $p(y,t)$  thuishorend bij enkele  $(H_{si}, T_p)$  combinaties zullen worden toegepast.

STEENZET/1 is een numeriek rekenmodel dat net als het analytische model de verschildruk berekent voor een zetting op een doorlatende tussenlaag op een ondoorlatend dijklichaam, uitgaande van quasi-stationaire, één-dimensionale lineaire weerstandsstroming. De variatie van  $p$  met de tijd wordt in het programma gebruikt om het freatisch niveau onder de toplaag te berekenen. Verder speelt de tijd in het programma geen rol.

Zoals vermeld bij het analytisch model, spelen bij overdrachtsfunctie III de volgende effecten een rol: wrijving met omringende blokken, extra drukverschil voor toestroming van water onder het blok en traagheid. Deze drie effecten worden meegenomen in het uitgebreide rekenmodel voor de stroming in de tussenlaag, STEENZET/1+. Daarin wordt namelijk ook de beweging van het blok berekend, tegelijk met het drukverschil over dat blok. Daardoor kan de wederzijdse beïnvloeding van blokbeweging en druk worden meegenomen, alsmede de variatie van de traagheid. Het betekent dat hier de overdrachtsfuncties II en III samen worden opgelost.

De hier gebruikte procedure om de numerieke resultaten in een faalkansberekening te verwerken, wordt vaak met "surface response procedure" aangeduid.

## 9.2 Verwerking resultaten numeriek model in faalkansberekening

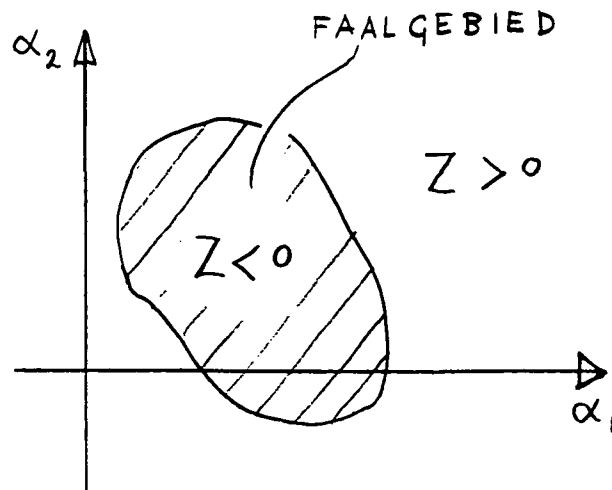
In de analytische aanpak van het probleem wordt een faalcriterium afgeleid en gebruikt dat geheel met analytische verbanden uit een aantal (stochastische) parameters volgt. De inpassing van een numeriek model zou in principe op dezelfde wijze kunnen. Met de beschikbare programmatuur voor probabilistische analyse komt dat neer op het in een subroutine gieten van het numerieke model. Maar de numerieke en andere gevoeligheden van het model maken zo'n aanpak vaak wel erg lastig. Bovendien zal het probabilistische programma de subroutine een groot aantal keren aanroepen met eventueel grote gevolgen voor de rekentijd.

Op deze grond is ook in het onderhavige geval gekozen voor een meer praktische benaderende aanpak. Hierbij worden de resultaten van de numerieke berekeningen in een analytische formule gegegoten en wordt die formule ingevoerd in de probabilistische berekeningsprocedure. Ter toelichting het volgende.

Uitgangspunt van een faalkansberekening is:

1. Een faalcriterium geformuleerd in termen van een aantal parameters  $\{\alpha_i\}$ . Het faalcriterium is een bekende functie  $Z$  van de parameterruimte naar  $R$  waarbij het faalgebied bepaald is door

$$\{ \{\alpha_i\} \mid Z(\{\alpha_i\}) \leq 0 \}$$







bladnummer : - 107 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

2. en een stochastische beschrijving van de mogelijke waarden die de parameters  $\{\alpha_i\}$  kunnen aannemen. Theoretisch is de beschrijving als simultane kansdichtheid nodig.

Met deze twee elementen kan de faalkans berekend worden die gedefinieerd is als  $P(Z(\{\alpha_i\}) \leq 0)$ .

Ad 1. Bij toepassing van numerieke berekeningen is, net als bij proeven (hoofdstuk 7), het probleem dat niet de hele Z-functie gekend wordt, doch slechts een beperkt aantal punten. Voor de faalkansberekening is het echter voldoende het volgende van Z te kennen:

- de waarden van  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  enz. in het ontwerppunt,
- alle partiele afgeleiden van Z naar  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  enz. in dat ontwerppunt.

Bij voldoende en met zorg uitgekozen numerieke berekeningen zijn die waarden van Z redelijk te benaderen.

Ad 2. Veelal zal de simultane kansverdeling van de parameters  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  enz. niet precies bekend zijn. Als de parameters onafhankelijk van elkaar variëren (ongecorreleerd zijn) is het echter voldoende van iedere parameter apart de kansverdeling te kennen of te kunnen schatten.

In paragraaf 9.3 en 9.4 wordt dit uitgewerkt voor berekeningen met STEENZET/1+. Dan volgt in 9.5 en 9.6 de toepassing op het voorbeeld dat ook in hoofdstuk 7 en 8 behandeld is.

bladnummer : - 108 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### 9.3. Wiskundige formulering van het faalcriterium.

#### 9.3.1 Invoerparameters STEENZET/1

De Steenzet/1+ berekening geeft de blokverplaatsing als functie van een in principe groot aantal parameters waarvan slechts een betrekkelijk klein aantal combinaties van parameters als bepalende factoren in de vergelijkingen voorkomen. In eerste instantie worden deze combinatieparameters vastgesteld en de noodzakelijke als het ware primitieve parameters benoemd.

Een belangrijke parameter in de Steenzet/1 berekeningen is vooral de lek lengte  $\lambda$  gedefinieerd in paragraaf 6.3, formule 6.3.4.

Een andere onafhankelijke combinatieparameter is  $\alpha_f$

$$\alpha_f = \frac{k' \cdot \frac{B+L}{2}}{b \cdot D \cdot n} \quad [s^{-1}] \quad (9.1)$$

waarin  $k'$ ,  $b$ ,  $D$ ,  $B$ ,  $L$  gegeven zijn als in paragraaf 6.3.

Deze combinatieparameter heeft te maken met de freatische lijn. De invloed van deze parameter is voor  $H/\lambda > 6$  verwaarloosbaar. De hier geïntroduceerde  $H$  staat voor golfhoogte.

De nu genoemde combinatieparameters zijn van belang voor de berekening van de potentiaalverschillen over de steenzetting.

Als derde combinatieparameter kan gelden  $\alpha_t$  die de invloed van de toestroming op de beweging van het blok bepaalt.

$$\alpha_t = \frac{k \cdot b}{(B+L) \cdot 2} \quad [s^{-1}] \quad (9.2)$$



bladnummer : - 109 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Voor de beweging van het blok zijn verder de wrijvingscoëfficiënt  $f_b$  en het eigen gewicht  $G$  van belang.

$$G = \Delta \cdot D \cdot \cos \alpha \quad (9.3)$$

De drukrandvoorwaarden komen vanaf registraties van proefresultaten. Een proefresultaat wordt met betrekking tot een STEENZET/1 berekening vooral beïnvloed door de golfhoogte  $H$  (of  $H_s$ ) en de golfsteilheidsparameter  $\xi$ . De waterdiepte en de taludhelling worden in dit verband niet gevarieerd.

De maximale verplaatsing van het blok  $u_{\max}$  wordt dus beschreven door:

$$u_{\max} = u_{\max}(\lambda, \alpha_f, \alpha_t, f_b, G, H, \xi) \quad (9.4)$$

bladnummer : - 110 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### 9.3.2. Basisparameters.

Het is nu zo dat de parameters  $\lambda$ ,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_t$ ,  $f_b$ ,  $G$ ,  $H$ ,  $\xi$  ieder weer afhankelijk zijn van basisparameters overeenkomstig de relaties gegeven in hoofdstuk 6.

$$\lambda = \lambda(v, B, L, s, \alpha, D, T_g, b_{ul}, b_{ml}, n_u, d_{u15}, c_{au}, c_{bu}, n_m, d_{m15}, c_{am}, c_{bm}, a_g, b_g, c_k, i_{sm}, i_t)$$

$$\alpha_f = \alpha_f(v, B, L, s, D, t_g, b_{ul}, b_{ml}, d_{u15}, a_g, b_g, c_k, i_t)$$

$$\alpha_t = \alpha_t(v, L, b_{ul}, b_{ml}, n_u, d_{u15}, c_{au}, c_{bu}, n_m, d_{m15}, c_{am}, c_{bm}, i_{su}, i_{sm})$$

$$f_b = f_b()$$

$$G = G(\alpha, D, \Delta)$$

$$H = H(dt, c_d, S_{v1}, j, c_s, c_{H1}, c_{H2}, c_{H3}, c_H, c_m)$$

$$\xi = \xi(\alpha, dt, c_d, S_{v1}, j, c_s, c_{H1}, c_{H2}, c_{H3}, c_H, c_m, G_{oz}, c_t)$$

Deze verbanden zijn in analytische vorm gegeven. Voor de volledigheid is in bijlage II nog een reeks met de gebruikte relaties toegevoegd. (ook ter controle!). Het is nu zo dat door deze relaties afhankelijkheden tussen de parameters  $\lambda$ ,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_t$ ,  $f_b$ ,  $G$ ,  $H$ ,  $\xi$  gemodelleerd worden. Van de basisvariabelen mag aangenomen worden dat ze alle onafhankelijk variëren, zodat voldaan wordt aan het tweede uitgangspunt genoemd in 9.2 ("ad 2").



bladnummer : - 111 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

In feite wordt dus gewerkt met de volgende functie:

$$u_{\max} = u_{\max}(v, B, L, s, \alpha, D, T_g, b_{u1}, b_{m1}, dt, \Delta, n_u, d_{u15}, \\ c_{au}, c_{bu}, n_m, d_{m15}, c_{am}, c_{bm}, a_g, b_g, c_k, i_{su}, \\ i_{sm}, i_t, c_d, S_{v1}, j, c_s, c_{H1}, c_{H2}, c_{H3}, c_H, c_m, \\ G_{oz}, c_t, f_b)$$

### 9.3.3. Formulering betrouwbaarheidsfunctie Z.

Met de analytische formuleringen van Hoofdstuk 6, is de functie ook in analytische vorm te geven, mits relatie (9.4) in analytische vorm te geven is.

De afhankelijkheid van  $u_{\max}$  als functie van  $\lambda, \alpha_f, \alpha_t, f_b, G, H, \xi$  moet volgen uit numerieke STEENZET/1 berekeningen.

Uit praktisch oogpunt moet echter volstaan worden met het uitvoeren en gebruiken van een beperkt aantal STEENZET/1 berekeningen voor het benaderen van (9.4) door een verband waaraan de volgende linearisering ten grondslag ligt.

$$u_{\max} = u_0 + \frac{\partial u}{\partial \lambda_0} (\lambda - \lambda_0) + \frac{\partial u}{\partial \alpha_{f_0}} (\alpha_f - \alpha_{f_0}) + \frac{\partial u}{\partial \alpha_{t_0}} (\alpha_t - \alpha_{t_0}) \\ + \frac{\partial u}{\partial f_{b_0}} (f_b - f_{b_0}) + \frac{\partial u}{\partial G_0} (G - G_0) \\ + \frac{\partial u}{\partial H_0} (H - H_0) + \frac{\partial u}{\partial \xi_0} (\xi - \xi_0) \quad (9.5)$$

De index  $_0$  heeft betrekking op de waarden van de grootheden in een ontwikkelpunt. Bij voorkeur dient dit ontwikkelpunt zo dicht mogelijk bij het ontwerp punt te liggen. Het ontwerp punt volgt uit de faalkansberekeningen. Het kan nodig zijn de keuze van het ontwikkelpunt na de faalkansberekening aan te passen.

bladnummer : - 112 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Met het uitgangspunt dat de faalgrens gesteld wordt als een grens aan de verplaatsing van de blokken van de steenzetting wordt de functie Z gedefinieerd door:

$$Z = u_{\text{maxtol}} - u_{\text{max}} \cdot c_{\text{stz}} \quad (9.6)$$

Hierin is geïntroduceerd:

$u_{\text{maxtol}}$  : de maximaal toegestane verplaatsing.  
 $c_{\text{stz}}$  : de onzekerheid omtrent de Steenzet/1 schematisatie.

Voor  $u_{\text{maxtol}}$  geldt, overeenkomstig hoofdstuk 8, formule (8.10):

$$u_{\text{maxtol}} = \epsilon D$$

De grootte van  $\epsilon$  dient in de vorm van een kansverdeling te worden ingevoerd.

In plaats van de afgeleiden kan en moet uit een beperkt aantal berekeningen een benadering van deze afgeleiden volgen. Een schatting van de afgeleiden volgt nog in paragraaf 9.4

#### 9.3.4. Enige kanttekeningen.

In de formulering van de Z-functie is van een unieke uitkomst van de maximale blokverplaatsing als functie van de parameters uitgegaan. Echter is een resultaat niet alleen afhankelijk van de hier vermelde parameters. De positie van de stilwaterlijn en de gekozen invoer met betrekking tot de golfdrukrandvoorwaarden hebben zeker ook invloed op de gevonden maximale verplaatsing.



bladnummer : - 113 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Waarschijnlijk kan deze afhankelijkheid in voldoende mate worden opgevangen door een voldoende lange drukregistratie als invoer te nemen eventueel gecombineerd met het variëren van de hoogte van de stilwaterlijn. De fout die toch blijft bestaan kan worden verrekend door een extra onzekerheid aan  $u_0$  toe te kennen (zie 9.3.5).

De linearisatie volgens formule (9.5) is waarschijnlijk toelaatbaar. Immers, het gaat bij het vaststellen van de Z-functie en benadering in wezen slechts om het vaststellen van de grens tussen het veilige en het onveilige gebied. In de Z-benadering is het dus niet erg als ver van de grens onmogelijke waarden van Z voorkomen. Voor de faalkansberekening is dit niet van belang.

#### 9.3.5. Onzekerheden in de relaties.

In het volgende worden de onzekerheden in relaties zoals die afwijken van hetgeen in hoofdstuk 6 vermeld is, nader gespecificeerd.

Een nog te behandelen onzekerheid is de juistheid van het Steenzet/1 model en het gevolg voor de functie Z en zijn benadering. Voorlopig wordt de bijdrage van een aantal effecten gescheiden. Ten eerste de onzekerheid omtrent de schematisatie met behulp van het Steenzet/1 model. Deze wordt gerepresenteerd door  $c_{stz}$ .

Voor  $c_{stz}$  is vooralsnog een  $N(1.0, 0.3^2)$  verdeling gekozen.

Ten tweede de onzekerheden doordat slechts een beperkte selectie van de geregistreerde drukregistraties wordt gebruikt als invoer voor de STEENZET/12 berekeningen en doordat andere grootheden dan de zeven van formule (9.4) als invoervariabelen worden beschouwd. Deze onzekerheden worden verwerkt door aan  $u_0$  een normale verdeling toe te kennen met een standaardafwijking van 20% van het gemiddelde.<sup>1)</sup>

bladnummer : - 114 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Nog een derde effect is de benadering van de partiële afgeleiden uit de bovenstaande relatie. Dit wordt in principe verrekend met het introduceren van onzekerheden in de coëfficiënten van de lineaire ontwikkeling: zie de volgende paragraaf.

<sup>1)</sup> Bij nader inzien is dat niet zo'n gelukkige keuze. Afwijkingen in drukregistraties hebben ongeveer hetzelfde effect als afwijkingen in de golfhoogte. Het is beter een onzekerheidscoëfficiënt toe te voegen die recht evenredig is met de golfhoogte.

#### 9.4. Bepaling afgeleiden in ontwikkelpunt uit resultaten STEENZET/1+.

##### 9.4.1. Algemeen

Om de faalkans berekeningen te maken moeten de 7 partiële afgeleiden van formule (9.5) bekend zijn.

Het is in het algemeen aan te bevelen tenminste 8 STEENZET/1+ berekeningen te maken: één voor het ontwikkelpunt (met  $\lambda = \lambda_0$ ,  $\alpha_f = \alpha_{f0}$  enz) en 7 om de 7 partiële afgeleiden,  $\partial u / \partial \lambda$ ,  $\partial u / \partial \alpha_f$  enz, in het ontwikkelpunt te vinden. Om  $\partial u / \partial \lambda$  te vinden wordt voor  $\lambda$  een vrij ongunstige maar niet onmogelijke waarde genomen terwijl de andere grootheden gelijk genomen worden aan de waarden in het ontwikkelpunt. Nu volgt niet alleen  $\partial u / \partial \lambda$ , maar krijgt men ook een indruk van de grootte van het produkt  $\partial u / \partial \lambda_0 \cdot (\lambda - \lambda_0)$ . Als dat ordes kleiner is dan  $u_0$ , kan de term helemaal verwaarloosd worden. Maar als dat juist erg groot is, is het aan te bevelen nog wat meer STEENZET/1+ berekeningen met andere  $\lambda$  waarden te maken om ook een indruk te krijgen van de spreiding van de grootte van  $\partial u / \partial \lambda_0$  zodat die als stochastische grootheid kan worden ingevoerd. In de onderstaande paragrafen worden, bij wijze van voorbeeld, aangegeven hoe de partiële afgeleiden bepaald kunnen worden op basis van in het verleden uitgevoerde STEENZET/1+ berekeningen.





bladnummer : - 115 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

#### 9.4.2. Bepaling $\frac{\partial u}{\partial H}$ .

De afgeleiden zijn geschat op grond van de resultaten uit het rapport "Ontwerpgrafieken met Steenzet/1" (CO-285750/7). Het startpunt van de analyse is de afleiding van een waarde voor  $\frac{\partial u}{\partial H}$  in een ontwikkelpunt. Hiervoor wordt bijlage 4.9 uit het rapport gebruikt welke hier is overgenomen als figuur 9.1. Hierin is direct de verplaatsing uitgezet tegen de golfhoogte.

In paragraaf 9.5 wordt een faalkansberekening besproken m.b.t. een in paragraaf 9.4 aangegeven voorbeeld.

Terwille van de uitvoering van deze som wordt genomen

$$\frac{\partial u}{\partial H_0} \approx 0,06$$

Aan deze afgeleide kan een onzekerheid toegevoegd worden. Bijvoorbeeld kan  $\frac{\partial u}{\partial H} = N(0,06/0,02)$  gesteld worden, waarin N slaat op de normale verdeling 0.06 de verwachtingswaarde is en  $(0.02)^2$  de variantie.

#### 9.4.3. Bepaling $\frac{\partial u}{\partial \xi}$ .

In de huidige versie zijn die ontleend aan de uitgebreide berekeningen met het STEENZET/1 model die uitgevoerd zijn in het kader van onderzoek eveneens gerapporteerd in "Ontwerpgrafieken met Steenzet/1" (CO-285750/7).

bladnummer : - 116 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De methodiek voor het vaststellen van deze afgeleiden wordt nu eerst bekeken.

Zij gegeven in het X,Y vlak een kromme met de eigenschap  $f(x,y) = f(x_0, y_0)$ . Zij vervolgens de helling van deze kromme in het punt  $x_0, y_0$  te weten  $(\frac{dy}{dx})_0$ . Dan geldt  $(\frac{\partial f}{\partial x})_0 = - (\frac{dy}{dx})_0 \cdot (\frac{\partial f}{\partial y})_0$ . Dit volgt direct uit het raken aan de grafiek:  $df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy = 0$  voor  $(\frac{dy}{dx}) = (\frac{dy}{dx})_0$ .

In het huidige geval wordt dit gebruikt bijvoorbeeld in de figuur uit bijlage 4.3 uit het al eerder vermelde rapport welke hier is overgenomen als figuur 9.2.

De getrokken lijn is op te vatten als een lijn met  $u(\xi, \frac{H}{\Delta \cdot D}) = u_0$ .

Een schatting van de helling bij  $\xi_0 = 1.8$  is  $(\frac{\partial \frac{H}{\Delta \cdot D}}{\partial \xi})_0 \approx - 0.4$  zodat

$$(\frac{\partial u}{\partial \xi})_0 \approx c_{u\xi} \cdot (\frac{\partial \frac{H}{\Delta \cdot D}}{\partial \xi})_0 = c_{u\xi} \cdot \Delta \cdot D \cdot (\frac{\partial u}{\partial H})_0 \text{ met } c_{u\xi} = 0.4$$

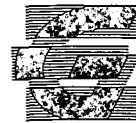
Voor  $c_{u\xi}$  kan ook weer een verdeling genomen worden. Mogelijk is bijvoorbeeld  $N(0.4, 0.05^2)$

#### 9.4.4. Bepaling $\frac{\partial u}{\partial \lambda}$ .

Met betrekking tot de  $\lambda$  afhankelijkheid van  $u$  is op dezelfde manier een schatting gemaakt uit vergelijking van de bijlagen 4.3 en 4.4 uit het eerder genoemde rapport, hier fig. 9.2, respectievelijk fig. 9.3.

Uit deze figuren blijkt hetgeen in de figuur 9.4 is aangegeven.

Hieruit blijkt dat  $(\frac{\partial \frac{H}{\Delta \cdot D}}{\partial \lambda})_0 \approx - 6 \cdot m^{-1}$  zodat



bladnummer : - 117 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \lambda}\right)_0 \approx c_{u\lambda} \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial \frac{H}{\Delta \cdot D}}\right)_0 = c_{u\lambda} \cdot \Delta_0 \cdot D_0 \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial H}\right)_0 \text{ met } c_{u\lambda} = 6 \cdot \text{m}^{-1}$$

In plaats van de constante 6. wordt een stochastische variabele voorgesteld met verdeling  $N(6.0, 1.0^2)$

#### 9.4.5. Bepaling $\frac{\partial u}{\partial \alpha_f}$ .

Als basis gelden de uit de steenzet/1 volgende  $\frac{\partial u}{\partial \lambda}$ ,  $\frac{\partial u}{\partial H}$  en  $\frac{\partial u}{\partial \xi}$ .

De parameter  $\alpha_f$  heeft de volgende invloed. Vergroting van  $\alpha_f$  leidt tot verhoging van het freatisch niveau en bijgevolg tot een hogere belasting en dus een grotere uitlichting u. Voor de schatting hiervan wordt het volgende resultaat gebruikt: (Sellmeyer: "Overdruk op steenzetting door drukhoogte golven" M1795-III, CO-255780/45, Bijlage B).  $\alpha_f$  is recht evenredig met  $\frac{k'}{b \cdot D}$ . Als  $\frac{k'}{b \cdot D}$  verhoogd wordt met 10 % bij  $\frac{H_0}{\lambda_0} \approx 2$  (conservatieve veronderstelling) dan verhoogt het freatisch niveau van  $0.695 \cdot H_0$  tot  $0.70 \cdot H_0$  (ofwel van  $1.39 \cdot \lambda_0$  tot  $1.40 \cdot \lambda_0$ . Met Wolsink (M1795/M1881-XI, blz 126 formule 20) zou dan de overdruk

toenemen met  $\frac{1 - e^{-2 \cdot 1.40}}{1 - e^{-2 \cdot 1.39}} \approx 1.002$ . Deze invloed van de overdruk komt

overeen met de invloed van een vergroting van H met 0.2%.

Dus  $\frac{\Delta \alpha_f}{\alpha_f} = 0.1$  heeft dezelfde invloed als  $\frac{\Delta H}{H_0} = 0.002$ .

Op grond van deze overwegingen wordt gesteld:

$$\alpha_f \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_f} = \frac{0.002}{0.1} \cdot H_0 \cdot \frac{\partial u}{\partial H} \text{ ofwel } \frac{\partial u}{\partial \alpha_f} = c_{u\alpha_f} \cdot \frac{H_0}{\alpha_{f_0}} \cdot \frac{\partial u}{\partial H} \text{ met } c_{u\alpha_f} = 0.02$$

bladnummer : - 118 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De waarde van deze parameter is nogal onzeker. De parameter  $c_{uaf}$  wordt stochastisch verondersteld met lognormale verdeling met

$$E(\ln(c_{uaf})) = \ln(.02)$$

$$\sigma(\ln(c_{uaf})) = \ln(2)$$

Dit komt overeen met de uitspraak  $c_{uaf} = LN(.0254, .02^2)$

#### 9.4.6. Bepaling $\frac{\partial u}{\partial \alpha_t}$ .

De toestroming is als volgt te schematiseren. Bij uitlichting moet een volume  $u \cdot B \cdot L$  onder het blok gevuld worden. Als het volume vanuit de filterlaag aangevuld moet worden en van een bepaald verhang en tijdsduur uitgegaan wordt, dan is de toestroming evenredig met  $k \cdot b$ .

Dan is  $u$  recht evenredig met  $\frac{k \cdot b}{B \cdot L} = \alpha_t$ . Hieruit volgt  $\frac{\partial u}{\partial \alpha_t} = c_{uat} \cdot \frac{u_0}{\alpha_{t_0}}$

met  $c_{uat} = 1$ . Als in het geval van  $\frac{\partial u}{\partial \alpha_f}$  wordt hier een onzekerheid

toegevoegd door de  $c_{uat}$  lognormaal te nemen met

$$E(\ln(c_{uat})) = \ln(1)$$

$$\sigma(\ln(c_{uat})) = \ln(\sqrt{2})$$

Dit komt overeen met de uitspraak  $c_{uat} = LN(1.062, .379^2)$



bladnummer : - 119 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

9.4.7. Bepaling  $\frac{\partial u}{\partial G}$ .

De basis voor deze schatting wordt gevormd door schaalbeschouwingen. Het resultaat van elke STEENZET/1 berekening voor een concrete situatie, kan ook gebruikt worden voor een soortgelijke situatie op een andere schaal. Het gaat om een situatie die ten opzichte van de eerste voldoet aan de volgende voorwaarden.

- Alle lengteafmetingen moeten onderling steeds dezelfde verhoudingen hebben.
- Alle tijdsduren moeten dezelfde verhoudingen hebben.
- Alle snelheden moeten dezelfde verhoudingen hebben.
- Alle versnellingen moeten dezelfde verhoudingen hebben.
- Alle in het programma meegenomen krachten, te weten zwaartekracht, drukkracht, hydraulische weerstand, mechanische wrijving en traagheid, moeten dezelfde verhoudingen hebben.

Hieraan wordt voldaan bij toepassing van de Froude schaal, mits de hydraulische weerstand, uitgedrukt in Darcy-coëfficiënten op dezelfde manier als de snelheid verschaald wordt. Dat wil zeggen:

- Als alle lengtematen  $n$  maal zo groot worden
- moeten alle tijdsduren  $\sqrt{n}$  maal zo groot worden
- moeten alle snelheden  $\sqrt{n}$  maal zo groot worden
- blijven alle versnellingen gelijk ( $g=9.81$ )
- moeten dimensieloze grootheden als  $f_w$  en  $\xi$  gelijk blijven.
- worden alle krachten  $n^3$  maal zo groot, alle drukken  $n$  maal.

Hieruit volgt dat, als bij invoering van  $\lambda_0$ ,  $\alpha_{f_0}$ ,  $\alpha_{t_0}$ ,  $H_0$ ,  $G_0$ ,  $f_{b_0}$  en  $\xi_0$  in Steenzet/1, de uitkomst  $u_0$  is, dan geldt bij invoering van  $\lambda_0 \cdot n$ ,  $\alpha_{f_0} \cdot \sqrt{(1/n)}$ ,  $\alpha_{t_0} \cdot \sqrt{(1/n)}$ ,  $H_0 \cdot n$ ,  $G_0 \cdot n$ ,  $f_{b_0}$ ,  $\xi_0$  dat de uitkomst  $u_0 \cdot n$  zal zijn. Als bijvoorbeeld  $n = 1.1$  volgt hieruit:  $du = 0.1 \cdot u_0$ ,  $d\lambda = 0.1 \cdot \lambda_0$ ,  $d\alpha_f = -0.05 \cdot \alpha_{f_0}$ ,  $d\alpha_t = -0.05 \cdot \alpha_{t_0}$ ,  $dH = 0.1 \cdot H_0$ ,  $dG = 0.1 \cdot G_0$ ,  $df_b = 0$ ,  $d\xi = 0$ .

bladnummer : - 120 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

Aangezien ook geldt:

$$du = \frac{\partial u}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial u}{\partial \alpha_f} d\alpha_f + \frac{\partial u}{\partial \alpha_t} d\alpha_t + \frac{\partial u}{\partial H} dH + \frac{\partial u}{\partial G} dG + \frac{\partial u}{\partial f_b} df_b + \frac{\partial u}{\partial \xi} d\xi$$

volgt

$$0.1 \cdot u_0 = \frac{\partial u}{\partial \lambda} \cdot 0.1 \cdot \lambda_0 - \frac{\partial u}{\partial \alpha_f} \cdot 0.05 \cdot \alpha_{f_0} - \frac{\partial u}{\partial \alpha_t} \cdot 0.05 \cdot \alpha_{t_0}$$

$$\frac{\partial u}{\partial H} \cdot 0.1 \cdot H_0 + \frac{\partial u}{\partial G} \cdot 0.1 \cdot G_0$$

dus

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial G} &= \frac{u_0}{G_0} - \frac{\partial u}{\partial \lambda} \cdot \frac{\lambda_0}{G_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_f} \cdot \frac{\alpha_{f_0}}{G_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial u}{\partial \alpha_t} \cdot \frac{\alpha_{t_0}}{G_0} - \frac{\partial u}{\partial H} \cdot \frac{H_0}{G_0} & \frac{\partial u}{\partial G} = \\ &= \frac{u_0}{G_0} + \{-c_{u\lambda} \cdot \frac{\lambda_0}{G_0} \cdot \Delta \cdot D + (\frac{1}{2} \cdot c_{u\alpha_f} - 1) \cdot \frac{H_0}{G_0}\} \cdot (\frac{\partial u}{\partial H})_0 + \frac{1}{2} \cdot c_{uat} \cdot \frac{\alpha_{t_0}}{G_0} \end{aligned}$$

9.4.8. Bepaling  $\frac{\partial u}{\partial f_b}$ .

De schatting voor deze afgeleide volgt uit een vergelijking met het effect van verandering van G.

Stel du evenredig met  $G \cdot \tan \alpha \cdot df_b$  en du evenredig met dG, zodat

$$\frac{\partial u}{\partial f_b} \approx G \cdot \tan \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial G}$$

bladnummer : - 121 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



GRONDMECHANICA  
DELFT

$$\frac{\partial u}{\partial f_b} = G \cdot \tan \alpha \cdot \frac{\partial u}{\partial G} \cdot c_{ufw}$$

met  $c_{ufw} = \text{LN}(1.030, 0.18^2)$ .

#### 9.5 Voorbeeld: PROVO-steenzetting.

De beschrijving van deze constructie en de bijbehorende randvoorwaarden is te vinden in paragraaf 7.7.

Helaas is geen STEENZET/1+ berekening voor deze constructie gemaakt. Het ontwikkelpunt is gekozen in overeenstemming met de grafieken waarop de afgeleiden gebaseerd zijn. Daar komt een berekeningsresultaat voor dat het resultaat zou kunnen zijn van de STEENZET/1+ berekening van de PROVO-steenzetting. Zie figuur 9.1. Voor dat resultaat geldt:

$$\lambda_o = 0,22 \text{ m}, \alpha_{f_o} = 0,03 \text{ s}^{-1}, \alpha_{f_{to}} = 0,075 \text{ s}^{-1}, f_{bo} = 0,6,$$

$$G_o = \Delta_o \cdot D_o \cdot \cos \alpha_o = 0,227 \text{ m}, H_o = 1,5 \text{ m}, \xi_o = 1,8 \text{ en } u_o = 0,03 \text{ m}.$$

bladnummer : - 122 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

#### 9.6. Faalkansberekening.

Met de hierboven vermelde verbanden en verdelingen zijn twee faalkansberekeningen gemaakt, één voor een periode van 1 jaar en één voor een periode van 100 jaar. De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 9.1 en 9.2.

De berekende faalkansen kunnen vergeleken worden met die berekend voor dezelfde constructie bij dezelfde golfbelasting, maar met andere beoordelingsmodellen (par. 7.8, tabel 7.1 en 7.2, par. 8.4) :

- Faalkans (PROVO, 1 jaar, black box, onreg. golven) = 0,0027
- Faalkans (PROVO, 1 jaar, analytisch) = 0,0016
- Faalkans (PROVO, 1 jaar, STEENZET/1+) = 0,0019
  
- Faalkans (PROVO, 100 jaar, black box, onreg.golven = 0,155
- Faalkans (PROVO, 100 jaar, analytisch) = 0,035
- Faalkans (PROVO, 100 jaar, STEENZET/1+) = 0,013

Voor de periode van 100 jaar neemt de faalkans af naarmate het beoordelingsmodel verfijnder wordt. Dat is een logische uitkomst. Voor de periode van 1 jaar verschillen de faalkansen weinig. Dat is eigenlijk niet zo logisch.



bladnummer : - 123 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Voorts kunnen ook de  $H_s/\Delta D$  waarden gevonden voor het ontwerppunt voor de verschillende beoordelingsmodellen vergeleken worden:

|  |        |
|--|--------|
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 1 jaar, black box, onregel. golven)   | = 2,6  |
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 1 jaar, analytisch)                   | = 2,1  |
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 1 jaar, STEENZET/1+)                  | = 0,91 |
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 100 jaar, black box, onregel. golven) | = 2,75 |
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 100 jaar, analytisch)                 | = 2,6  |
| $H_s/\Delta D$ (PROVO, 100 jaar, STEENZET/1+)                | = 2,65 |

Hier is juist voor de periode van 1 jaar het verschil het grootst. Een  $H_s/\Delta D$  waarde van 0,91 lijkt praktisch onmogelijk, dus alleen bereikbaar bij een véél kleinere faalkans dan 0,0019.

Bij vergelijking van de bijdragen van de verschillende onzekerheden aan de totale faalkans (vergelijk tabellen 9.1 en 9.2 met tabellen 8.5 en 8.6 of met tabellen 7.1 en 7.2) valt op dat de bijdragen van de hydraulische randvoorwaarden ( $S_v, C_H, \xi$ ) bij dit beoordelingsmodel minder zijn dan bij het analytische model en véél minder dan bij de black box. Net als bij het analytisch model spelen de onzekerheden over de factoren die de filterdoorlatendheid bepalen een erg grote rol en de onzekerheden over de blokbewegingsfactoren een vrij grote rol.

Erg opvallend in de resultaten, weergegeven in de tabellen 9.1B en 9.2B is het grote verschil tussen de ontwerppuntwaarde van  $H$  (0,321 m, respectievelijk 0,946 m) en de ontwikkelpunt waarde van  $H$  ( $H_0 = 1,5$  m).

bladnummer : - 124 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

In feite is dit verschil veel te groot om betrouwbare resultaten te krijgen, zeker voor toepassing voor een periode van 1 jaar. Men zou eigenlijk nieuwe STEENZET/1 berekeningen moeten maken. Het verschil verklaart de lage waarde van  $H_s/\Delta D$  (1 jaar). Met dit verschil hangt samen dat de grootte van  $\partial u/\partial H$  sterk wijzigt en een grote bijdrage aan de faalkans levert. Dat blijkt als men de grootte van  $u_{\max}$  gaat berekenen met vergelijking (9.5) en daar achtereenvolgens de in de tabel gevonden waarden voor de gemiddelden van  $\frac{\partial u}{\partial \lambda_0}$ ,  $\lambda$ ,  $\frac{\partial u}{\partial \alpha_{f0}}$ ,  $\alpha_f$  enz. invoert en de waarden van het ontwerppunt.

Bij invoering van de gemiddelden blijkt, zoals verwacht  $u_{\max}$  negatief te zijn. Bij invoering van de waarden van het ontwerppunt zorgen vooral de termen  $\alpha_t$  en  $H$  er voor dat  $u_{\max}$  dan wel een grote positieve waarde bereikt. Dat komt omdat toestromingsparameter  $\alpha_t$  sterk groeit (door grotere doorlatendheid van de mijnsteen) en doordat  $\partial u/\partial H$  sterk daalt. Nu wordt de grootte van  $\partial u/\partial H$  en ook de onzekerheid vnl. bepaald door de toestroming. Dat is ook zichtbaar in figuur 9.1 waarin de STEENZET/1 resultaten met en zonder toestroming zijn uitgezet. Zonder toestroming is  $\partial u/\partial H$  circa 7 x zo groot.

Het lijkt niet uitgesloten dat de onzekerheid over de parameters  $\alpha_t$  en  $\frac{\partial u}{\partial H}$  de vrij grote zekerheid over de minimum waarde waarbij het blok niet in beweging komt niet tot zijn recht laat komen, zodat grotere faalkansen voorspeld worden dan wanneer géén toestroming zou zijn meegenomen, hetgeen niet juist is. Als het ontwikkelpunt dichterbij het ontwerppunt wordt gekozen verdwijnt die fout.



Tenslotte volgt uit de berekeningen van  $u_{\max}$  met vergelijking (9.5) dat in dit voorbeeld de termen met  $\partial u / \partial \alpha_f$ ,  $\partial u / \partial \alpha_b$ ,  $\partial u / \partial \alpha_G$  verwaarloosbaar klein zijn.

#### 9.7 Verbeteringen in de methode

De hoofdlijnen van bovenbeschreven methode om de faalkans te berekenen op basis van STEENZET/1+ berekeningen, zijn bevredigend. Maar op een aantal punten lijkt verbetering nodig:

- I. De grote onzekerheid over de grootte van  $\partial u / \partial H$  en de rol van toestroming moet niet de relatief grote zekerheid m.b.t. de andere elementen van de STEENZET/1 berekening overheersen
- II. Het zou wenselijk zijn dat de resultaten wat meer inzicht geven in het rekenproces
  - door presentatie van tussenresultaten die vergelijkbaar zijn met die volgens andere beoordelingsmodellen (de grootte  $u$  leent zich daar slecht voor)
  - door gebruik van dimensieloze parameters
  - door vervanging van een aantal stochastische door deterministische.

Aan punt I zou mogelijk grotendeels tegemoet gekomen kunnen worden door een vrij geringe wijziging, die echter wel leidt tot te conservatieve resultaten: Laat de toestroming weg. Dat betekent:

- STEENZET/1+ berekeningen zonder toestroming
- $\partial u / \partial \alpha_t = 0$  (de grootte  $\alpha_t$  kan overal vervallen)

Ingrijpender is de volgende wijziging. Die komt ook tegemoet aan de in punt II genoemde eis en leidt niet tot conservatieve resultaten.

bladnummer : - 126 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Uitgangspunt van de wijziging is de gedachte dat STEENZET/1 met vrij grote betrouwbaarheid aan kan geven wanneer het drukverschil over de steen het eigen gewicht (+ wrijving) overschrijdt en dat de extra sterkte die ontleend wordt aan traagheid en vooral aan toestroming op het moment van bewegen veel onzekerder is.

De Z-functie wordt nu zodanig gekozen dat allereerst de vergelijking tussen drukverschil en eigen gewicht tot uitdrukking komt en tevens aangesloten wordt bij de wijze waarop de resultaten van andere beoordelingsmodellen gepresenteerd worden:

$$Z = \left[ \frac{H_S}{\Delta D} \right]_{\text{krit}} - \frac{H_S}{\Delta D}$$
$$Z = \frac{1}{c_{\phi_w}} \left( \frac{H_S}{\phi_w} \right) \cdot \cos \alpha \frac{1}{c_\gamma} \Gamma - \frac{H_S}{\Delta D} \quad (9.7)$$

met:  $\phi_w$  - stijghoogte verschil over het blok als het blok niet beweegt.

$c_{\phi_w}$  - onzekerheid in de relatie  $(H_S/\phi_w)$  zoals bepaald met STEENZET/1

$\Gamma$  - factor, groter dan één, die de verhouding weergeeft tussen het kritische stijghoogteverschil en het stijghoogte verschil dat overeenkomt met het eigen gewicht ( $\Delta D \cos \alpha$ )

$c_\gamma$  - onzekerheid in de bepaling van  $\Gamma$

Immers als  $\Gamma = 1$  en  $c_{\phi_w} = 1$  volgt  $\left[ \frac{H_S}{\Delta D} \right]_{\text{krit}} = (H_S/\phi_w) \cdot \cos \alpha$ , ofwel  $[\phi_w]_{\text{krit}} = \Delta D \cos \alpha$ .

Volgens formule (9.7) geldt dus:  $[\phi_w]_{\text{krit}} = \frac{1}{c_\gamma} \cdot \Gamma \cdot \Delta D \cos \alpha$ .

Als de formules van de analytische methode gelden, volgt (zie par.8.2.3 en par.8.2.4 formules 8.6 en 8.12, stel  $R = S$ ):

$$[\phi_w]_{\text{krit}} = \frac{1}{c_{\phi_w}} \cdot (\Gamma_{s_1} + \Gamma_{s_2} - 1) \Gamma_b \cdot \Delta \cos \alpha, \text{ dus:}$$

$$\Gamma = c_{\gamma} (\Gamma_{s_1} + \Gamma_{s_2} - 1) \Gamma_b$$

De grootte van  $\Gamma$  wordt bepaald door de gunstige rol van

- wrijving tussen de blokken ( $\Gamma_{s_1}$ )
- traagheid ( $\Gamma_{s_2}$ )
- toestroming ( $\Gamma_b$ )

Bij de STEENZET/1+ berekeningen hoeft het onderscheid tussen deze drie factoren niet expliciet naar voren gebracht te worden, al kan dat, indien gewenst, wel.

De grootte van  $(H_s/\phi_w)$ , d.w.z. de stijghoogte over het niet bewegende blok als functie van  $H_s$ , volgt uit de berekeningen van STEENZET/1 (berekeningen zonder blokbewegingen).

De grootte van  $\Gamma$  volgt door berekeningen uit te voeren met STEENZET/1+ (berekeningen met blokbewegingen) waarbij dezelfde randvoorwaarden worden gehanteerd, met uitzondering van  $\Delta$  die juist zo klein wordt gekozen dat juist de kritieke blokbeweging wordt bereikt. Dan geldt (zie formule 9.7):

$$\Gamma = \frac{H_s}{\Delta D} \text{ (kritisch volgens laatste berekening)} \\ \cos \alpha \cdot \frac{H_s}{\phi_w} \text{ (volgens eerste berekening)}$$

bladnummer : - 128 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

$(H_s/\phi_w)$  kan beschouwd worden als een functie van de volgende

dimensieloze grootheden:

- $\lambda^* = \lambda/D$
- $\alpha^* = \alpha_f \sqrt{D/g} = k' \cdot \frac{1}{2} (B+L) / bn \sqrt{gD}$  (vgl. formule 9.1)
- $H^* = H_s/D$  of  $H/D$  en  $c_m$
- $\xi$

$\Gamma$  kan, behalve van deze vier grootheden, ook beschouwd worden als een functie van:

- $\alpha^*_t = \alpha_t \sqrt{D/g} = 4 kb \sqrt{D/(B+L)^2} \sqrt{g}$
- $f_w$
- $G^* = G/D = \Delta \cos \alpha$
- $\epsilon$  (zie eind paragraaf 9.2.3)

Aangenomen mag worden dat de invloed van  $\lambda^*$ ,  $\alpha^*_f$ ,  $H^*$ ,  $\xi$  en ook  $G^*$  op de grootte van  $\Gamma$  veel kleiner is dan die van  $\alpha^*_t$ ,  $f_b$  en  $\epsilon$ . Daarom wordt die hier niet expliciet meegenomen. coëfficiënt  $c_\gamma$  moet de onzekerheid over de grootte van  $\Gamma$  in verband met variaties van die eerste vijf grootheden verwerken.

Nu worden de met het numerieke programma bepaalde grootheden in formule (9.7) vervangen door benaderingen rond het ontwikkelpunt:

$$\left(\frac{H_S}{\phi_w}\right) = \left(\frac{H_S}{\phi_w}\right)_0 + \frac{\delta\left(\frac{H_S}{\phi_w}\right)}{\partial \lambda^*_0} (\lambda^* - \lambda^*_0) + \frac{\partial\left(\frac{H_S}{\phi_w}\right)}{\partial \alpha^*_f} (\alpha^*_f - \alpha^*_f)_0 + \frac{\partial\left(\frac{H_S}{\phi_w}\right)}{\partial H^*_0} (H^* - H^*_0) + \frac{\partial\left(\frac{H_S}{\phi_w}\right)}{\partial \xi^*_0} (\xi^* - \xi^*_0) \quad (9.8)$$

$$\Gamma = \Gamma_0 + \frac{\partial \Gamma}{\partial \alpha^*_{t0}} (\alpha^*_{t} - \alpha^*_{t0}) + \frac{\partial \Gamma}{\partial f_{b0}} (f_b - f_{b0}) + \frac{\partial \Gamma}{\partial \epsilon_0} (\epsilon - \epsilon_0) \quad (9.9)$$

De formules (9.7), (9.8) en (9.9) vervangen de formules (9.5) en (9.6).

Verder gaan de bepaling van de partiële afgeleiden in het ontwikkelpunt en de faalkansberekening als boven aangegeven.

bladnummer : - 130 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

10. LOS BLOK UIT BEKLEDING BEPAALD MET STEENZET/2

Bij dit beoordelingsmodel wordt voor overdrachtsfunctie I gebruik gemaakt van in golfgoten gemeten drukregistraties. Voor overdrachtsfunctie II wordt hier gebruik gemaakt van STEENZET/2. Dat is een eindige elementenprogramma. Het kan aanzienlijk meer dan STEENZET/1. Zo kunnen er gecompliceerde twee-dimensionale geometrieën mee worden gemodelleerd (knik in talud, meerdere tussenlagen), mits er gemeten drukken op het talud beschikbaar zijn. Voorts worden de volgende invloeden op de stroming in de tussenlagen en het dijklichaam expliciet meegenomen: instationariteit, de tweede dimensie (loodrecht op het talud) en turbulentie. Instationaire stroming is van belang als elastische berging van belang is. Dat is met name dan het geval als de zetting direct op zand ligt of daarvan alleen gescheiden wordt door een geotextiel. Met STEENZET/2 kan de invloed van de blokbeweging op de verschildruk echter niet berekend worden. Daarom wordt het in combinatie met STEENZET/1+ gebruikt, met name voor overdrachtsfunctie III.

De faalkansberekening kan bijna net zo worden opgezet als de in par. 9.7 beschreven "ingrijpend gewijzigde" methode: formules (9.7) (9.8) en (9.9).





De faalkansberekening verschilt in de volgende opzichten:

- De functie  $(H_s/\phi_w)$  en zeker de waarde daarvan in het ontwikkelpunt wordt nu met STEENZET/2 bepaald.
- De functie  $(H_s/\phi_w)$  kan nu ook als een functie zijn van de samendrukbaarheid van het poriënwater  $K_w$  (in dimensieloze vorm  $K_w/\gamma_w D$ ); daarom komt er één term bij in formule (9.8).
- Bij de doorlatendheidsformules hoeft niet gelinealiseerd te worden: de formules (6.26), (6.32) en (6.34) met de grootheden  $i_s$ ,  $i_t$ , en  $\lambda$  worden niet gebruikt in de STEENZET/2 berekening.  
Toch lijkt het verstandig om  $\lambda$  tóch te bepalen om daarmee de term met  $\lambda^*$  in formule (9.8) te kunnen uitrekenen.
- De onzekerheid weergegeven in coëfficiënt  $c_{\phi_w}$  is kleiner.

Om het aantal, relatief kostbare STEENZET/2 berekeningen te beperken, kan men de grootte van een of meer partiële afgeleiden in de formule (9.8) ook met STEENZET/1 bepalen.

bladnummer : - 132 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

## 11. VERVORMING TALUD DOOR KORRELTRANSPORT

### 11.1 Algemeen

Bij dit faalmechanisme kan het gaan om de korrels van een tussenlaag of van het dijklichaam. Het zal meestal gaan om korreltransport langs een grensvlak van twee lagen of transport door een geotextiel heen, maar het kan ook gaan om interne suffosie. Op een grensvlak kan het langsverhang (de langsstroming) maatgevend zijn maar ook het dwarsverhang of een combinatie van beide. In principe moeten al deze situaties beschouwd worden. In het voorbeeld van de PROVO-steenzetting (par. 7.7, figuur 7.2) gaat het enerzijds om suffosie van de fijne mijnsteen-deeltjes, anderzijds om het verlies van zandkorrels door het grensvlak tussen mijnsteen en zand heen.

Voor korreltransport is tijd nodig. Het kritische verhang zal vaak genoeg en lang genoeg overschreden moeten worden. De "bekleding" zal heten te zijn "aangetast" als zoveel korrelmateriaal is verdwenen dat een aantal blokken zodanig zijn weggezakt of scheefgezakt dat over een oppervlak van een of enkele vierkante meters het verband tussen de blokken verloren is gegaan. Het is aannemelijk dat dan de stabiliteit van die blokken zo sterk verminderd is, dat de blokken verdwijnen bij de eerste de beste flinke golf.

In principe kunnen dezelfde beoordelingsmodellen gebruikt worden als bij het faalmechanisme "los blok uit toplaag".

- Modelproeven
- Black box
- Analytisch model
- STEENZET/1
- STEENZET/2

bladnummer : - 133 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



GRONDMECHANICA  
DELFT

Bij proeven is het criterium voor de kritieke waarde van  $H_{si}/AD (\xi_p, h)$  nu echter het wegzakken of scheefzakken van blokken. Een ander verschil is de invloed van de tijd. Hier wordt uitgegaan van een zodanig proevenprogramma dat elke combinatie van  $H_s$ ,  $T_p$  en  $h$  lang genoeg duurt om na te gaan of van enig wegzakken of scheefzakken door korreltransport sprake is of helemaal niet. Is dat wel het geval dan is de kritieke waarde overschreden, omdat men dan mag aannemen dat bij de werkelijke constructie enige blokken op den duur zodanig zullen wegzakken of scheefzakken dat over een oppervlak van een of enkele vierkante meters het verband tussen de blokken verloren zal gaan. Volgens deze procedure wordt de tijd dus niet expliciet als variabele ingevoerd.

Overigens zijn weinig proefresultaten bekend waarbij dit faalmechanisme zich duidelijk heeft gemanifesteerd. Daarom is toepassing van de black box methode voorlopig van geen praktische betekenis.

Voor verlies van zand t.p.v. het grensvlak met een filterlaag is het verhang in het zand loodrecht op dat vlak belangrijk. STEENZET/2 heeft de mogelijkheid dat te berekenen. Bij de andere modellen moet dat verhang geschat worden.

bladnummer : - 134 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### 11.2 Methoden om faalkansberekeningen te maken

Bepaling van de faalkans met een van de beoordelingsmodellen "proeven" en "black box" verloopt net zo als bij het faalmechanisme "los blok uit toplaag" (hoofdstuk 7). Bepaling met het analytisch model verloopt bijna net zo als bij "los blok uit toplaag" (hoofdstuk 8). Het verschil betreft voornamelijk de andere Z-functie en daardoor ook een aantal andere formules. Zie de operationele foutenboom in de figuren 2.8A en 2.8B. Die andere formules zijn weergegeven in bijlage III, overgenomen uit een rapport van de CUR onderzoekscommissie C54 "Toegepast filteronderzoek" [11].

Bij toepassing van STEENZET/1, en vooral van STEENZET/2 zijn nauwkeuriger voorspellingen mogelijk van de optredende verhangen. De methode om faalkansen te bepalen met een van deze numerieke modellen verloopt bijna net zo als die besproken voor het faalmechanisme "los blok" (hoofdstuk 9 en 10). Doch ook hier het verschil dat de Z-functies anders zijn. Hier lijken de Z-functies weergegeven in de figuren 2.8A en 2.8B het meest geschikt. Voor de bepaling van het kritisch verhang kunnen dan dezelfde formules als bij het analytisch model worden toegepast: de formules 3.38 - 3.48 van het CUR-rapport.

### 11.3 Enige resultaten van faalkansberekeningen

In het CUR-rapport zijn de resultaten weergegeven van vier series faalkansberekeningen voor de in par. 7.7 beschreven PROVO-constructie. Twee series hebben betrekking op suffosie, twee op grensvlakstabiliteit. Een van de twee series had steeds betrekking op het neerwaarts verhang (als een golf zich terugtrekt), de andere op het opwaarts verhang (onder een golf front). Het laatste bleek, bij de gegeven hydraulische randvoorwaarden en doorlatendheden steeds een grotere faalkans op te leveren.



In elke serie zijn de schattingen omtrent de standaardafwijkingen van de belangrijkste parameters sterk gevarieerd. Dit met het oog op het doel van deze CUR-studie: het bepalen van de invloed van de onzekerheden omtrent verschillende parameters op de faalkans.

Uit de berekeningen blijkt dat de onzekerheid over de Z-functie bij de eerste berekening steeds grotendeels bepaald wordt door de onzekerheid omtrent één parameter. Pas na een sterke reductie van die betreffende standaardafwijking, blijken ook de andere onzekerheden van belang te worden. In het algemeen blijken de onzekerheden betreffende de doorlatendheden een belangrijke bijdrage aan de totale onzekerheid te leveren net als bij het faalmechanisme "los blok uit top laag". Daarnaast zijn vooral de onzekerheden betreffende het kritisch verhang (suffosie), respectievelijk het verhang loodrecht op het grensvlak door elastische berging van belang.

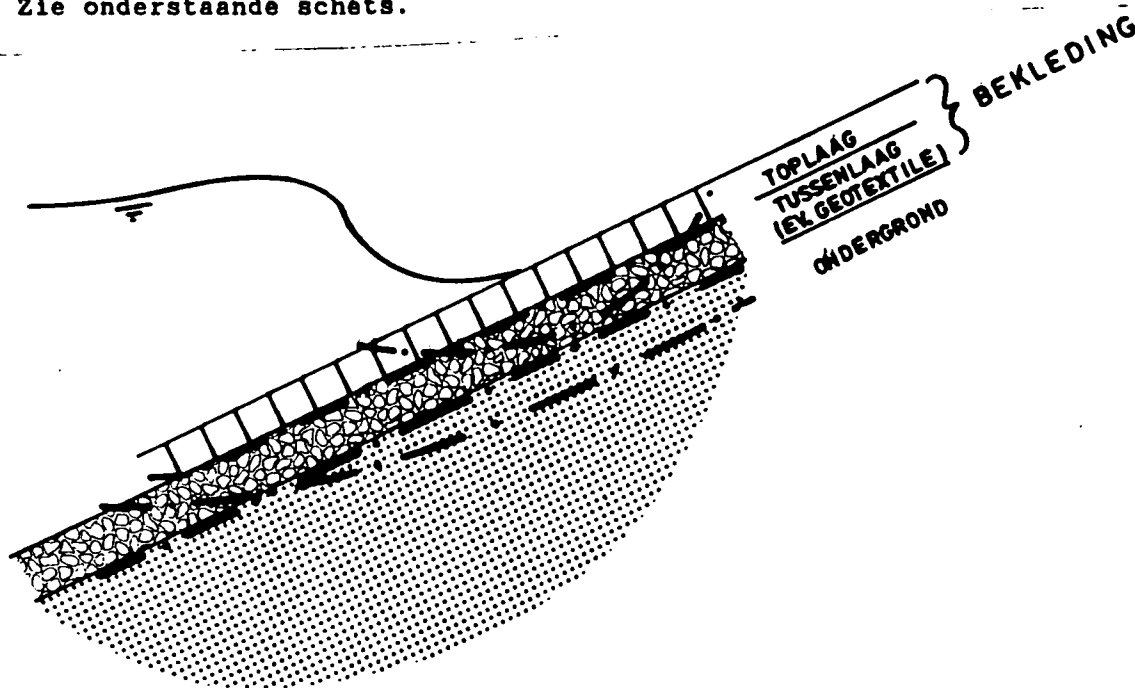
Tenslotte valt op te merken dat, bij de hier aangenomen verhouding  $D_{1, f} / D_{s, b} = 25$ , de faalkans voor de grensvlak stabiliteit groot is (12 à 25%). Daarbij moet echter bedacht worden dat een wellicht belangrijke extra veiligheid verborgen zit in de keuze van het faal criterium: een beetje zandverlies bij de steilste golf. Het verdient aanbeveling om dit criterium in de toekomst scherper te stellen. De faalkans door intern stabiliteitsverlies van mijnsteen (suffosie) bedraagt niet meer dan enige procenten.

bladnummer : - 136A -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : 1991-09-11

## 12 LOCALE AFSCHUIVING VAN BEKLEDING OF ONDERGROND

### 12.1 Algemeen

Het gaat hier om "grondmechanische instabiliteit" ofwel ondiepe afschuivingen, dat wil zeggen om het afschuiven van (een deel van) de talusbekleding met eventueel een deel van de ondergrond van ten hoogste enige decimeters dik. Afschuivingen langs diepere glijvlakken worden niet meer veroorzaakt door falen van de talusbekleding. De ondiepe afschuivingen kunnen langs allerlei glijvlakken geschieden. Zie onderstaande schets.



Het afschuiven van de bekleding wordt vooral beïnvloed door de volgende factoren:

- De gradient van de externe stijghoogte, die een belangrijke aandrijvende kracht naast het eigen gewicht veroorzaakt.
- De interne stijghoogte die hoger kan zijn dan de externe en daardoor de korrelspanning doet verminderen.
- De soms vrij geringe wrijvingshoek  $\delta$  tussen twee bekledingsmaterialen.
- De steun die de teenconstructie kan leveren; soms ook de trekkracht waarmee het eventuele geotextiel de bekleding naar boven toe kan verankeren.



Afschuivingen met een ondiep glijvlak zullen in het algemeen een beperkte lengte hebben, orde  $H \cdot \cot \alpha$ . Van "bekleding aangetast" zal sprake zijn zodra een aantal blokken zodanig verplaatst is dat over een oppervlak van tenminste een vierkante meter het verband tussen de blokken verloren is gegaan. Het is aannemelijk dat dan de stabiliteit van de toplaag zo sterk is verminderd, dat de blokken verdwijnen bij de eerste beste flinke golf.

In principe kunnen voor dit faalmechanisme ook de beoordelingsmodellen "modelproeven" en "black box" gebruikt worden. Het afschuiven van de bekleding wordt dan impliciet tegelijk met de andere faalmechanismen beoordeeld. In het volgende zal echter aandacht besteed worden aan de analytische relaties die voor dit faalmechanisme zijn afgeleid. De resultaten van het onderzoek naar dit faalmechanisme zijn samengevat in sectie 2 van [17]. De belangrijkste praktische resultaten alsmede de belangrijkste analytische relaties zijn te vinden in sectie 1 van diezelfde bundel.

## 12.2 Steenzetting op granulair filter

Het afschuiven van de bekleding voor dit type constructie wordt besproken in paragraaf 3.2 van laatst genoemd rapport. Daarbij gaat het in de eerste plaats om min of meer rechte glijvlakken. Kritiek voor het ontstaan daarvan kunnen twee momenten van de golfperiode zijn: het moment vlak voor breken en het moment waarop de stijghoogte aan de teen maatgevend is.

Formules voor de stabiliteit zijn te vinden in bijlage B van sectie 1 van [17]. Die formules geven de belasting van de teenconstructie  $F_t$  als functie van een aantal grootheden met betrekking tot de waterdruk op het talud, de waterdruk langs het potentiële glijvlak, de taludgeometrie en de eigenschappen (hydraulische en mechanische) van bekleding en dijklichaam. De grootte van parameters voor de waterdruk op het talud  $h_b = \phi b$ ,  $\beta$  en  $R_d = d_s$  zijn te vinden met de formules van bijlage A van sectie 1 van [17] of met de formules 8.1, 8.2 en 8.6 in dit rapport; de nauwkeurigheid volgt op dezelfde wijze als aangegeven in hoofdstuk 8. Voor de verwachtings-waarde van  $C_4$  kan men 0,7 nemen, voor de standaardafwijking 0,1. De bepaling van de waterdruk langs het glijvlak zit grotendeels verwerkt in de formules. Alleen dient men de parameter  $z_2$  in te vullen. Deze kan geschat worden met behulp van figuur 3.5 van [16], waar deze grootheid met "h" wordt aangeduid. Naast de lekhoogte  $\lambda$ , die bepaald kan worden overeenkomstig paragraaf 6.3, is hier van de eigenschappen van bekleding en dijklichaam alleen de wrijvingshoek  $\delta$  van belang. Deze kan geschat worden op basis van de gegevens [17], sectie 1, paragraaf 2.4.2 of sectie 2, hoofdstuk 5.

De sterkte van de teenconstructie  $R$  dient men apart te schatten of te berekenen, bijvoorbeeld met een damwand berekening.

Ook golfklappen kunnen tot afschuivingen leiden langs min of meer circelvormige glijvlakken. Daarvoor is een formule te vinden in [17], sectie 2, paragraaf 8.2. Tevens is daar aangegeven hoe men de benodigde parameters kan bepalen.

bladnummer : - 136C -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : 1991-09-11

### 12.3 Steenzetting op geotextiel op zand

Het afschuiven van de bekleding voor dit type constructie wordt besproken in paragraaf 3.5 van sectie 1 van [17]. Men kan de stabiliteit op dezelfde manier bepalen als besproken in paragraaf 12.2, zij het dat er deels andere formules gebruikt moeten worden of extra gegevens nodig zijn:

- Als het geotextiel trekkracht kan opnemen en overdragen naar een verankering boven de golfzone, zijn speciale formules toepasbaar, zoals is aangegeven in bijlage B van sectie 1 van [17].
- Een glijvlak in het zand kan maatgevend zijn als de stijghoogte daar, als gevolg van elastische berging, veel minder varieert dan aan het oppervlak. Daartoe dient men de stabiliteit te berekenen voor een glijvlak op een diepte  $D_L$  onder het taludoppervlak, een diepte die bepaald kan worden met de formule van paragraaf 2.4.4 van sectie 1 van [17]. Daarvoor moet men een schatting maken van de doorlatendheid van het zand en het luchtgehalte in het poriënwater, resulterend in een schatting van de consolidatie coëfficiënt  $c_v$ .
- Als het zand losgepakt is, kan er bovendien een extra wateroverdruk in het zand, vlak onder het geotextiel of vlak onder de blokken ontstaan als gevolg van de geleidelijke volumeverkleining van het zand door cyclische belasting. Zie hoofdstuk 7 van sectie 2 van [17].

### 12.4 Steenzetting op klei

Men kan de stabiliteit voor het grensvlak tussen zetting en klei op dezelfde manier bepalen als besproken in paragraaf 12.2, uitgaande van een zeer doorlatende bekleding. Vergelijk ook [17], sectie 2, paragraaf 9.3.4.

### 12.5 Methoden om faalkansberekeningen te maken

Bepaling van de faalkans met een van de beoordelingsmodellen "proeven" en "black box" verloopt net zo als bij het faalmechanisme "los blok uit toplaag" (hoofdstuk 7). Bepaling met de bovengenoemde analytische relaties verloopt in wezen net zo als bij het analytisch beoordelingsmodel voor "los blok uit toplaag" (hoofdstuk 8). Het gaat echter deels om andere formules en andere parameters. Zie de operationele foutenboom in figuur 2.9. Van elk van de invoerparameters (invoergrootheden) is een verwachtingswaarde te geven en een standaardafwijking te schatten.

Om de onzekerheid betreffende de formules weer te geven, zou men aan de grootte van de belasting op teen en eventueel anker een term  $cf$  kunnen toevoegen met verwachtingswaarde 0 en standaardafwijking  $0,3 \cdot \gamma_w \cdot D \cdot H_s$ , zodat de belasting wordt:  $S = Ft + Fa + cf$ .





### 13. INVLOED DIJKLENGTE

#### 13.1 Algemeen

De invloed van de dijk lengte op de faalkans is bestudeerd door Calle in [21]. Hij heeft ook een praktische methode ontwikkeld om die invloed te kwantificeren. Deze zal hier worden samengevat, althans voor het faalmechanisme "los blok uit toplaag".

De kans op een "los blok uit de toplaag" zoals bepaald volgens een van de hoofdstukken 7,8,9 of 10, geldt bij aanwezigheid van één los blok in de zetting. Als de kans op de aanwezigheid van één of meer losse blokken in een bepaald dijkvak veel kleiner is dan één, zal ook de totale faalkans veel kleiner zijn dan de berekende faalkans  $P_f$ , voor als er één blok los zit.

Als daarentegen vele blokken ( $n$  blokken) in het beschouwde dijkvak los zitten, zal de faalkans  $P_{fn}$ , dus de kans dat tenminste één blok uit de toplaag gaat groter zijn dan de faalkans  $P_f$ . De faalkans  $P_{fn}$  is echter meestal veel kleiner dan  $n$  keer  $P_f$ , omdat de kans dat een bepaald los blok uit de toplaag gaat, gedeeltelijk gecorreleerd is aan de kans van een ander blok. In 13.2 wordt uiteengezet hoe  $P_{fn}$  bepaald kan worden.

bladnummer : - 138 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

De faalkans  $P_f$ , maar ook iedere faalkans  $P_{fn}$ , is een GECONDITIONEERDE faalkans. Hij geldt onder de conditie dat er 1 los blok is (n losse blokken zijn). Het is derhalve nodig om de kans op de aanwezigheid van een of meer losse blokken in een dijkstrekking te weten. Daartoe moet onderzoek verricht worden (zie ook de aanbevelingen in hoofdstuk 14). Hier wordt aangenomen dat op basis daarvan een schatting gemaakt kan worden op het aantal losse blokken per meter dijk lengte  $1/L_d$ . In par. 13.3 wordt uiteengezet hoe dat gegeven gecombineerd kan worden met de lengte van de dijkstrekking en met de grootte van  $P_{fn}$  om de totale, ongeconditioneerde faalkans van de dijkstrekking te vinden.

## 13.2 Faalkans als er n blokken los zitten $P_{fn}$ .

### 13.2.1 Principe

De in de hoofdstukken 7, 8 en 9 bepaalde faalkansen worden deels bepaald door de onzekerheid omtrent de waterstand  $S_v$ , deels door de onzekerheid over de blokdikte  $D$ , deels door een aantal andere onzekerheden. Hoe groot de bijdrage van elke van die onzekerheden aan de variantie ( $\sigma^2$ ) van de Z-functie is, kan men vinden in de laatste kolom van de tabellen 7.1. - 7.4, 8.5 - 8.9, 9.1 en 9.2.

Nu zal de waterstand  $S_v$  over de hele dijkstrekking gelijk zijn. Als die tegenvalt geldt dat voor alle loszittende blokken. Zo'n grootte wordt hier een "globale grootte" genoemd. Die grootte is volledig gecorreleerd. Als de bijdrage van de onzekerheid omtrent een globale grootte aan de onzekerheid van de Z-functie 100% zou zijn, dan zou de faalkans bij tien losse blokken ( $n=10$ ) gelijk zijn aan die bij één los blok:  $P_{f_{10}} = P_{f_1}$ .

bladnummer : - 139 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



De blokdikte D daarentegen kan van plaats tot plaats variëren. Wellicht mag men aannemen dat de blokdikte volledig ongecorreleerd is. Zo'n grootheid wordt hier een "locale grootheid" genoemd. Zou de bijdrage van de onzekerheid omtrent de locale grootheden aan de onzekerheid omtrent Z 100% zijn, dan zou de faalkans bij tien losse blokken ( $n = 10$ ) zijn:  $P_{f_{10}} = 1 - (1 - P_{f_1})^{10}$ . Als  $P_{f_1} \ll 1$ , dan geldt  $P_{f_{10}} \approx 10 P_{f_1}$ . De kans op falen is dan dus praktisch recht evenredig met het aantal losse blokken.

Ook voor de andere parameters kan men onderscheid maken tussen de parameters die praktisch volledig gecorreleerd zijn, de "globale" parameters (vnl. de parameters betreffende de hydraulische randvoorwaarden en die betreffende de betrouwbaarheid van bepaalde modellen) en die welke praktisch ongecorreleerd zijn de "locale" parameters (vnl. die betreffende de sterkte, voorzover niet bepaald door de denk- en rekenmodellen). Nu volgen de bijdragen van iedere parameter aan de variantie van de Z-functie,  $\sigma^2(Z)$ , uit de faalkansberekeningen. Zij zijn gegeven in de laatste kolommen van de tabellen 7.1. - 7.4, 8.5 enz. De bijdrage van alle globale parameters aan de variantie van de Z-functie,  $\sigma^2(Z)$ , zullen hier aangeduid worden met  $\sigma^2(g)$ , die van alle locale parameters met  $\sigma^2(l)$ . Dus:

$$\sigma^2(Z) = \sigma^2(g) + \sigma^2(l) \quad (10.1)$$

Op basis van deze vergelijking is de faalkans  $P_{fn}$  dat  $Z < 0$  te bepalen.

bladnummer : - 140 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Berekening van de exacte faalkans  $P_{fn}$  (exact) is echter in het algemeen ingewikkeld. Nu zijn er twee ondergrens benaderingen die weliswaar beide een te lage faalkans geven, maar als men de grootste van beide kiest is het verschil met de exacte faalkans nooit meer dan 30%. Men kan  $P_{fn}$  bij benadering gelijk gesteld aan de grootste van deze 2 ondergrenzen: die volgens de methode van de "vervangende integrand" te bepalen met de formules (10.2) (10.3) en (10.4) en die volgens de methode van de heer Ditlevsen, te bepalen met de formules (10.5) en (10.6).

### 13.2.2. Bepaling $P_{fn}$ (vervangende integrand)

Volgens de methode van de vervangende integrand kan  $P_{fn}$  als volgt bepaald worden [21]:

$$P_{fn} \text{ (vervangende integrand)} = \Phi \left\{ - \frac{\beta - \sqrt{(1-\rho)} \cdot \Phi^{-1} (0,5^{1/n})}{\sqrt{(\rho + (1-\rho) \cdot a^2 (n))}} \right\} \quad (10.2)$$

met:  $\Phi\{\}$  = standaard normale kansverdelingsfunctie

bijvoorbeeld  $\Phi\{-1,0\}$  = onderschrijdingskans van  $\mu - 1,0\sigma$   
= 0,1587

$\Phi^{-1}$  = inverse van  $\Phi$ , bijv.  $\Phi^{-1}(0,1587) = -1,0$

$\beta$  =  $\mu(Z)/\sigma(Z)$

$\rho$  =  $\sigma^2(g)/\sigma^2(Z)$

$a^2(n)$  = functie, waarvan de waarde is gegeven in onderstaande tabel.

$\mu(Z)$  en  $\sigma(Z)$  zoals bepaald op basis van de aanwezigheid van één los blok. Aangetoond kan worden dat deze benadering een ondergrens voor de seriefaalkans oplevert.

Analoog aan de betrouwbaarheidsfunctie voor één element,  $Z$ , kunnen we een betrouwbaarheidsfunctie  $Z_{\text{sys},n}$  voor het seriesysteem definiëren, middels de verwachtingswaarde en de variantie:

$$\mu (Z_{\text{sys},n}) \approx \mu(Z) - \sigma(Z) \cdot \phi^{-1} (0,5^{1/n}) \quad (10.3a)$$

$$= \mu(Z) - \sqrt{(1-\rho)} \cdot \sigma(Z) \cdot \phi^{-1} (0,5^{1/n}) \quad (10.3b)$$

en

$$\sigma^2 (Z_{\text{sys},n}) \approx \sigma^2 (g) + \sigma^2 (Z) \cdot a^2 (n) \quad (10.4a)$$

$$= \sigma^2 (Z) \{ \rho + (1 - \rho) a^2 (n) \} \quad (10.4b)$$

Enige waarden voor  $\phi^{-1} (0,5^{1/n})$  en  $a^2 (n)$  zijn gegeven in onderstaande tabel.

bladnummer : - 142 -  
 ons kenmerk: CO-291810  
 datum : juli 1988

Tabel. Waarden voor  $\phi^{-1}(0,5^{1/n})$  en  $a^i(n)$ .

| n  | $\phi^{-1}(0,5^{1/n})$ | $a^i(n)$ |
|----|------------------------|----------|
| 1  | 0.0                    | 1.0      |
| 2  | 0.5446                 | 0.6726   |
| 3  | 0.8191                 | 0.5477   |
| 4  | 0.9981                 | 0.4787   |
| 5  | 1.1291                 | 0.4339   |
| 6  | 1.2315                 | 0.4018   |
| 8  | 1.3854                 | 0.3583   |
| 10 | 1.4991                 | 0.3295   |
| 15 | 1.6941                 | 0.2859   |
| 20 | 1.8246                 | 0.2604   |
| 30 | 1.9988                 | 0.2306   |
| 40 | 2.1163                 | 0.2128   |
| 50 | 2.2043                 | 0.2006   |

### 13.2.3 Bepaling $P_{fn}$ (Ditlevsen)

Volgens de methode van Ditlevsen kan  $P_{fn}$  als volgt bepaald worden [21]:

$$\begin{aligned}
 P_{fn}^{inf, Ditlevsen} &= P_{f_1} + \sum_{i=2}^n \max(0, P_{f_1} - (i-1) P_{fd}) \\
 &= i_m P_{f_m} - 0,5 i_m (i_m - 1) P_{fd}
 \end{aligned}
 \tag{10.5}$$

waarin  $P_{f_1}$  de faalkans is voor één los blok,  $P_{fd}$  de kans op het falen ter plaatse van beide van 2 willekeurig aangewezen losse blokken uit het seriesysteem (kans op doorsnede van twee gebeurtenissen) en  $i_m$  het kleinste gehele getal dat groter is dan of gelijk aan  $P_{f_1}/P_{fd}$  en maximaal gelijk aan  $n$ . Voor de berekening van de doorsnedekans kunnen we de benadering (Ditlevsen):

$$P_{fd} \approx 2\phi(-\beta)\phi(-\beta^*) \quad (10.6a)$$

hanteren, waarin:

$$\beta^* = \beta \sqrt{\frac{1-\rho}{1+\rho}} \quad (10.6b)$$

#### 13.2.4 Voorbeelden

In de tabel op de volgende bladzijde worden drie voorbeelden gegeven, die alle uitgaan van de in tabel 7.1 gegeven uitkomst, maar waarbij verschillende waarden voor  $\rho = \sigma^2(g)/\sigma^2(Z)$  aangenomen worden en steeds  $n = 10$  genomen wordt. Volgens de uitkomst van tabel 7.1 geldt:

$$\beta = \mu(Z)/\sigma(Z) = 2,788$$

$$P_{f_1} = \phi(-\beta) = 0,00265$$

Deze waarden zijn ingevuld in de formules (10.3), (10.4) en (10.2) om de waarden van respectievelijk  $\mu(Z_{\text{sys},10})$ ,  $\sigma^2(Z_{\text{sys},10})$  en  $P_{f_{10}}$  te krijgen voor de kolom "vervangende integrand". Ook zijn ingevuld de formules (10.6a), (10.6b) en (10.5) om de waarden van respectievelijk  $\beta^*$ ,  $P_{fd}$  en  $P_{f_{10}}$  te krijgen voor de kolom "Ditlevsen". In de laatste kolom is de grootste van beide kansen vermeld en vergeleken met de exacte faalkans, voorzover bekend.

Als  $\rho = 1$  betekent dat "volledig correlatie" en moet dus, volgens paragraaf 13.2.1,  $P_{f_{10}} = P_{f_1}$ . Zowel de vervangende integrand als Ditlevsen komen ook op deze waarde uit. Als  $\rho = 0$  betekent dat "geen enkele correlatie" en moet dus  $P_{f_{10}} = (1 - 0,00265)^{10} = P_{f_1}$ . De waarde van Ditlevsen komt daarmee overeen. De waarde volgens de vervangende integrand is kleiner. Maar kiest men de grootste van beide waarden (Ditlevsen) dan komt men toch op exact de goede waarde uit. Bij  $\rho = 0,5$  blijkt de vervangende integrand de grootste waarde op te leveren en moet men die dus gebruiken.

| Voorbeeld | $\rho$ | Vervangende integrand   | Ditlevsen  | Conclusie  |
|-----------|--------|---|--|--|
| A         | 1      | $\mu(Z_{\text{Syst},10}) = \mu(Z)$<br>$\sigma^2(Z_{\text{Syst},10}) = \sigma^2(Z)$<br>$P_{f_{10}} = \Phi(-\beta) = 0,00265$   | $\beta^* = 0$<br>$P_{fd} = 2.0,00265.0,5 = 0,00265$<br>$P_{f_1}/P_{fd} = 1$<br>$i_m = 1$<br>$P_{f_{10}} = 1.P_f = 0,00265$   | $P_{f_{10}}$ (verv. intgr.) =<br>$P_{f_{10}}$ (Ditlevsen) =<br>$P_{f_{10}}$ (exact) = $P_{f_1}$  |
| B         | 0      | $\mu(Z_{\text{Syst},10}) = \mu(Z) - 1,499.\sigma(Z)$<br>$\sigma^2(Z_{\text{Syst},10}) = 0,3295.\sigma^2(Z)$<br>$P_{f_{10}} = \Phi\left(-\frac{\beta - 1,499}{\sqrt{0,3295}}\right)$<br>$= \Phi(-2,25) = 0,0122$   | $\beta^* = \beta$<br>$P_{fd} = 2.0,00265.0,00265$<br>$P_{f_1}/P_{fd} = \frac{1}{2.0,00265} = 188,6$<br>$i_m = \min(10,189) = 10$<br>$P_{f_{10}} = 10P_{f_1} - \frac{1}{2}.10.9.P_{fd}$<br>$= 0,0265 - 0,0006 = 0,0259$ | $P_{f_{10}}$ (Ditl.) > $P_{f_{10}}$ (verv. int.)<br>dus $P_{f_{10}} = P_{f_{10}}$ (Ditlevsen)<br>$= P_{f_{10}}$ (exact)<br>$= 1 - (1-0,00265)^{10}$<br>$= 0,0262 \approx 10 P_{f_1}$ |
| C         | 0,5    | $\mu(Z_{\text{Syst},10}) = \mu(Z) - \sqrt{0,5}.1,499.\sigma(Z)$<br>$= \mu(Z) - 1,060\sigma(Z)$<br>$\sigma^2(Z_{\text{Syst},10}) = (0,5 + 0,5.0,3295)\sigma^2(Z)$<br>$= 0,665\sigma^2(Z)$<br>$P_{f_{10}} = \Phi\left(-\frac{\beta - 1,060}{\sqrt{0,665}}\right)$<br>$= \Phi(-2,12) = 0,0170$ | $\beta^* = \beta/\sqrt{t} = 1,610$<br>$P_{fd} = 2.0,00265.0,0548$<br>$P_{f_1}/P_{fd} = \frac{1}{2.0,0548} = 9,12$<br>$i_m = 10$<br>$P_{f_{10}} = 10P_{f_1} - \frac{1}{2}.10.9.P_{fd}$<br>$= 0,0265 - 0,0130 = 0,0135$  | $P_{f_{10}}$ (verv. int.) > $P_{f_{10}}$ (Ditl.)<br>dus $P_{f_{10}} = P_{f_{10}}$ (verv. int.)<br>$= 0,0170$   |



### 13.3 Totale faalkans $P_f$

In 13.2 is aangegeven hoe de geconditioneerde faalkans  $P_{f_n}$  bepaald kan worden als  $n$  exact bekend is. Dat is meestal niet zo. Als wél bekend is dat er gemiddeld één blok los zit per stuk dijk met lengte  $L_d$ , dan is voor de totale dijkstrekking met lengte  $L_e$  de totale faalkans  $P_f$  als volgt te bepalen:

$$\text{Als } L_e \ll L_d \text{ volgt } P_f \approx \frac{L_e}{L_d} \cdot P_{f_1} \quad (10.7)$$

Dan is de faalkans namelijk bij benadering gelijk aan het produkt van de kans dat er één of meer losse blokken zijn ( $= L_e/L_d$ ) en de kans op falen, gegeven één los blok ( $= P_{f_1}$ ).

$$\text{Als } L_e \gg L_d \text{ volgt } P_f \approx P_{f_{n^*}} \quad (10.8)$$

met  $n^*$  - het gehele getal dat het dichtst bij  $L_e/L_d$  ligt

Deze formules kan men ook als eerste benadering gebruiken voor als  $L_e$  dezelfde orde van grootte als  $L_d$  heeft. Nauwkeuriger is toepassing van:

$$P_f = \sum_{n=1}^{\infty} P_n P_{f_n} \quad (10.9)$$

met  $P_n$  - kans op precies  $n$  losse blokken in de dijkstrekking.

De kansen  $P_n$  zijn voor elke  $n$  te bepalen met de Poisson verdeling:

$$P_n = \exp(-L_e/L_d) \cdot \frac{(L_e/L_d)^n}{n!}$$

Opmerking: volgens deze kansverdeling is de verwachtingswaarde van het aantal losse blokken in de dijkstrekking  $= L_e/L_d$  en de standaardafwijking  $= \sqrt{L_e/L_d}$

Voorbeelden:

$$\begin{array}{l}
 \text{I } \left. \begin{array}{l} L_d = 10.000\text{m} \\ L_e = 1.000\text{m} \end{array} \right\} Le/L_d = 0,1 \\
 P_1 = \exp(-0,1) \frac{0,1}{1} = 0,0905 \\
 P_2 = \exp(-0,1) \frac{0,01}{2} = 0,0045 \\
 P_3 = \exp(-0,1) \frac{0,001}{6} = 0,0002
 \end{array}$$

In combinatie met voorbeeld A van par. 13.2.4:

$$\begin{array}{l}
 P_1 \cdot Pf_1 = 0,0905 \cdot 0,00265 \\
 P_2 \cdot Pf_2 = 0,0045 \cdot 0,00265 \\
 P_3 \cdot Pf_3 = 0,0002 \cdot 0,00265 \\
 \dots\dots = \dots\dots\dots
 \end{array}$$

---


$$Pf = \sum_{n=1}^{\infty} P_n Pf_n = Pf_1 \sum_{n=1}^{\infty} P_n = 0,00265 \cdot 0,1$$

In combinatie met voorbeeld B van par. 13.2.4:

$$\begin{array}{l}
 P_1 Pf_1 = 0,0905 \cdot 0,00265 = 0,000240 \\
 P_2 Pf_2 = 0,0045 \cdot \{1 - (1 - 0,00265)^2\} = 0,000024 \\
 P_3 Pf_3 = 0,0002 \cdot \{1 - (1 - 0,00265)^3\} = 0,000001 \\
 P_4 Pf_4 = 0,0000 \cdot \{1 - (1 - 0,00265)^4\} = 0,000000 \\
 \dots\dots = \dots\dots
 \end{array}$$

---


$$Pf = \sum_{n=1}^{\infty} P_n Pf_n = 0,000266 \approx 0,1 Pf_1$$

Dus de benadering volgens (10.7) is bij  $Le/L_d \leq 0.1$  bruikbaar.

II Ld = 333m

$$Le/Ld = 3$$

Le = 1.000m

$$n^* = 3$$

$$P_1 = \exp(-3) \cdot \frac{1}{1} = 0,1494$$

$$P_2 = \exp(-3) \cdot \frac{1}{2} = 0,2240$$

$$P_3 = \exp(-3) \cdot \frac{2^2}{6} = 0,2240$$

$$P_4 = \exp(-3) \cdot \frac{4^3}{24} = 0,1680$$

$$P_5 = \exp(-3) \cdot \frac{4^4 \cdot 3}{120} = 0,1008$$

$$P_6 = \exp \dots \dots = 0,0504$$

$$P_7 = \exp \dots \dots = 0,0216$$

$$P_8 = \exp \dots \dots = 0,0081$$

$$P_9 = \exp \dots \dots = 0,0027$$

$$P_{10} = \exp \dots \dots = 0,0008$$

In combinatie met voorbeeld A:

$$Pf = Pf_1 \sum_{n=1}^{\infty} P_n \approx 0,00265 \cdot 0,95 \approx Pf_{n^*}$$

Dit komt overeen met de benadering volgens (10.8)

In combinatie met voorbeeld B van par. 13.2.4:

$$P_1 \cdot Pf_1 = 0,1494 \cdot 0,00265 = 0,000396$$

$$P_2 \cdot Pf_2 = 0,2240 \cdot \{1 - (1 - 0,00265)^2\} = 0,001186$$

$$P_3 \cdot Pf_3 = 0,2240 \cdot \{1 - (1 - 0,00265)^3\} = 0,001776$$

$$P_4 \cdot Pf_4 = 0,1680 \cdot \dots \dots = 0,001774$$

$$P_5 \cdot Pf_5 = 0,1008 \cdot \dots \dots = 0,001329$$

$$P_6 \cdot Pf_6 = 0,0504 \cdot \dots \dots = 0,000796$$

$$P_7 \cdot Pf_7 = 0,0216 \cdot \dots \dots = 0,000398$$

$$P_8 \cdot Pf_8 = 0,0081 \cdot \dots \dots = 0,000170$$

$$P_9 \cdot Pf_9 = 0,0027 \cdot \dots \dots = 0,000064$$

$$P_{10} \cdot Pf_{10} = 0,0008 \cdot \dots \dots = 0,000021$$

†

---


$$Pf = \sum_{n=1}^{\infty} P_n Pf_n \approx 0,0078 = 2,9 \cdot Pf_1 \approx Pf_{n^*}$$

Dus de benadering volgens (10.8) is bij  $Le/Ld \geq 3$  bruikbaar.

bladnummer : - 148 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

#### 13.4 Conclusies

Als  $L_e \ll L_d$ , dus als de kans op het voorkomen van één of meer losse blokken in een dijkstrekking beduidend kleiner is dan 1, dan is de totale faalkans steeds praktisch gelijk aan het produkt van  $L_e/L_d$  en de faalkans horend bij één los blok. De faalkans is dan dus recht evenredig met de dijk lengte.

Als  $L_e > L_d$ , dus als er waarschijnlijk minstens één los blok in de dijkstrekking is, dan geldt voor de totale faalkans  $P_f$  bij benadering:

$$P_{f_1} \leq P_f \leq \frac{L_e}{L_d} \cdot P_{f_1}$$

Als  $L_e \gg L_d$  en de meeste factoren die de onzekerheid van de faalkansfunctie  $Z$  bepalen zijn van plaats tot plaats gecorreleerd, dus  $\rho \approx 1$  en  $\sigma^2(g) \approx \sigma^2(Z)$ , dan geldt  $P_{f_n} \approx P_{f_1}$ . De dijk lengte is dan dus niet van belang. Het omgekeerde geldt als de meeste factoren lokaal bepaald zijn, dus  $\rho \approx 0$ ,  $\sigma^2(g) \approx 0$  en  $\sigma^2(\bar{1}) \approx \sigma^2(Z)$ .

Dan is de faalkans praktisch recht evenredig met de dijk lengte.

14 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Een kwalitatieve analyse van de diverse aspecten, die van belang zijn bij de beoordeling van de veiligheid van een steenzetting, is uitgangspunt geweest van de onderhavige burostudie. De kwantitatieve uitwerking ervan is voornamelijk beperkt gebleven tot het falen van een steenzetting als gevolg van het uitlichten van een los blok door de hydraulische belasting. Dit faalmechanisme is naast enkele andere mogelijke faalmechanismen weergegeven in de foutenboom van figuur 2.3.

Vijf modellen om de stabiliteit van een los blok te bepalen zijn in de studie betrokken:

- Proeven.
- Black-box model:  
De constructies, waarvan in het verleden de stabiliteit met grootschalig modelonderzoek is bepaald, vormen voor dit model de basis. Om de stabiliteit van een concrete constructie te berekenen worden de meetresultaten van vergelijkbare constructies gebruikt.
- Analytische model:  
Op basis van door onderzoek verkregen inzicht in de stabiliteit van een los blok zijn er semi-empirische formules opgesteld. Hiermee kan voor een aantal typen constructies de stabiliteit berekend worden.
- Numerieke modellen:  
Deze modellen gaan uit van de in een fysisch model gemeten druk op de constructie. Met behulp van de numerieke modellen STEENZET I+ en/of II is vervolgens de stabiliteit te berekenen.

bladnummer : - 150 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Het doel van het onderzoek is de betrouwbaarheidsanalyse van steenzettingen. Dit is concreet uitgewerkt in het volgende:

- het bepalen van de partiële veiligheidscoëfficiënten (met behulp van niveau II berekeningen), zodat in de praktijk verantwoorde niveau I berekeningen mogelijk zijn.  
Dit doel is bereikt voor enkele constructie-typen voor het analytisch model (*maar daarbij zijn de inzichten van na 1988 nog niet verwerkt; zie daarvoor [19]*). Voor één constructie en faalkans zijn ze ook voor het black-box model afgeleid (*maar daarbij zijn de proefresultaten van na 1987 nog niet verwerkt; zie daarvoor [18]*).
- het aangeven van hoe faalkansberekeningen kunnen worden opgezet voor verschillende faalmechanismen en beoordelingsmodellen.
- het geven van voorbeelden van niveau II berekeningen die resulteren in een faalkans van een concrete constructie. Dit is gedaan met het numerieke, het analytische en met het black-box model voor een constructie met Haringman blokken op mijnsteen, die ook beproefd is in de Deltagoot [7].

#### Analytisch model

Met betrekking tot het analytische model zijn twee constructie-typen beschouwd (zie paragraaf 8.2.2). De eerste (type A) bestaat uit een enkele filterlaag van vrij grof materiaal met daarop kleine dichte blokken. Het tweede constructie-type (B) bestaat uit een mijnsteenlaag en uitvullaag met daarop grote dichte blokken. In tabel 8.18 zijn de geadviseerde veiligheidscoëfficiënten gepresenteerd (zie ook paragraaf 8.5.3; *in [19] zijn nieuwere inzichten verwerkt, hetgeen geleid heeft tot iets andere coëfficiënten*).

bladnummer : - 151 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



GRONDMECHANICA  
DELFT

Uit de berekeningen kan geconcludeerd worden dat voor het analytische model de onzekerheid in de hydraulische randvoorwaarden (vooral de significante golfhoogte) een grote invloed op de faalkans heeft. De grootte van het aandeel op de totale onzekerheid is echter sterk afhankelijk van het constructie-type. Voor het eerste type (A) is het aandeel van de hydraulische randvoorwaarden orde 60%, terwijl dat bij het tweede type slechts orde 45% is. Het aandeel van de onzekerheid van de geometrie op het totaal is wel steeds gelijk: orde 6%. Het resterende deel kan toegeschreven worden aan de onzekerheid in de formules, dat derhalve voor type A orde 30% is en voor type B orde 50%.

#### Voorbeeldberekeningen: Haringmanblokken op mijnsteen

Voor èèn constructie zijn met alle modellen, behalve STEENZET II, faalkansberekeningen gemaakt. Het gaat om de steenzetting met Haringmanblokken op mijnsteen die voor de PROVO (BARCON) studie is onderzocht, ook met behulp van modelproeven in de Delta-goot [7]. Voor deze berekeningen is de constructie onderworpen aan gefingeerde, niet erg zware hydraulische randvoorwaarden.

De resultaten van de faalkansberekening gemaakt voor het STEENZET I+ zijn helaas niet geheel betrouwbaar, mede omdat gebruik is gemaakt van de resultaten van oude STEENZET-berekeningen. Aanbevolen wordt om toch nieuwe berekeningen te maken en om dan faalkansberekeningen uit te voeren volgens het in paragraaf 9.6 aanbevolen principe.

bladnummer : - 152 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Ondanks die gebreken en ondanks de beperking tot èèn constructie lijken de volgende conclusies over de faalkansberekeningen gerechtvaardigd:

- De berekende faalkansen kunnen een factor 3 à 10 verschillen, waarbij de meer verfijnde beoordelingsmodellen leiden tot kleinere faalkansen
- De faalkansen zijn relatief hoog gezien de niet erg zware hydraulische randvoorwaarden.
- De  $H_s/\Delta D$  -waarden in het ontwerppunt (daar waar de faalkansdichtheid het grootst is:  $H_s/\Delta D = 2.1$  à  $2.8$ ) zijn veel lager dan die welke men zou verwachten op grond van de Delta-goot proeven. Bezwijken trad daar op bij  $H_s/\Delta D = \text{ca } 6$ . Maar vermoedelijk hebben tijdens de proeven geen blokken los gezeten.
- De faalkansen berekend met het "black box" model op basis van proeven met regelmatige golven blijken veel hoger te zijn dan die gebaseerd op proeven met onregelmatige golven. Aanbevolen wordt om de oorzaken nader te bestuderen en daarbij met name te letten op de verhouding tussen de maatgevende golfhoogte en de significante golfhoogte.
- Bij het black box model wordt de faalkans grotendeels bepaald door de onzekerheid omtrent de hydraulische randvoorwaarden. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de onzekerheid omtrent de sterkte al verrekend is door de ondergrens van proefresultaten in rekening te brengen. \*)
- Bij de andere beoordelingsmodellen leveren de onzekerheden omtrent de hydraulische randvoorwaarden wel een belangrijke rol, maar toch een veel kleinere dan bij de black box. Bij die modellen wordt een zeer belangrijke bijdrage geleverd door de onzekerheid omtrent de doorlatendheden van toplaag en filterlagen. Het gaat daarbij zowel om invoerparameters als spleetbreedte en korrelgrootte, als om onzekerheden over de empirische coëfficiënten in de formules.

\*) Wellicht zou een andere conclusie getrokken worden als een faalkansberekening gemaakt zou worden op basis van [18] met verwachtingswaarden in plaats van een ondergrens.



- Met het numerieke model STEENZET 1+ blijken de onzekerheid in de doorlatendheid van de mijnsteen en de onzekerheid van de optredende druk op het talud dominant te zijn.
- Tenslotte spelen zowel bij het analytische model als bij STEENZET 1+ de onzekerheden omtrent de extra sterkte die het toestaan van enige blokbeweging met zich meebrengt, een belangrijke rol.

#### Invloed van aantal losse blokken

Voor die gevallen waarbij de hydraulische randvoorwaarde een dominante rol speelt, wordt de faalkans niet zo sterk beïnvloed door het aantal losse blokken per dijk. Een twee maal zo groot aantal losse blokken resulteert dan in minder dan twee maal zo grote faalkans, mits de verwachtingswaarde van het aantal losse blokken groter dan 1 is. Als de verwachtingswaarde kleiner dan 1 is, dan heeft het aantal losse blokken wel een evenredige invloed op de faalkans (zie hoofdstuk 13).

#### Grootte van ingevoerde onzekerheden

De resultaten van deze studie zijn in hoge mate afhankelijk van de ingevoerde onzekerheden. Voor de meeste hiervan is geen goede objectieve bepalingmethode beschikbaar, zodat de resulterende faalkansen slechts een indicatieve waarde hebben. Gezien de mogelijkheid dat soms een onderschatte onzekerheid dominant is en soms een overschatte, zal ook in een onderlinge vergelijking van resultaten een belangrijk subjectief element schuilen.

Het is aan te bevelen om de betrouwbaarheid van de geschatte onzekerheden te vergroten door het aan een zo breed mogelijke groep deskundigen voor te leggen en zonodig aanpassingen door te voeren.

bladnummer : - 154 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

Tevens wordt aanbevolen om de nu gehanteerde spreiding in de grootheden te toetsen. Dit is mogelijk door de geschatte spreiding van een samengestelde variabele te vergelijken met de spreidingen in de basisvariabelen. Er kan gedacht worden aan bijvoorbeeld  $k$ ,  $k'$ ,  $b$ ,  $D$  en  $\sin(\alpha)$  en de samengestelde variabele  $\lambda$  ( $=\sin(\alpha)/\sqrt{(kbD/k')}$ ). Door de geschatte onzekerheid in  $\lambda$  te vergelijken met de op basis van de individuele onzekerheden berekende onzekerheid is het mogelijk om de waarde van de schattingen te beoordelen. ")

#### Invloed van leklengte

Bij alle faalkansberekeningen valt op dat de sterkte van de constructie klein is en de faalkans bijzonder groot, zelfs bij een zeer mild golfklimaat. Dit wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt doordat de leklengte in het ontwerppunt veel groter is dan de verwachtingswaarde. De consequentie hiervan is dat constructies met een korte leklengte een hoge gemiddelde sterkte hebben, maar toch gemakkelijk bezwijken omdat de spreiding in de sterkte erg groot is. Als de leklengte echter groot is, dan is de sterkte veel minder afhankelijk van de leklengte. De gemiddelde sterkte is dan weliswaar klein, maar door de lage spreiding kan dit toch een veilige constructie zijn.

De geconstateerde hoge faalkans en de hier gegeven conclusie kan vergaande gevolgen voor een eventueel advies aan de praktijk hebben. Het verdient daarom aanbeveling dit meer gedetailleerd te onderzoeken door middel van aanvullende faalkansberekeningen met grote en kleine leklengte.

*") In [19] is een verbetering van de schattingen bereikt door terug te koppelen op de resultaten van grootschalig model onderzoek, met name het eindverificatie onderzoek.*

### Reststerkte en toelaatbare faalkans

De praktische toepassing van de in dit verslag gegeven partiële veiligheidscoëfficiënten wordt in de weg gestaan door het ontbreken van kennis over de toelaatbare faalkans van de zetting. Er is nog geen normstelling omtrent de toelaatbare faalkans. In dit verband speelt de grootte van de reststerkte van de dijk een grote rol. Hiermee wordt de kans bedoeld dat een dijk bezwijkt als er een los blok uit de zetting is gelicht (zie figuur 2.1 en 2.2 en bijlage IV).

Vooraf bij een dijk met een dikke kleilaag mag verwacht worden dat de reststerkte niet verwaarloosbaar is, zodat een vrij grote faalkans van de zetting geaccepteerd kan worden.

Bovendien zijn de faalkansen berekend gegeven het voorkomen van èèn los blok in de dijk (op het meest ongunstige niveau ten opzichte van het stormvloedpeil). Vooral bij constructies met weinig losse blokken (verwachtingswaarde van aantal kleiner dan 1) is het aantal losse blokken belangrijk. In dat geval dient er ook aandacht geschonken te worden aan de vraag of weinig ingeklemde blokken bij een reële verschildruk uit het talud gelicht kunnen worden. Zo ja, dan geeft dit vooral bij dijken met een klein aantal losse blokken een belangrijke bijdrage aan de faalkans.

Aanbevolen wordt om in een vervolgonderzoek aandacht aan deze zaken te schenken.

Pas als de reststerkte en het aantal losse blokken kwantificeerbaar is, is het zinvol om voor een breder scala van constructie-typen veiligheidscoëfficiënten op te stellen. Dit betekent dat de nu bereikte resultaten slechts een eerste stap vormen op de weg naar een betrouwbare kwantificering van de veiligheid van verdedigingsconstructies van gezette steen.

bladnummer : - 156 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

### Aanbevolen faalkansberekeningen

Ten aanzien van de voortzetting van de huidige studie wordt het volgende aanbevolen:

- Met het black-box model faalkansberekeningen maken op basis van [18] om daaruit partiële veiligheidscoëfficiënten af te leiden.
- Faalkansberekeningen maken met grote en kleine leklengte (zie twee bladzijden terug onder "leklengte").
- Faalkansberekeningen maken voor het faalmechanisme "korreltransport" met het analytisch model om daaruit partiële veiligheidscoëfficiënten af te leiden.
- Faalkansberekeningen maken voor het faalmechanisme "locale afschuiving" om daaruit partiële veiligheidscoëfficiënten af te leiden.
- Nieuwe faalkansberekeningen met STEENZET/1+ maken voor constructies van het eindverificatie onderzoek, zodat een goede vergelijking mogelijk wordt met het analytisch model, zoals gerapporteerd in [19].
- Met STEENZET/1+ aanvullende faalkansberekeningen maken voor een breed scala van constructies, zodat praktisch toepasbare partiële veiligheidscoëfficiënten kunnen worden opgesteld.
- Faalkansberekeningen maken met STEENZET/2 voor constructies van het eindverificatie onderzoek.

Referenties

1. M. Klein Breteler  
Stabiliteit van toplaag zonder inklemming of interlocking  
Waterloopkundig Laboratorium, verslag H195.04, juni 1987  
WL/GD/RWS M1795/M1881 deel XX
2. Probabilistisch berekenen van waterkeringen  
Interimrapport TAW 10  
Oktober 1985
3. J. v.d. Graaff  
Probabilistische methoden bij het duinontwerp  
Achtergronden bij de TAW leidraad duinafslag  
TH Delft, maart 1984
4. H. den Adel  
Her-analyse van doorlatendheidsmetingen d.m.v Forchheimer  
relatie  
Grondmechanica Delft, CO-272550/56, november '87
5. M. Klein Breteler  
Doorlatendheid van de toplaag  
(Waterloopkundig Lab, verslag H195.07, dec '86)  
WL/GD/RWS M1795/M1881 deel XVIII
6. J.W. van der Meer  
Bezwijken van zettingen  
WL/GD/RWS M1795/M1881 deel XI
7. A.M. Burger  
Sterkte van Oosterschelde dijken onder geconcentreerde  
golfaanval  
Waterloopkundig Lab, verslag M2036, maart '85

bladnummer : - 158 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988

8. A.C.W.M. Vrouwenvelder en J.K. Vrijling  
Probabilistisch ontwerpen  
Collegediktaat b3  
Technische Universiteit Delft Fac. Civiele Techniek
9. Voorwerkgroep Probabilistische Methode  
Rapport  
TAW/COW, S-79.063, maart 1979
10. Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen  
Waterloopkundig Laboratorium/Grondmechanica Delft/  
Rijkswaterstaat/Gemeentewerken Rotterdam  
WL, M1115.
11. Adel, H.den, Groot, M.B. de en Verheij, H.J.  
Filters, Foutenbomen en Faalkansberekeningen  
CUR onderzoekscommissie C54 "Toegepast Filteronderzoek".  
GD, CO-292610/25
12. Sieben, J.W. en de Munck, H.A.  
Toegepaste Statistiek A, 2e druk 1965  
Delftsche Uitgevers Maatschappij, Delft.
13. A.C.W.M. Vrouwenvelder  
De bepaling van kansverdelingen  
PATO-cursus Probabilistisch Ontwerpen, 1986, PO 19

bladnummer : - 159 -  
ons kenmerk: CO-291810  
datum : juli 1988



GRONDMECHANICA  
DELFT

14. E.O.F. Calle  
Toepassingen van statistiek en stochastiek in de  
grondmechanica  
PATO-cursus Nieuwe ontwikkelingen in de Geotechniek, 1987, NOG  
3.1
15. Taludbekleding van gezette steen  
Eindverificatie in Deltagoot  
WL H195.25, M1795/M1881 deel XXV, juni 1988.
16. A. Bezuijen en K. den Boer  
Taludbekledingen van gezette steen; overzicht onderzoek 1980-'84;  
samenvattend verslag. WL/GD/RWS M1795 deel XV, oktober 1984.
17. P. Meijers, H.J. van der Graaf en M.B. de Groot  
Taludbekledingen van gezette steen; grondmechanische stabiliteit  
in de golfzone; handleiding en samenvatting van onderzoeks-  
resultaten. WL/GD/RWS M1795 deel XXII, band A, maart 1991.
- 18 M. Klein Breteler  
Taludbekledingen van gezette steen; stabiliteit van top laag  
volgens "black box" model. CONCEPT. WL H195, april 1990.
- 19 M. Klein Breteler  
Taludbekledingen van gezette steen; veiligheidsfilosofie en  
toetsingsmethode. CONCEPT. WL H195, september 1990.
- 20 A. Bezuijen, A.M. Burger en M. Klein Breteler  
Taludbekledingen van gezette steen; samenvatting van onderzoeks-  
resultaten 1980-1988. RWS-DWW/GD/WL M1795/H195 deel XXIV, 1990,  
ISBN 90-9003232-0.
- 21 E.O.F. Calle  
Een praktische benadering van de faalkans van een seriesysteem  
met identieke elementen en constante onderlinge correlatie.  
Grondmechanica Delft, CO-294460/18, december 1988.

TABELLEN





TABEL 7.1 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET BLACK BOX OP BASIS VAN PROEVEN MET ONREGELMATIGE GOLVEN VOOR PERIODE VAN 1 JAAR

| grootheid                                | type   | gemiddelde | deviatie | ontwerppunt | bvar |
|--|--|------------|----------|-------------|------|
| Stochastische invoergrootheden.          |  |            |          |             |      |
| alpha :taludhelling                      | 2  | .278       | .017     | .282        | 1.9  |
| D :dikte van de blokken                  | 2  | .200       | .010     | .196        | 4.4  |
| delta :relatieve dichtheid blokken       | 2  | 1.176      | .010     | 1.175       | .1   |
| cd :brekerindex                          | 2  | .600       | .050     | .600        | .0   |
| Sv1 :stormvloedpeil in 1 jaar            | 7  | 2.170      | .420     | 3.572       | 39.9 |
| cs :onz stormvloedpeil in j jaar         | 2  | .000       | .100     | .026        | 2.3  |
| ch :onz. significante golfhoogte         | 2  | .000       | .070     | .059        | 23.0 |
| Goz :golfsteilheid op diep water         | 2  | .050       | .005     | .049        | 1.2  |
| cT :verhouding tussen Tz en Tp           | 2  | 1.200      | .100     | 1.230       | 2.9  |
| Mirec :reciproke van betrouwbaarh. proev | 2  | 1.000      | .050     | .981        | 4.4  |
| n1 :onzekerheid in de faalgrens          | 2  | 1.000      | .100     | .920        | 20.0 |
| Deterministische invoergrootheden.       |  |            |          |             |      |
| j :aantal jaren                          |  | 1.000      |          |             |      |
| ch1 :sign. golfhoogte parameter          |  | .500       |          |             |      |
| ch2 :sign. golfhoogte parameter          |  | -.500      |          |             |      |
| ch3 :sign. golfhoogte parameter          |  | -.600      |          |             |      |
| dt :plaats van de teen van de zetting    |  | .000       |          |             |      |
| A :parameter van faalgrens               |  | 3.680      |          |             |      |
| B :parameter van faalgrens               |  | -.513      |          |             |      |
| Resulterende grootheden.                 |  |            |          |             |      |
| :Hs / delta. D                           |  | .700       |          | 2.600       |      |
| Svj :stormvloedpeil in j jaar            |  | 2.170      |          | 3.572       |      |
| Sv :stormvl.peil in j jaar + onz.heid    |  | 2.170      |          | 3.599       |      |
| Hs :significante golfhoogte              |  | .164       |          | .599        |      |
| Tp :golfperiode bij spectrumtop          |  | 1.744      |          | 3.445       |      |
| ksi :brekerparameter                     |  | 1.533      |          | 1.613       |      |
| beta = 2.788                             |  |            |          |             |      |
| Pf = .265E-02                            |  |            |          |             |      |
| Type                                     | - type kansverdeling:<br>2 normaal<br>3 Log-normaal<br>7 Gumbel  |            |          |             |      |
| deviatie                                 | - standaard deviatie   |            |          |             |      |
| bvar                                     | - bijdrage aan de variantie ( $\sigma^2$ ) van de Z-functie in procenten   |            |          |             |      |
| beta                                     | - factor waarmee de standaard deviatie van de Z-functie vermenigvuldigd moet worden om Z=0 te bereiken;<br>beta = $\mu(Z)/\sigma(Z)$ |            |          |             |      |
| Pf                                       | - faalkans, d.w.z. kans dat $Z \leq 0$ .   |            |          |             |      |

TABEL 7.2 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET BLACK BOX OP BASIS VAN PROEVEN MET ONREGELMATIGE GOLVEN VOOR PERIODE VAN 100 JAAR

| grootheid                                | type | gemiddelde | deviatie | ontwerp | punt | bvar |
|--|------|------------|----------|---------|------|------|
| Stochastische invoergrootheden.          |      |            |          |         |      |      |
| alpha :taludhelling                      | 2    | .278       | .017     | .280    |      | 2.2  |
| D :dikte van de blokken                  | 2    | .200       | .010     | .197    |      | 5.0  |
| delta :relatieve dichtheid blokken       | 2    | 1.176      | .010     | 1.175   |      | .1   |
| cd :brekerindex                          | 2    | .600       | .050     | .600    |      | .0   |
| Sv1 :stormvloedpeil in 1 jaar            | 7    | 2.170      | .420     | 2.381   |      | 36.1 |
| cs :onz stormvloedpeil in j jaar         | 2    | .000       | .100     | .013    |      | 2.0  |
| ch :onz. significante golfhoogte         | 2    | .000       | .070     | .032    |      | 23.4 |
| Goz :golfsteilheid op diep water         | 2    | .050       | .005     | .049    |      | 1.3  |
| cT :verhouding tussen Tz en Tp           | 2    | 1.200      | .100     | 1.217   |      | 3.5  |
| Mlrec :reciproke van betrouwbaarh. proev | 2    | 1.000      | .050     | .989    |      | 5.0  |
| n1 :onzekerheid in de faalgrens          | 2    | 1.000      | .100     | .955    |      | 21.4 |
| -----                                    |      |            |          |         |      |      |
| Deterministische invoergrootheden.       |      |            |          |         |      |      |
| j :aantal jaren                          |      | 100.000    |          |         |      |      |
| ch1 :sign. golfhoogte parameter          |      | .500       |          |         |      |      |
| ch2 :sign. golfhoogte parameter          |      | -.500      |          |         |      |      |
| ch3 :sign. golfhoogte parameter          |      | -.600      |          |         |      |      |
| dt :plaats van de teen van de zetting    |      | .000       |          |         |      |      |
| A :parameter van faalgrens               |      | 3.680      |          |         |      |      |
| B :parameter van faalgrens               |      | -.513      |          |         |      |      |
|  |      | .000       |          |         |      |      |
| -----                                    |      |            |          |         |      |      |
| Resulterende grootheden.                 |      |            |          |         |      |      |
| :Hs / delta. D                           |      | 2.379      |          | 2.751   |      |      |
| Svj :stormvloedpeil in j jaar            |      | 3.689      |          | 3.901   |      |      |
| Sv :stormvl.peil in j jaar + onz.heid    |      | 3.689      |          | 3.915   |      |      |
| Hs :significante golfhoogte              |      | .559       |          | .639    |      |      |
| Tp :golfperiode bij spectrumtop          |      | 3.214      |          | 3.507   |      |      |
| ksi :brekerparameter                     |      | 1.533      |          | 1.579   |      |      |
| -----                                    |      |            |          |         |      |      |
| beta =                                   |      | 1.014      |          |         |      |      |
| Pf =                                     |      | .155       |          |         |      |      |



TABEL 7.3 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET BLACK BOX OP BASIS VAN PROEVEN MET  
REGELMATIGE GOLVEN VOOR PERIODE VAN 1 JAAR

| grootheid                                | type     | gemiddelde | deviatie | ontwerppunt | bvar |
|--|----------|------------|----------|-------------|------|
| =====                                    |          |            |          |             |      |
| Stochastische invoergrootheden.          |          |            |          |             |      |
| alpha :taludhelling                      | 2        | .278       | .017     | .280        | 1.8  |
| D :dikte van de blokken                  | 2        | .200       | .010     | .198        | 1.4  |
| delta :relatieve dichtheid blokken       | 2        | 1.176      | .010     | 1.175       | .0   |
| cd :brekerindex                          | 2        | .600       | .050     | .600        | .0   |
| Sv1 :stormvloedpeil in 1 jaar            | 7        | 2.170      | .420     | 2.664       | 59.1 |
| cs :onz stormvloedpeil in j jaar         | 2        | .000       | .100     | .020        | 3.3  |
| cH :onz. significante golfhoogte         | 2        | .000       | .070     | .036        | 22.1 |
| cm :factor tussen sign. en maatg. h.     | 2        | 1.500      | .100     | 1.510       | .8   |
| Goz :golfsteilheid op diep water         | 2        | .050       | .005     | .049        | 1.1  |
| cT :verhouding tussen Tz en Tp           | 2        | 1.200      | .100     | 1.218       | 2.8  |
| Mlrec :reciproke van betrouwbaarh. proev | 2        | 1.000      | .050     | .993        | 1.4  |
| n1 :onzekerheid in de faalgrens          | 2        | 1.000      | .100     | .972        | 6.0  |
| -----                                    |          |            |          |             |      |
| Deterministische invoergrootheden.       |          |            |          |             |      |
| j :aantal jaren                          |          | 1.000      |          |             |      |
| ch1 :sign. golfhoogte parameter          |          | .500       |          |             |      |
| ch2 :sign. golfhoogte parameter          |          | -.500      |          |             |      |
| ch3 :sign. golfhoogte parameter          |          | -.600      |          |             |      |
| dt :plaats van de teen van de zetting    |          | .000       |          |             |      |
| A :parameter van faalgrens               |          | 2.946      |          |             |      |
| B :parameter van faalgrens               |          | -.858      |          |             |      |
| -----                                    |          |            |          |             |      |
| Resulterende grootheden.                 |          |            |          |             |      |
| :H <sub>s</sub> / delta.D                |          | 1.051      |          | 2.292       |      |
| Svj :stormvloedpeil in j jaar            |          | 2.170      |          | 2.664       |      |
| Sv :stormvl.peil in j jaar + onz.heid    |          | 2.170      |          | 2.685       |      |
| Hs :significante golfhoogte              |          | .164       |          | .354        |      |
| Hm :maatgevende golfhoogte               |          | .247       |          | .535        |      |
| H :maatg. golfhoogte bij constructie     |          | .247       |          | .535        |      |
| Tp :golfperiode bij spectrumtop          |          | 1.744      |          | 2.613       |      |
| ksi :brekerparameter                     |          | 1.251      |          | 1.287       |      |
| =====                                    |          |            |          |             |      |
| beta =                                   | 1.389    |            |          |             |      |
| Pf =                                     | .825E-01 |            |          |             |      |

TABEL 7.4 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET BLACK BOX OP BASIS VAN PROEVEN MET  
 REGELMATIGE GOLVEN VOOR PERIODE VAN 100 JAAR

| grootheid                                | type | gemiddelde | deviatie | ontwerppunt | bvar |
|--|------|------------|----------|-------------|------|
| =====                                    |      |            |          |             |      |
| Stochastische invoergrootheden.          |      |            |          |             |      |
| alpha :taludhelling                      | 2    | .278       | .017     | .2735705    | 3.1  |
| D :dikte van de blokken                  | 2    | .200       | .010     | .2023130    | 2.3  |
| delta :relatieve dichtheid blokken       | 2    | 1.176      | .010     | 1.1763978   | .1   |
| cd :brekerindex                          | 2    | .600       | .050     | .6000000    | .0   |
| Sv1 :stormvloedpeil in 1 jaar            | 7    | 2.170      | .420     | 1.8552980   | 47.7 |
| cs :onz stormvloedpeil in j jaar         | 2    | .000       | .100     | -.0250577   | 2.7  |
| cH :onz. significante golfhoogte         | 2    | .000       | .070     | -.0532367   | 24.9 |
| cm :factor tussen sign. en maatg. h.     | 2    | 1.500      | .100     | 1.4819758   | 1.4  |
| Goz :golfsteilheid op diep water         | 2    | .050       | .005     | .0509849    | 1.7  |
| cT :verhouding tussen Tz en Tp           | 2    | 1.200      | .100     | 1.1655340   | 5.1  |
| Mlrec :reciproke van betrouwbaarh. proev | 2    | 1.000      | .050     | 1.0115654   | 2.3  |
| n1 :onzekerheid in de faalgrens          | 2    | 1.000      | .100     | 1.0447905   | 8.6  |
| -----                                    |      |            |          |             |      |
| Deterministische invoergrootheden.       |      |            |          |             |      |
| j :aantal jaren                          |      | 100.000    |          |             |      |
| ch1 :sign. golfhoogte parameter          |      | .500       |          |             |      |
| ch2 :sign. golfhoogte parameter          |      | -.500      |          |             |      |
| ch3 :sign. golfhoogte parameter          |      | -.600      |          |             |      |
| dt :plaats van de teen van de zetting    |      | .000       |          |             |      |
| A :parameter van faalgrens               |      | 2.946      |          |             |      |
| B :parameter van faalgrens               |      | -.858      |          |             |      |
| -----                                    |      |            |          |             |      |
| Resulterende grootheden.                 |      |            |          |             |      |
| :Hs/ delta / D                           |      |            |          |             |      |
| Svj :stormvloedpeil in j jaar            |      | 3.689      |          | 3.375       |      |
| Sv :stormvl.peil in j jaar + onz.heid    |      | 3.689      |          | 3.349       |      |
| Hs :significante golfhoogte              |      | .559       |          | .430        |      |
| Hm :maatgevende golfhoogte               |      | .839       |          | .638        |      |
| H :maatg. golfhoogte bij constructie     |      | .839       |          | .638        |      |
| Tp :golfperiode bij spectrumtop          |      | 3.214      |          | 2.712       |      |
| ksi :brekerparameter                     |      | 1.251      |          | 1.189       |      |
| =====                                    |      |            |          |             |      |
| beta = -1.326                            |      |            |          |             |      |
| Pf = .908                                |      |            |          |             |      |

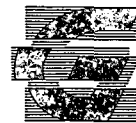
Tabel 8.1, Konstruktie A en B.

|                                       |                | konstr. A           | konstr. B           |
|---------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| <b>Algemeen:</b>                      |                |                     |                     |
| blokdikte [m]                         | D              | 0.2                 | 0.25                |
| blokbreedte [m]                       | B              | 0.3                 | 0.5                 |
| bloklengte [m]                        | L              | 0.3                 | 0.5                 |
| rel. soortelijke massa [-]            | $\Delta$       | 1.3                 | 1.3                 |
| wrijvingskoeff. blokken [-]           | $f_b$          | 0.55                | 0.55                |
| $\zeta$ [-]                           | $\zeta$        | 0.7                 | 0.7                 |
| uitvullaag: dikte [m]                 | $b_u$          | 0.4                 | 0.05                |
| $D_{f15u}$ [mm]                       | $D_{f15u}$     | 10                  | 20                  |
| porositeit [-]                        | n              | 0.4                 | 0.4                 |
| mijnsteen: dikte [m]                  | $b_m$          | -                   | 0.5                 |
| $D_{f15u}$ [mm]                       | $D_{f15m}$     | -                   | 3                   |
| porositeit [-]                        | n              | -                   | 0.25                |
| taludhelling $\cot(\alpha)$ [-]       | $\cot(\alpha)$ | 3                   | 3                   |
| spleetbreedte [mm]                    | s              | 2                   | 1.8                 |
| relatieve blokbeweging [-]            | $\epsilon$     | 0.1                 | 0.05                |
| waterdiepte [m]                       | h              | 5                   | 10                  |
| Golfsteilheid [%]                     | $G_{oz}$       | 3                   | 2                   |
| viscositeit water [m <sup>2</sup> /s] | $\nu$          | $1.2 \cdot 10^{-6}$ | $1.2 \cdot 10^{-6}$ |
| <b>Bij bezwijken:</b>                 |                |                     |                     |
| Signifikante golfhoogte [m]           | $H_s$          | 0.35                | 2.1                 |
| Golfperiode (piek) [s]                | $T_p$          | 3.3                 | 9.8                 |
| Golfperiode (gemiddeld) [s]           | $T_z$          | 2.7                 | 8.2                 |
| doorlatendheid uitvullaag [m/s]       | $k_u$          | 0.14                | 0.21                |
| doorlatendheid mijnsteen [m/s]        | $k_m$          | -                   | 0.012               |
| doorlatendheid toplaag [m/s]          | $k'$           | 0.012               | 0.006               |
| leklengte [m]                         | $\lambda$      | 0.31                | 0.26                |
| $H_s/(\Delta D)$ [-]                  |                | 1.3                 | 6.4                 |
| Stijghoogte op talud [m]              | $\phi_b$       | 0.77                | 3.6                 |
| hoek drukfront tov verticaal [°]      | $\beta$        | 56                  | 46                  |
| duur overbelasting [s]                | $t_o$          | 0.41                | 0.74                |
| $\Gamma_{s1}$ [-]                     |                | 1.18                | 1.17                |
| $\Gamma_{s2}$ [-]                     |                | 1.06                | 1.01                |
| $\Gamma_b$ [-]                        |                | 1.06                | 1.28                |

Tabel 8.2, Representatieve varianten

| Konstruktie:                           | A1   | A2   | A3  | A4  | A5 | A6   | A7  | A8  | A9  | A10 | A11 |
|--|------|------|-----|-----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| blokdikte [m] D                        | 0.2  |      |     |     |    | 0.25 | 0.4 | 0.4 |     |     |     |
| blokbreedte [m] B                      | 0.3  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| bloklengte [m] L                       | 0.3  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| rel. soortelijke massa [-] $\Delta$    | 1.3  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| wrijvingskoeff. blokken [-] $f_b$      | 0.55 |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| $\zeta$ [-] $\zeta$                    | 0.7  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| uitvullaag: dikte [m] $b_u$            | 0.4  | 0.15 | 0.7 | 0.7 |    |      |     |     |     |     |     |
| $D_{f15u}$ [mm]                        | 10   | 15   | 15  | 2   | 3  |      |     |     |     |     |     |
| porositeit [-] n                       | 0.4  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| mijnsteen: dikte [m] $b_m$             | -    |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| $D_{f15m}$ [mm]                        | -    |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| porositeit [-] n                       | -    |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |
| taludhelling $\cot(\alpha)$ [-]        | 3    |      |     |     |    |      |     |     |     |     | 5   |
| spleetbreedte [mm] s                   | 2    |      |     |     |    | 4    |     |     |     |     |     |
| Golfsteilheid [%] $G_{oz}$             | 3    |      |     |     |    |      | 1   | 1   | 4.5 |     |     |
| viscositeit [ $*10^{-6} m^2/s$ ] $\nu$ | 1.2  |      |     |     |    |      |     |     |     |     |     |

N.B. Als er niets is vermeld, dan geldt de waarde uit de eerste kolom.



Tabel 8.3, Representatieve varianten

| Konstruktie:                             |          | B1   | B2   | B3   | B4 | B5   | B6   | B7   | B8   | B9   | B10 | B11 | B12 |
|--|----------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| blokdikte [m]                            | D        | 0.25 | 0.30 | 0.30 |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| blokbreedte [m]                          | B        | 0.5  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| bloklengte [m]                           | L        | 0.5  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| rel. soort. massa [-]                    | $\Delta$ | 1.3  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| wrijvingskoeff. [-]                      | $f_b$    | 0.55 |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| $\zeta$ [-]                              | $\zeta$  | 0.7  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| uitvullaag: dikte [m]                    | $b_u$    | 0.05 |      |      |    | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |     |     |     |
| $D_{f15u}$ [mm]                          |          | 20   |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| porosit.                                 | n        | 0.4  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| mijnsteen: dikte [m]                     | $b_m$    | 0.5  |      |      |    |      |      |      |      |      | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| $D_{f15u}$ [mm]                          |          | 3    |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| porosit.                                 | n        | 0.25 |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |
| taludhelling $\cot(\alpha)$              |          | 3    |      |      |    | 2.5  | 2.5  | 2.5  | 4.5  | 4.5  |     | 4   |     |
| spleetbreedte [mm]                       | s        | 1.8  |      |      |    |      |      | 2.5  |      |      | 2   | 1.5 | 1.5 |
| Golfsteilheid [%]                        | G        | 2    | 2    | 4    | 4  |      |      |      |      | 4    |     |     |     |
| viscositeit* $10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s | $\nu$    | 1.2  |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |     |

N.B. - Als er niets is vermeld, dan geldt de waarde uit de eerste kolom.

- Voor B3 is gebruik gemaakt van hogere golven.

Tabel 8.4, Invoervariabelen voor faalkansberekening van constructie 1

| <u>variabele</u> | <u><math>\mu</math></u> | <u><math>\sigma</math></u> | <u>[eenheid]</u>                   | <u>kansdichtheidsfunctie</u> |
|------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| d                | 1,0                     | 0,5                        | m                                  | normaal                      |
| G <sub>oz</sub>  | 0,05                    | 0,005                      | -                                  | normaal                      |
| c <sub>d</sub>   | 0,6                     | 0,05                       | -                                  | normaal                      |
| c <sub>m</sub>   | 1,5                     | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>T</sub>   | 1,2                     | 0,05                       | -                                  | normaal                      |
| n <sub>u</sub>   | 0,4                     | 0,02                       | -                                  | normaal                      |
| D <sub>u15</sub> | 10,0                    | 1,0                        | mm                                 | normaal                      |
| n <sub>m</sub>   | 0,21                    | 0,01                       | -                                  | normaal                      |
| D <sub>m15</sub> | 3,5                     | 0,3                        | mm                                 | normaal                      |
| v                | 1,2                     | 0,1                        | 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /s | normaal                      |
| i <sub>s</sub>   | 0,3                     | 0,05                       | -                                  | normaal                      |
| D                | 0,2                     | 0,01                       | m                                  | normaal                      |
| B                | 0,5                     | 0,01                       | m                                  | normaal                      |
| L                | 0,5                     | 0,01                       | m                                  | normaal                      |
| s                | 1,3                     | 0,2                        | mm                                 | normaal                      |
| i <sub>t</sub>   | 1,0                     | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| b <sub>u</sub>   | 0,04                    | 0,005                      | m                                  | normaal                      |
| b <sub>m</sub>   | 1,0                     | 0,05                       | m                                  | normaal                      |
| Δ                | 1,176                   | 0,01                       | -                                  | normaal                      |
| f <sub>b</sub>   | 0,6                     | 0,05                       | -                                  | normaal                      |
| ζ                | 0,7                     | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| ε                | 0,2                     | 0,05                       | -                                  | normaal                      |
| α                | 15,95                   | 1                          | -                                  | normaal                      |
| c <sub>af</sub>  | 1                       | 0,4                        | -                                  | lognormaal                   |
| c <sub>bf</sub>  | 1                       | 0,4                        | -                                  | lognormaal                   |
| c <sub>k'</sub>  | 1                       | 0,3                        | -                                  | lognormaal                   |
| c <sub>H</sub>   | 0                       | 0,07                       | m                                  | normaal                      |
| c <sub>φ</sub>   | 1                       | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>β</sub>   | 1                       | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>w</sub>   | 1                       | 0,1                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>tr</sub>  | 1                       | 0,2                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>to</sub>  | 1                       | 0,3                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>toe</sub> | 1                       | 0,3                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>tu</sub>  | 1                       | 0,2                        | -                                  | normaal                      |
| c <sub>φw</sub>  | 1                       | 0,1                        | -                                  | normaal                      |





Tabel 85. Resultaat van probabilistische berekening voor zetting 1, randw 1 en periode van 1 jaar

|   | $\mu$ | $\sigma$ | type | ontwerp-<br>punt | karakteristiek          |                | partiele<br>veiligh.coeff. | aandeel in<br>onzekerheid<br>% |                                  |
|---|-------|----------|------|------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|   |       |          |      |                  | p(x)kar.,<br>p(x(kar.)) | kar.<br>waarde |                            |                                |                                  |
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                  | 2.17  | .42      | 7    | 3.075            | 5%                      | 2.960          | 1.00                       | 16.623                         | S                                |
| onzekerheid in Hs [m]                       | 0     | .07      | 2    | .052             | 5%                      | .116           | .45                        | 8.340                          | v                                |
| oivo voorland tov NAP [m]                   | 1     | .5       | 2    | .973             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .044                           | C <sub>Hs</sub>                  |
| H <sub>max</sub> / Hs                       | 1.5   | .1       | 2    | 1.519            | 50%                     | 1.500          | 1.00                       | .542                           | d                                |
| brekerindex (H <sub>max</sub> /d)           | .6    | .05      | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | H <sub>max</sub> /H <sub>s</sub> |
| halfsteilheid (Hs/Lo2)                      | .05   | .005     | 2    | .049             | 50%                     | .050           | 1.00                       | .698                           | H <sub>max</sub> /d <sup>s</sup> |
| onzekerheid stijgh. op talud                | 1     | .1       | 2    | 1.039            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 2.290                          | G <sub>max</sub>                 |
| onzekerheid drukfronthelling                | 1     | .1       | 2    | .981             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .555                           | c <sub>oz</sub>                  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  | 1.2   | .1       | 2    | 1.188            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .231                           | c <sub>φw</sub>                  |
| porositeit van uitvullaag [-]               | .4    | .02      | 2    | .400             | 50%                     | .400           | 1.00                       | .003                           | v <sup>β</sup>                   |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            | .01   | .001     | 2    | .010             | 50%                     | .010           | 1.00                       | .067                           | n                                |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a          | 1     | .4       | 3    | .648             | 50%                     | 1.000          | .65                        | 14.283                         | D <sub>u</sub>                   |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b          | 1     | .4       | 3    | .831             | 50%                     | 1.000          | .83                        | 1.351                          | f <sub>15u</sub>                 |
| porositeit van mijnsteen [-]                | .21   | .01      | 2    | .214             | 50%                     | .210           | 1.00                       | 2.540                          | c <sub>af</sub>                  |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]             | .0035 | .0003    | 2    | 3.62e-3          | 50%                     | 4e-3           | 1.00                       | 2.525                          | n <sub>bf</sub>                  |
| maatgevend verhang in filter [-]            | .3    | .05      | 2    | .294             | 50%                     | .300           | 1.00                       | .250                           | D <sub>m</sub>                   |
| blokbreedte [m]                             | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .000                           | f <sub>15m</sub>                 |
| bloklengte [m]                              | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .002                           | B <sup>s</sup>                   |
| blokdikte [m]                               | .2    | .01      | 2    | .197             | 50%                     | .200           | 1.00                       | 1.784                          | L                                |
| spleetbreedte [m]                           | .0013 | .0002    | 2    | 1.17e-3          | 5%                      | 9.7e-4         | 1.21                       | 6.346                          | D                                |
| maatgevend verhang in top laag [-]          | 1     | .2       | 2    | .985             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .323                           | s                                |
| onzekerheid top laag doorlatendheid         | 1     | .3       | 3    | .812             | 50%                     | 1.000          | .81                        | 4.986                          | i <sub>t</sub>                   |
| dikte uitvullaag [m]                        | .04   | .005     | 2    | .041             | 50%                     | .040           | 1.00                       | .315                           | c <sub>k'</sub>                  |
| dikte mijnsteen laag [m]                    | 1     | .05      | 2    | 1.003            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .053                           | b <sub>u</sub>                   |
| wrijvingskoeff van blokken [-]              | .6    | .005     | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | f <sub>m</sub>                   |
| onzekerheid gamma(s1)                       | 1     | .1       | 2    | .995             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .040                           | c <sub>b</sub>                   |
| Zetta [-]                                   | .7    | .1       | 2    | .700             | 50%                     | .700           | 1.00                       | .000                           | ζ <sup>w</sup>                   |
| onzekerheid in duur overbelasting           | 1     | .3       | 2    | 1.199            | 50%                     | 1.000          | 1.20                       | 6.676                          | c <sub>to</sub>                  |
| max. relatieve blokbeweging [-]             | .2    | .05      | 2    | .164             | 50%                     | .200           | .82                        | 7.730                          | ε <sup>to</sup>                  |
| relatieve soortelijke massa blok            | 1.176 | .01      | 2    | 1.176            | 50%                     | 1.176          | 1.00                       | .029                           | Δ                                |
| onzekerheid gamma(s2)                       | 1     | .2       | 2    | .987             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .062                           | c <sub>tr</sub>                  |
| onzekerheid in verschildruk                 | 1     | .1       | 2    | 1.069            | 50%                     | 1.000          | 1.07                       | 7.161                          | c <sub>φw</sub>                  |
| onzekerheid gamma(b1)                       | 1     | .2       | 2    | .967             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .402                           | c <sub>2D</sub>                  |
| onzekerheid duur blokbeweging               | 1     | .2       | 2    | 1.075            | 50%                     | 1.000          | 1.08                       | 2.147                          | c <sub>2tu</sub>                 |
| onzekerheid gamma(b2)                       | 1     | .3       | 2    | .759             | 50%                     | 1.000          | .76                        | 9.759                          | c <sub>toe</sub>                 |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]           | 0     | .1       | 2    | .025             | 5%                      | .165           | .15                        | .942                           | c <sub>S</sub>                   |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> | 1.2   | .05      | 2    | 1.209            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .458                           | c <sub>T</sub>                   |
| taludhelling [graden]                       | 15.95 | 1        | 2    | 16.120           | 50%                     | 15.950         | 1.00                       | .444                           | α                                |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
3 = log-normaal  
7 = Gumbel

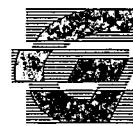
N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.

Tabel 8.6 Resultaat van probabilistische berekening voor zetting 1, randv1 en periode van 100 jaar

|   | $\mu$ | $\sigma$ | type | ontwerp-<br>punt | karakteristiek          |                | partiele<br>veiligh.coeff. | aandeel in<br>onzekerheid<br>% |                                  |
|---|-------|----------|------|------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|   |       |          |      |                  | p(x kar.),<br>p(x kar.) | kar.<br>waarde |                            |                                |                                  |
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                  | 3.69  | .42      | 7    | 3.811            | 5%                      | 4.480          | .83                        | 5.764                          | S <sub>v</sub>                   |
| onzekerheid in Hs [m]                       | 0     | .07      | 2    | .026             | 5%                      | .116           | .23                        | 4.278                          | C <sub>Hs</sub>                  |
| nivo voorland tov NAP [m]                   | 1     | .5       | 2    | .977             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .063                           | d                                |
| Hmax / Hs                                   | 1.5   | .1       | 2    | 1.513            | 50%                     | 1.500          | 1.00                       | .481                           | H <sub>max</sub> /H <sub>s</sub> |
| brekerindex (Hmax/d)                        | .6    | .05      | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | H <sub>max</sub> /d <sup>s</sup> |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                      | .05   | .005     | 2    | .049             | 50%                     | .050           | 1.00                       | .604                           | G <sub>oz</sub>                  |
| onzekerheid stijgh. op talud                | 1     | .1       | 2    | 1.024            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 1.724                          | C <sub>φw</sub>                  |
| onzekerheid drukfronthelling                | 1     | .1       | 2    | .981             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 1.109                          | C <sub>vβ</sub>                  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  | 1.2   | .1       | 2    | 1.190            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .312                           | n                                |
| porositeit van uitvullaag [-]               | .4    | .02      | 2    | .400             | 50%                     | .400           | 1.00                       | .005                           | D <sub>u</sub>                   |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            | .01   | .001     | 2    | .010             | 50%                     | .010           | 1.00                       | .101                           | D <sub>f15u</sub>                |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a          | 1     | .4       | 3    | .691             | 50%                     | 1.000          | .69                        | 19.115                         | C <sub>af</sub>                  |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b          | 1     | .4       | 3    | .849             | 50%                     | 1.000          | .85                        | 1.778                          | C <sub>bf</sub>                  |
| porositeit van mijnsteen [-]                | .21   | .01      | 2    | .213             | 50%                     | .210           | 1.00                       | 3.353                          | n <sub>m</sub>                   |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]             | .0035 | .0003    | 2    | 3.6e-3           | 50%                     | 4e-3           | 1.00                       | 3.358                          | D <sub>f15m</sub>                |
| maatgevend verhang in filter [-]            | .3    | .05      | 2    | .295             | 50%                     | .300           | 1.00                       | .327                           | i <sub>s</sub>                   |
| blokbreedte [m]                             | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .000                           | B <sub>s</sub>                   |
| bloklengte [m]                              | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .002                           | L                                |
| blokdikte [m]                               | .2    | .01      | 2    | .198             | 50%                     | .200           | 1.00                       | 1.691                          | D                                |
| spleetbreedte [m]                           | .0013 | .0002    | 2    | 1.20e-3          | 5%                      | 9.7e-4         | 1.23                       | 8.150                          | s                                |
| maatgevend verhang in toplaag [-]           | 1     | .2       | 2    | .988             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .442                           | i <sub>t</sub>                   |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid           | 1     | .3       | 3    | .834             | 50%                     | 1.000          | .83                        | 7.051                          | C <sub>k'</sub>                  |
| dikte uitvullaag [m]                        | .04   | .005     | 2    | .041             | 50%                     | .040           | 1.00                       | .467                           | b <sub>u</sub>                   |
| dikte mijnsteenlaag [m]                     | 1     | .05      | 2    | 1.002            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .069                           | b <sub>m</sub>                   |
| wrijvingskoeff van blokken [-]              | .6    | .005     | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | f <sub>b</sub>                   |
| onzekerheid gamma(s1)                       | 1     | .1       | 2    | .997             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .038                           | C <sub>w</sub>                   |
| Zetta [-]                                   | .7    | .1       | 2    | .700             | 50%                     | .700           | 1.00                       | .000                           | ζ                                |
| onzekerheid in duur overbelasting           | 1     | .3       | 2    | 1.159            | 50%                     | 1.000          | 1.16                       | 8.526                          | C <sub>to</sub>                  |
| max. relatieve blokbeweging [-]             | .2    | .05      | 2    | .174             | 50%                     | .200           | .87                        | 8.448                          | ε                                |
| relatieve soortelijke massa blok            | 1.176 | .01      | 2    | 1.176            | 50%                     | 1.176          | 1.00                       | .027                           | Δ                                |
| onzekerheid gamma(s2)                       | 1     | .2       | 2    | .991             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .062                           | C <sub>tr</sub>                  |
| onzekerheid in verschildruk                 | 1     | .1       | 2    | 1.050            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 7.667                          | C <sub>φw</sub>                  |
| onzekerheid gamma(b1)                       | 1     | .2       | 2    | .974             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .495                           | C <sub>2D</sub>                  |
| onzekerheid duur blokbeweging               | 1     | .2       | 2    | 1.061            | 50%                     | 1.000          | 1.06                       | 2.773                          | C <sub>tu</sub>                  |
| onzekerheid gamma(b2)                       | 1     | .3       | 2    | .824             | 50%                     | 1.000          | .82                        | 10.383                         | C <sub>toe</sub>                 |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]           | 0     | .1       | 2    | .010             | 5%                      | .165           | .06                        | .327                           | C <sub>S</sub>                   |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> | 1.2   | .05      | 2    | 1.206            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .404                           | C <sub>T</sub>                   |
| taludhelling [graden]                       | 15.95 | 1        | 2    | 16.090           | 50%                     | 15.950         | 1.00                       | .606                           | α                                |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
 3 = log-normaal  
 7 = Gumbel

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.



Tabel 8.7. Resultaat van probabilistische berekening voor zetting 1, randvw 2 en periode van 1 jaar

|   | $\mu$ | $\sigma$ | type | ontwerp-<br>punt | karakteristiek           |                | partiele<br>veiligh.coeff. | aandeel in<br>onzekerheid<br>% |                                  |
|---|-------|----------|------|------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|   |       |          |      |                  | p(x)kar.),<br>p(x(kar.)) | kar.<br>waarde |                            |                                |                                  |
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                  | 2.17  | .42      | 7    | 2.775            | 5x                       | 2.960          | .94                        | 14.205                         | S <sub>v</sub>                   |
| onzekerheid in Hs [m]                       | 0     | .07      | 2    | .049             | 5x                       | .116           | .43                        | 8.101                          | c <sub>Hs</sub>                  |
| nivo voorland tov NAP [m]                   | 1     | .5       | 2    | .972             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .051                           | d                                |
| H <sub>max</sub> / Hs                       | 1.5   | .1       | 2    | 1.518            | 50x                      | 1.500          | 1.00                       | .547                           | H <sub>max</sub> /H <sub>s</sub> |
| brekerindex (H <sub>max</sub> /d)           | .6    | .05      | 2    | .600             | 50x                      | .600           | 1.00                       | .000                           | H <sub>max</sub> /d <sup>s</sup> |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                      | .05   | .005     | 2    | .049             | 50x                      | .050           | 1.00                       | .714                           | G <sub>max</sub>                 |
| onzekerheid stijgh. op talud                | 1     | .1       | 2    | 1.038            | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | 2.326                          | c <sub>oz</sub>                  |
| onzekerheid drukfronthelling                | 1     | .1       | 2    | .982             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .546                           | c <sub>φw</sub>                  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  | 1.2   | .1       | 2    | 1.188            | 50x                      | 1.200          | 1.00                       | .245                           | v <sup>B</sup>                   |
| porositeit van uitvullaag [-]               | .4    | .02      | 2    | .400             | 50x                      | .400           | 1.00                       | .004                           | n                                |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            | .01   | .001     | 2    | .010             | 50x                      | .010           | 1.00                       | .071                           | D <sup>u</sup>                   |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a          | 1     | .4       | 3    | .652             | 50x                      | 1.000          | .65                        | 14.963                         | c <sub>f15u</sub>                |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b          | 1     | .4       | 3    | .833             | 50x                      | 1.000          | .83                        | 1.411                          | c <sub>af</sub>                  |
| porositeit van mijnsteen [-]                | .21   | .01      | 2    | .214             | 50x                      | .210           | 1.00                       | 2.656                          | n <sub>bf</sub>                  |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]             | .0035 | .0003    | 2    | 3.62e-3          | 50x                      | 4e-3           | 1.00                       | 2.642                          | D <sup>m</sup>                   |
| maatgevend verhang in filter [-]            | .3    | .05      | 2    | .294             | 50x                      | .300           | 1.00                       | .261                           | i <sub>f15m</sub>                |
| blokbreedte [m]                             | .5    | .01      | 2    | .500             | 50x                      | .500           | 1.00                       | .000                           | B <sup>s</sup>                   |
| blok lengte [m]                             | .5    | .01      | 2    | .500             | 50x                      | .500           | 1.00                       | .002                           | L                                |
| blokdikte [m]                               | .2    | .01      | 2    | .198             | 50x                      | .200           | 1.00                       | 1.821                          | D                                |
| spieetbreedte [m]                           | .0013 | .0002    | 2    | 1.17e-3          | 5x                       | 9.7e-4         | 1.21                       | 6.514                          | s                                |
| maatgevend verhang in toplaag [-]           | 1     | .2       | 2    | .986             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .334                           | i <sub>t</sub>                   |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid           | 1     | .3       | 3    | .815             | 50x                      | 1.000          | .82                        | 5.195                          | c <sub>ck'</sub>                 |
| dikte uitvullaag [m]                        | .04   | .005     | 2    | .041             | 50x                      | .040           | 1.00                       | .334                           | b <sub>u</sub>                   |
| dikte mijnsteenlaag [m]                     | 1     | .05      | 2    | 1.003            | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .054                           | b <sub>u</sub>                   |
| wrijvingskoeff van blokken [-]              | .6    | .005     | 2    | .600             | 50x                      | .600           | 1.00                       | .000                           | f <sub>m</sub>                   |
| onzekerheid gamma(s1)                       | 1     | .1       | 2    | .995             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .040                           | c <sub>w</sub>                   |
| Zetta [-]                                   | .7    | .1       | 2    | .700             | 50x                      | .700           | 1.00                       | .000                           | ζ                                |
| onzekerheid in duur overbelasting           | 1     | .3       | 2    | 1.196            | 50x                      | 1.000          | 1.20                       | 7.032                          | c <sub>to</sub>                  |
| max. relatieve blokbeweging [-]             | .2    | .05      | 2    | .165             | 50x                      | .200           | .83                        | 7.998                          | ε                                |
| relatieve soortelijke massa blok            | 1.176 | .01      | 2    | 1.176            | 50x                      | 1.176          | 1.00                       | .029                           | Δ                                |
| onzekerheid gamma(s2)                       | 1     | .2       | 2    | .988             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .064                           | c <sub>tr</sub>                  |
| onzekerheid in verschilddruk                | 1     | .1       | 2    | 1.067            | 50x                      | 1.000          | 1.07                       | 7.374                          | c <sub>φw</sub>                  |
| onzekerheid gamma(b1)                       | 1     | .2       | 2    | .968             | 50x                      | 1.000          | 1.00                       | .424                           | c <sub>2D</sub>                  |
| onzekerheid duur blokbeweging               | 1     | .2       | 2    | 1.074            | 50x                      | 1.000          | 1.07                       | 2.263                          | c <sub>tu</sub>                  |
| onzekerheid gamma(b2)                       | 1     | .3       | 2    | .766             | 50x                      | 1.000          | .77                        | 10.057                         | c <sub>toe</sub>                 |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]           | 0     | .1       | 2    | .002             | 5x                       | .165           | .01                        | .805                           | c <sub>S</sub>                   |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> | 1.2   | .05      | 2    | 1.208            | 50x                      | 1.200          | 1.00                       | .469                           | c <sub>T</sub>                   |
| taludhelling [graden]                       | 15.95 | 1        | 2    | 16.110           | 50x                      | 15.950         | 1.00                       | .445                           | α                                |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
3 = log-normaal  
7 = Gumbel

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.

Tabel 8.8 Resultaat van probabilistische berekening voor zetting 1, randvw 2 en periode van 100 jaar

|  | $\mu$ | $\sigma$ | type | ontwerp-<br>punt | karakteristiek          |                | partiele<br>veiligh.coeff. | aandeel in<br>onzekerheid<br>% |               |
|--|-------|----------|------|------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|
|  |       |          |      |                  | p(x kar.),<br>p(x kar.) | kar.<br>waarde |                            |                                |               |
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                 | 3.69  | .42      | 7    | 3.737            | 5%                      | 4.480          | .85                        | 2.961                          | $S_v$         |
| onzekerheid in $H_s$ [m]                   | 0     | .07      | 2    | .024             | 5%                      | .116           | .21                        | 3.970                          | $C_{H_s}$     |
| nivo voorland tov NAP [m]                  | 1     | .5       | 2    | .978             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .070                           | $d$           |
| $H_{max} / H_s$                            | 1.5   | .1       | 2    | 1.512            | 50%                     | 1.500          | 1.00                       | .482                           | $H_{max}/H_s$ |
| brekerindex ( $H_{max}/d$ )                | .6    | .05      | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | $H_{max}/d^s$ |
| golfsteilheid ( $H_s/L_{oz}$ )             | .05   | .005     | 2    | .049             | 50%                     | .050           | 1.00                       | .608                           | $G_{oz}$      |
| onzekerheid stijgh. op talud               | 1     | .1       | 2    | 1.022            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 1.703                          | $C_{\phi w}$  |
| onzekerheid drukfronthelling               | 1     | .1       | 2    | .982             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 1.182                          | $C_{\beta}$   |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s) | 1.2   | .1       | 2    | 1.190            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .329                           | $v$           |
| porositeit van uitvullaag [-]              | .4    | .02      | 2    | .400             | 50%                     | .400           | 1.00                       | .006                           | $n_u$         |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]           | .01   | .001     | 2    | .010             | 50%                     | .010           | 1.00                       | .107                           | $D_{f15u}$    |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a         | 1     | .4       | 3    | .700             | 50%                     | 1.000          | .70                        | 19.998                         | $C_{af}$      |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b         | 1     | .4       | 3    | .852             | 50%                     | 1.000          | .85                        | 1.859                          | $C_{bf}$      |
| porositeit van mijnsteen [-]               | .21   | .01      | 2    | .213             | 50%                     | .210           | 1.00                       | 3.501                          | $n_m$         |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]            | .0035 | .0003    | 2    | 3.60e-3          | 50%                     | 4e-3           | 1.00                       | 3.510                          | $D_{f15m}$    |
| maatgevend verhang in filter [-]           | .3    | .05      | 2    | .295             | 50%                     | .300           | 1.00                       | .342                           | $i^s$         |
| blokbreedte [m]                            | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .000                           | $B^s$         |
| bloklengte [m]                             | .5    | .01      | 2    | .500             | 50%                     | .500           | 1.00                       | .002                           | $L$           |
| blokdikte [m]                              | .2    | .01      | 2    | .198             | 50%                     | .200           | 1.00                       | 1.707                          | $D$           |
| spleetbreedte [m]                          | .0013 | .0002    | 2    | 1.20e-3          | 50%                     | 1.3e-3         | .92                        | 8.386                          | $s$           |
| maatgevend verhang in toplaag [-]          | 1     | .2       | 2    | .989             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .460                           | $i_t$         |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid          | 1     | .3       | 3    | .839             | 50%                     | 1.000          | .84                        | 7.363                          | $C_{k'}$      |
| dikte uitvullaag [m]                       | .04   | .005     | 2    | .041             | 50%                     | .040           | 1.00                       | .497                           | $b_u$         |
| dikte mijnsteenlaag [m]                    | 1     | .05      | 2    | 1.002            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .071                           | $b_m$         |
| wrijvingscoëff van blokken [-]             | .6    | .005     | 2    | .600             | 50%                     | .600           | 1.00                       | .000                           | $f_b$         |
| onzekerheid gamma(s1)                      | 1     | .1       | 2    | .997             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .038                           | $C_w$         |
| Zetta [-]                                  | .7    | .1       | 2    | .700             | 50%                     | .700           | 1.00                       | .000                           | $\zeta$       |
| onzekerheid in duur overbelasting          | 1     | .3       | 2    | 1.153            | 50%                     | 1.000          | 1.15                       | 8.984                          | $C_{to}$      |
| max. relatieve blokbeweging [-]            | .2    | .05      | 2    | .173             | 50%                     | .200           | .87                        | 8.676                          | $\epsilon$    |
| relatieve soortelijke massa blok           | 1.176 | .01      | 2    | 1.176            | 50%                     | 1.176          | 1.00                       | .028                           | $\Delta$      |
| onzekerheid gamma(s2)                      | 1     | .2       | 2    | .991             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .063                           | $C_{tr}$      |
| onzekerheid in verschildruk                | 1     | .1       | 2    | 1.048            | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | 7.842                          | $C_{\phi w}$  |
| onzekerheid gamma(b1)                      | 1     | .2       | 2    | .976             | 50%                     | 1.000          | 1.00                       | .517                           | $C_{2D}$      |
| onzekerheid duur blokbeweging              | 1     | .2       | 2    | 1.058            | 50%                     | 1.000          | 1.06                       | 2.921                          | $C_{tu}$      |
| onzekerheid gamma(b2)                      | 1     | .3       | 2    | .834             | 50%                     | 1.000          | .83                        | 10.628                         | $C_{toe}$     |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]          | 0     | .1       | 2    | .007             | 5%                      | .165           | .04                        | .168                           | $C_S$         |
| verhouding $T_p$ en $T_z$                  | 1.2   | .05      | 2    | 1.205            | 50%                     | 1.200          | 1.00                       | .408                           | $C_T$         |
| taludhelling [graden]                      | 15.95 | 1        | 2    | 16.080           | 50%                     | 15.950         | 1.00                       | .614                           | $\alpha$      |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
3 = log-normaal  
7 = Gumbel

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie



Tabel 8.9. Resultaat van probabilistische berekening voor zetting 2, randvw 1 en periode van 1 jaar

|  | $\mu$ | $\sigma$ | type | ontwerp-<br>punt | karakteristiek           |                | partiele<br>veiligh.coeff. | aandeel in<br>onzekerheid<br>% |               |
|--|-------|----------|------|------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|
|  |       |          |      |                  | p(x)kar.),<br>p(x(kar.)) | kar.<br>waarde |                            |                                |               |
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                 | 2.17  | .42      | 7    | 3.071            | 5%                       | 2.960          | 1.00                       | 16.039                         | $S_v$         |
| onzekerheid in Hs [m]                      | 0     | .07      | 2    | .052             | 5%                       | .116           | .45                        | 8.167                          | $c_{H_s}$     |
| nivo voorland tov NAP [m]                  | 1     | .5       | 2    | .967             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .063                           | $d$           |
| Hmax / Hs                                  | 1.5   | .1       | 2    | 1.519            | 50%                      | 1.500          | 1.00                       | .548                           | $H_{max}/H_s$ |
| brekerindex (Hmax/d)                       | .6    | .05      | 2    | .600             | 50%                      | .600           | 1.00                       | .000                           | $H_{max}/d^s$ |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                     | .04   | .005     | 2    | .039             | 50%                      | .040           | 1.00                       | 1.031                          | $G_{max}$     |
| onzekerheid stijgh. op talud               | 1     | .1       | 2    | 1.039            | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | 2.180                          | $c_{oz}$      |
| onzekerheid drukfronthelling               | 1     | .1       | 2    | .977             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .790                           | $c_{\phi w}$  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s) | 1.2   | .1       | 2    | 1.190            | 50%                      | 1.200          | 1.00                       | .146                           | $v^B$         |
| porositeit van uitvullaag [-]              | .4    | .02      | 2    | .400             | 50%                      | .400           | 1.00                       | .001                           | $n_u$         |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]           | .01   | .001     | 2    | .010             | 50%                      | .010           | 1.00                       | .068                           | $D_{f15u}$    |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a         | 1     | .4       | 3    | .639             | 50%                      | 1.000          | .64                        | 14.821                         | $c_{af}$      |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b         | 1     | .4       | 3    | .828             | 50%                      | 1.000          | .83                        | 1.406                          | $c_{bf}$      |
| porositeit van mijnsteen [-]               | .21   | .01      | 2    | .214             | 50%                      | .210           | 1.00                       | 2.640                          | $n_m$         |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]            | .0035 | .0003    | 2    | 3.63e-3          | 50%                      | 4e-3           | 1.00                       | 2.621                          | $D_{f15m}$    |
| maatgevend verhang in filter [-]           | .3    | .05      | 2    | .293             | 50%                      | .300           | 1.00                       | .261                           | $i_{f15m}$    |
| blokbreedte [m]                            | .4    | .01      | 2    | .400             | 50%                      | .400           | 1.00                       | .005                           | $B^s$         |
| blok lengte [m]                            | .4    | .01      | 2    | .400             | 50%                      | .400           | 1.00                       | .000                           | $L$           |
| blokdikte [m]                              | .2    | .01      | 2    | .197             | 50%                      | .200           | 1.00                       | 1.838                          | $D$           |
| spieetbreedte [m]                          | .0013 | .0002    | 2    | 1.12e-3          | 5%                       | 9.7e-4         | 1.15                       | 11.912                         | $s$           |
| maatgevend verhang in toplaag [-]          | 1     | .1       | 2    | .981             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .549                           | $i_t$         |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid          | 1     | .3       | 3    | .774             | 50%                      | 1.000          | .77                        | 8.005                          | $c_{k'}$      |
| dikte uitvullaag [m]                       | .04   | .005     | 2    | .041             | 50%                      | .040           | 1.00                       | .322                           | $b_u$         |
| dikte mijnsteenlaag [m]                    | 1     | .05      | 2    | 1.002            | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .034                           | $b_m$         |
| wrijvingskoeff van blokken [-]             | .6    | .005     | 2    | .600             | 50%                      | .600           | 1.00                       | .000                           | $f_b$         |
| onzekerheid gamma(s1)                      | 1     | .1       | 2    | .993             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .077                           | $c_w$         |
| Zetta [-]                                  | .7    | .1       | 2    | .700             | 50%                      | .700           | 1.00                       | .000                           | $\zeta$       |
| onzekerheid in duur overbelasting          | 1     | .3       | 2    | 1.176            | 50%                      | 1.000          | 1.18                       | 5.005                          | $c_{to}$      |
| max. relatieve blokbeweging [-]            | .2    | .05      | 2    | .172             | 50%                      | .200           | .86                        | 4.766                          | $\epsilon$    |
| relatieve soortelijke massa blok           | 1.3   | .01      | 2    | 1.300            | 50%                      | 1.300          | 1.00                       | .031                           | $\Delta$      |
| onzekerheid gamma(s2)                      | 1     | .2       | 2    | .986             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .068                           | $c_{tr}$      |
| onzekerheid in verschildruk                | 1     | .1       | 2    | 1.073            | 50%                      | 1.000          | 1.07                       | 7.721                          | $c_{\phi w}$  |
| onzekerheid gamma(b1)                      | 1     | .2       | 2    | .960             | 50%                      | 1.000          | 1.00                       | .584                           | $c_{2D}$      |
| onzekerheid duur blokbeweging              | 1     | .2       | 2    | 1.061            | 50%                      | 1.000          | 1.06                       | 1.362                          | $c_{tu}$      |
| onzekerheid gamma(b2)                      | 1     | .3       | 2    | .823             | 50%                      | 1.000          | .82                        | 5.106                          | $c_{toe}$     |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]          | 0     | .1       | 2    | .025             | 5%                       | .165           | .15                        | .909                           | $c_S$         |
| verhouding Tp en Tz                        | 1.2   | .05      | 2    | 1.209            | 50%                      | 1.200          | 1.00                       | .423                           | $c_T$         |
| taludhelling [graden]                      | 15.95 | 1        | 2    | 16.140           | 50%                      | 15.950         | 1.00                       | .501                           | $\alpha$      |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
3 = log-normaal  
7 = Gumbel

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.

Tabel 8.10, Overzicht van geadviseerde veiligheidscoëfficiënten met betrekking tot het voorbeeld van paragraaf 8.3.

| Invoerparameter                        | type | $p(x > k_{ar.})$ | $\gamma_x$ |
|--|------|------------------|------------|
| Stormvloedpeil tov NAP [m] j=1         | 7    | 5%               | 1          |
| Stormvloedpeil tov NAP [m] j=100       | 7    | 5%               | 0.85       |
| onzekerheid in $H_s : \gamma_{H_s}$    | 2    |                  | 1.10       |
| nivo voorland tov NAP [m]              | 2    | 50%              | 1          |
| $H_{max} / H_s$                        | 2    | 50%              | 1          |
| brekerindex ( $H_{max} / d$ )          | 2    | 50%              | 1          |
| golfsteilheid ( $H_{max} / L_{oz}$ )   | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid stijgh. op talud           | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid drukfronthelling           | 2    | 50%              | 1          |
| viscositeit van water ( $mm^2/s$ )     | 2    | 50%              | 1          |
| porositeit van uitvullaag [-]          | 2    | 50%              | 1          |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]       | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid filterdoorlatendheid $a_f$ | 3    | 50%              | 0.65       |
| onzekerheid filterdoorlatendheid $b_f$ | 3    | 50%              | 0.85       |
| porositeit van mijnsteen [-]           | 2    | 50%              | 1          |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]        | 2    | 50%              | 1          |
| maatgevend verhang in filter [-]       | 2    | 50%              | 1          |
| blokbreedte [m]                        | 2    | 50%              | 1          |
| bloklengte [m]                         | 2    | 50%              | 1          |
| blokdikte [m]                          | 2    | 50%              | 1          |
| spleetbreedte [m]                      | 2    | 95%              | 1.15       |
| maatgevend verhang in toplaag [-]      | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid      | 3    | 50%              | 0.80       |
| dikte uitvullaag [m]                   | 2    | 50%              | 1          |
| dikte mijnsteenlaag [m]                | 2    | 50%              | 1          |
| wrijvingskoeff van blokken [-]         | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid $\Gamma_{s1}$              | 2    | 50%              | 1          |
| Zetta [-]                              | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid in duur overbelasting      | 2    | 50%              | 1.20       |
| max. relatieve blokbeweging [-]        | 2    | 50%              | 0.85       |
| relatieve soortelijke massa blok       | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid $\Gamma_{s2}$              | 2    | 50%              | 1          |
| onzekerheid in verschilddruk           | 2    | 50%              | 1.05       |
| onzekerheid duur blokbeweging          | 2    | 50%              | 1.05       |
| onzekerheid $\Gamma_b$                 | 2    | 50%              | 0.80       |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]      | 2    | 50%              | 1          |
| verhouding $T_p$ en $T_z$              | 2    | 50%              | 1          |
| taludhelling $\rho [^\circ]$           | 2    | 50%              | 1          |

type verdelingsfunctie: 2 = normaal  
3 = log-normaal  
7 = Gumbel

Resulterende faalkans als j=1: 0,002  
Resulterende faalkans als j=100: 0,04



Tabel C.11, Aandeel in de totale onzekerheid voor constructie A

| type A.                                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Stormvloedpeil tov NAP [m]                  | * | + | * | + | + | + | + | + | * | *  | *  |
| onzekerheid in Hs [m]                       | * | * | * | * | * | * | * | * | * | *  | *  |
| nivo voorland tov NAP [m]                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| H <sub>max</sub> / Hs                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| brekerindex (H <sub>max</sub> /d)           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                      | + | + | + | + | + | + | + | * | + |    | +  |
| onzekerheid stijgh. op talud                | + | + | + | + | + | + | + | + |   | +  | +  |
| onzekerheid drukfronthelling                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | +  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| porositeit van uitvullaag [-]               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            |   |   |   | + | + | + | + | + |   |    | +  |
| onz. filterdoorlatendheid a                 |   |   |   | + | + |   |   |   |   |    |    |
| onz. filterdoorlatendheid b                 | + | + |   |   | + | + | + | + | + |    | +  |
| maatgevend verhang in filter [-]            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| blokbreedte [m]                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| bloklengte [m]                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| blokdikte [m]                               | + | + | + | + | + | + |   |   |   | +  | +  |
| spleetbreedte [m]                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| maatgevend verhang in toplaag [-]           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onz. toplaagdoorlatendheid                  | + | * | + | * | * | * | * | * | + | +  | *  |
| dikte uitvullaag [m]                        |   | + |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| wrijvingskoeff van blokken [-]              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid gamma(s1)                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| Zetta [-]                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid duur overbelasting              | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  |
| max. relatieve blokbeweging [-]             |   | + |   | + | + |   | + |   |   |    |    |
| relatieve soortelijke massa blok            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid gamma(s2)                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid in verschildruk                 | + | * | + | + | * | * | * | + | + | *  | +  |
| onzekerheid duur blokbeweging               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid gamma(b)                        |   |   |   | + | + |   |   |   |   |    |    |
| onzekerheid stormvloedpeil [m]              | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| taludhelling [graden]                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | +  |

\* = aandeel is groter dan 10%

+ = aandeel is groter dan 2% en kleiner dan 10%

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.

Tabel 2, Veiligheidscoëfficiënten constructie A, berekend op basis van prob.-sommen

| type A.                                     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10    | 11    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Stormvloedpeil tov NAP [m] *                | .94   | 1.00  | .93   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .91  | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid in Hs [m] C <sub>H</sub> *      | .72   | .86   | .61   | .82   | .88   | 1.00  | 1.24  | .90   | .40  | .85   | .85   |
| nivo voorland tov NAP [m]                   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .95   | 1.00  | .95   | 1.00 | 1.00  | .92   |
| H <sub>max</sub> / Hs                       | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| brekerindex (H <sub>max</sub> /d)           | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                      | .95   | .93   | 1.00  | .93   | .93   | 1.25* | 1.14* | 1.30* | .93  | 1.00  | .94   |
| onzekerheid stijgh. op talud                | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .91*  | .94*  | 1.00  | 1.00 | .90*  | 1.00  |
| onzekerheid drukfronthelling                | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| porositeit van uitvullaag [-]               | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            | 1.07  | 1.06  | 1.00  | .81*  | 1.07  | 1.14  | .78*  | 1.13  | 1.00 | 1.09  | 1.12  |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a          | .91   | .91   | .92   | .76   | .79   | .90   | .89   | .90   | .92  | .91   | .90   |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b          | .84   | .76   | .89   | .89   | .83   | .75   | .72   | .76   | .88  | .82   | .79   |
| maatgevend verhang in filter [-]            | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .95   | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| blokbreedte [m]                             | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| bloklengte [m]                              | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| blokdikte [m]                               | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| spleetbreedte [m]                           | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| maatgevend verhang in toplaag [-]           | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid toplaagdoorlatendheid           | .72   | .59   | .81   | .63   | .58   | .51   | .47   | .54   | .78  | .70   | .60   |
| dikte uitvullaag [m]                        | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.06  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| wrijvingscoëff van blokken [-]              | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid gamma(s1)                       | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| Zetta [-]                                   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid in duur overbelasting           | 1.11  | 1.16  | 1.07  | 1.16  | 1.17  | 1.17  | 1.24  | 1.14  | 1.00 | 1.14  | 1.13  |
| max. relatieve blokbeweging [-]             | .94   | .89   | 1.00  | .89   | .88   | .90   | .84   | .92   | 1.00 | .92   | .92   |
| relatieve soortelijke massa blok            | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid gamma(s2)                       | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .95   | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid in verschildruk                 | 1.06  | 1.08  | 1.00  | 1.08  | 1.09  | 1.11  | 1.15  | 1.09  | 1.00 | 1.07  | 1.08  |
| onzekerheid duur blokbeweging               | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| onzekerheid gamma(b)                        | 1.00  | .89   | 1.00  | .89   | .87   | .93   | .91   | .95   | 1.00 | .94   | .94   |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m] *         | .32   | .38   | .28   | .36   | .38   | .43   | .50   | .39   | .19  | .38   | .36   |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| taludhelling [graden]                       | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00  |
| Faalkans                                    | .0253 | .0038 | .0674 | .0053 | .0026 | .0006 | 7e-6  | .0014 | 1497 | .0088 | .0056 |
| Ontwerppunt: Hs/(ΔD)                        | 1.02  | 1.13  | .92   | 1.12  | 1.15  | 1.01  | .80   | .58   | .75  | 1.15  | 1.11  |
| ξ <sub>spo</sub>                            | 2.41  | 2.44  | 2.31  | 2.43  | 2.45  | 2.48  | 2.63  | 5.03  | 4.16 | 1.95  | 1.50  |

\* = karakteristieke waarde heeft 5% over- of onderschrijdingskans.

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.





Tabel 8.13, Overzicht van de veiligheidscoëfficiënten voor konstrukties van het type A.

| Konstruktie<br>faalkans*10 <sup>3</sup> |                             | A.    |       |       |        |        |
|---|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
|   |                             | 0.01  | 1     | 4     | 30     | 150    |
| Variabele                               |                             |       |       |       |        |        |
| c <sub>H</sub> **                       |                             | 1.3 m | 1.0 m | 0.9 m | 0.75 m | 0.45 m |
| k'                                      |                             | 0.43  | 0.47  | 0.57  | 0.7    | 0.7    |
| S <sub>v</sub> **                       |                             | 1     | 1     | 1     | 0.94   | 0.91   |
| c <sub>S</sub> **                       |                             | 0.5   | 0.41  | 0.37  | 0.32   | 0.19   |
| φ <sub>w</sub>                          |                             | 1.2   | 1.15  | 1.12  | 1.05   | 1      |
| G <sub>oz</sub>                         |                             |       |       | 1.2*  |        |        |
| φ <sub>b</sub>                          |                             |       |       | 1.1   |        |        |
| D <sub>f15</sub>                        |                             |       |       | 1.2   |        |        |
| c <sub>af</sub> :                       | als D <sub>f15</sub> > 5 mm |       |       | 0.9   |        |        |
|   | als D <sub>f15</sub> < 5 mm |       |       | 0.75  |        |        |
| c <sub>bf</sub>                         |                             |       |       | 0.7   |        |        |
| t <sub>o</sub>                          |                             |       |       | 1.2   |        |        |
| ε                                       |                             |       |       | 0.9   |        |        |
| overige                                 |                             |       |       | 1     |        |        |

\* = karakteristieke waarde heeft 5% onderschrijdingskans

\*\* = karakteristieke waarde heeft 5% overschrijdingskans

Tabel 8.14, Invoer en enkele tussenresultaten van controle berekening (type A)

| variabele x        |  | deterministisch |            |                      | probabil.     |
|--------------------|--|-----------------|------------|----------------------|---------------|
|                    |  | $x_{kar}$       | $\gamma_x$ | $x_{kar} * \gamma_x$ | $x_{ontwerp}$ |
| INVOER             | blokdikte [m]                          | 0.25            | 1          | 0.25                 | 0.2448        |
|                    | blokbreedte [m]                        | 0.3             | 1          | 0.3                  | 0.3001        |
|                    | bloklengte [m]                         | 0.3             | 1          | 0.3                  | 0.3001        |
|                    | rel. soortelijke massa [-]             | 1.35            | 1          | 1.35                 | 1.349         |
|                    | wrijvingskoeff. blokken [-]            | 0.6             | 1          | 0.6                  | 0.5930        |
|                    | $\zeta$ [-]                            | 0.7             | 1          | 0.7                  | 0.7000        |
|                    | filterlaag: dikte [m]                  | 0.25            | 1          | 0.25                 | 0.2631        |
|                    | $D_{f15u}$ [mm]                        | 10              | 1.2        | 12                   | 11.85         |
|                    | porositeit [-]                         | 0.35            | 1          | 0.35                 | 0.3530        |
|                    | taludhelling $\cot(\alpha)$ [-]        | 3.5             | 1          | 3.5                  | 3.438         |
|                    | spleetbreedte [mm]                     | 2               | 1          | 2                    | 1.926         |
|                    | relatieve blokbeweging [-]             | 0.2             | 0.9        | 0.18                 | 0.1706        |
|                    | stormvloedpeil [m]                     | 2.3             | 1          | 2.3                  | 2.292         |
|                    | Golfsteilheid [%]                      | 2.54            | 1.2        | 3.05                 | 3.073         |
|                    | viscositeit water [ $*10^{-6} m^2/s$ ] | 1.2             | 1          | 1.2                  | 1.201         |
|                    | diepte voorland [m]                    | 1               | 1          | 1                    | 0.9468        |
|                    | onzekerheid: $a_f$                     | 1               | 0.9        | 0.9                  | 0.8758        |
|                    | $b_f$                                  | 1               | 0.7        | 0.7                  | 0.7213        |
|                    | $\phi_w$                               | 1               | 1.18       | 1.18                 | 1.12          |
|                    | $t_o$                                  | 1               | 1.2        | 1.2                  | 1.205         |
| $H_s$              | 0.12                                   | 1.15            | 0.13       | 0.1270               |               |
| $S_v$              | 0.17                                   | 0.46            | 0.076      | 0.076                |               |
| * TUSSENRESULTATEN | Golfhoogte $H_s$ [m]                   | 0.21            | 1          | 0.36                 | 0.358         |
|                    | Golfperiode $T_p$ [s]                  | 2.7             | 1          | 3.3                  | 3.280         |
|                    | doorlatendheid filterlaag [m/s]        | 0.118           | 1          | 0.159                | 0.162         |
|                    | doorlatendheid toplaag [m/s]           | 0.011           | 0.45       | 0.005                | 0.005         |
|                    | leklengte [m]                          | 0.22            | 1          | 0.38                 | 0.394         |
|                    | $H_s/(\Delta D)$ [-]                   | 0.61            | 1          | 1.1                  | 1.059         |
|                    | Stijghoogte op talud [m]               | 0.32            | 1.1        | 0.58                 | ?             |
|                    | hoek drukfront tov verticaal [°]       | 61              | 1          | 53                   | ?             |
|                    | duur overbelasting [s]                 | 0.39            | 1.2        | 0.50                 | ?             |
|                    | $\Gamma_{s1}$ [-]                      | 1.17            | 1          | 1.17                 | 1.170         |
|                    | $\Gamma_{s2}$ [-]                      | 1.16            | 1          | 1.09                 | 1.076         |
|                    | $\Gamma_b$ [-]                         | 1.20            | 1          | 1.14                 | 1.103         |

\*: De waarden van  $\gamma_x * x_{kar}$  van de tussenresultaten worden niet altijd uitsluitend beïnvloed door de karakteristieke waarde en de veiligheidsfactor van die variabele, maar vaak ook door de grootte van de invoervariabelen. Daardoor is  $\gamma_x * x_{kar}$  niet eenvoudig na te rekenen door  $\gamma_x$  en  $x_{kar}$  van de betreffende variabele met elkaar te vermenigvuldigen.



Tabel 5, Aandeel in de totale onzekerheid voor constructie B.

| type B.                            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |               |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---------------|
| Stormvloedpeil tov NAP [m]         | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | *  | $S_v$         |
| onzekerheid in $H_s$ [m]           | * | * | * | * | * | * | * | * | * | *  | *  | *  | $c_{H_s}$     |
| nivo voorland tov NAP [m]          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $d$           |
| $H_{max} / H_s$                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $H_{max}/H_s$ |
| brekerindex ( $H_{max}/d$ )        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $H_{max}/d^s$ |
| golfsteilheid ( $H_s/L_{0z}$ )     | + | + | + |   | + | + | + | + |   | +  | +  | +  | $G_{max}$     |
| onzekerheid stijgh. op talud       | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $c_{oz}$      |
| onzekerheid drukfronthelling       |   |   |   |   |   |   | + |   |   |    |    |    | $c_{\phi w}$  |
| viscositeit van water ( $mm^2/s$ ) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $v_{\beta}$   |
| porositeit van uitvullaag [-]      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $n_u$         |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $D_{f15u}$    |
| onz. filterdoorlatendheid a        | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $c_{af}$      |
| onz. filterdoorlatendheid b        | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |    | +  | $c_{bf}$      |
| porositeit van mijnsteen [-]       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $n_m$         |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $D_{f15m}$    |
| maatgevend verhang in filter [-]   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $i_s$         |
| blokbreedte [m]                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $B^s$         |
| bloklengte [m]                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $L$           |
| blokdikte [m]                      | + |   |   | + |   |   | + |   | + | +  |    |    | $D$           |
| spleetbreedte [m]                  |   | + | + |   |   |   |   |   |   |    | +  |    | $s$           |
| maatgevend verhang in toplaag [-]  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $i_t$         |
| onz. toplaagdoorlatendheid         | * | * | * | * | * | * | * | * | * | *  | +  | +  | $c_{k'}$      |
| dikte uitvullaag [m]               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $b_u$         |
| dikte mijnsteenlaag [m]            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $b_m$         |
| wrijvingskoeff van blokken [-]     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $f_b$         |
| onzekerheid gamma(s1)              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $c_w$         |
| Zetta [-]                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $\zeta$       |
| onzekerheid in duur overbelasting  | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $c_{to}$      |
| max. relatieve blokbeweging [-]    | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $\epsilon$    |
| relatieve soortelijke massa blok   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $\Delta$      |
| onzekerheid gamma(s2)              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $c_{tr}$      |
| onzekerheid in verschilddruk       | * | * | * | * | + | + | * | * | * | *  | +  | +  | $c_{\phi w}$  |
| onzekerheid duur blokbeweging      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $c_{tu}$      |
| onzekerheid gamma(b)               | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $c_{toe}$     |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m]  | + | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | $c_s$         |
| verhouding $T_p$ en $T_z$          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $c_T$         |
| taludhelling [graden]              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | $\alpha$      |

\* = aandeel is groter dan 10%

+ = aandeel is groter dan 2% en kleiner dan 10%

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.

Tabel 8.16. Veiligheidscoëfficiënten constructie B, berekend op basis van prob.-sommen

|   | type B. | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |               |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| Stormvloedpeil tov NAP [m] *                | *       | 1.00  | 1.00  | .94   | 1.00  | 1.00  | .95   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .95   | $S_v$         |
| onzekerheid in Hs [m] *                     | *       | .88   | 1.00  | .76   | 1.08  | .87   | .81   | .84   | 1.00  | 1.15  | .85   | .89   | .81   | $c_{dHs}$     |
| nivo voorland tov NAP [m]                   |         | .94   | .94   | 1.00  | 1.00  | .95   | 1.00  | .94   | .92   | .91   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $H_{max}/H$   |
| H <sub>max</sub> / Hs                       |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $H_{max}/d^S$ |
| brekerindex (H <sub>max</sub> /d)           |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $G_{max}$     |
| golfsteilheid (Hs/Loz)                      |         | 1.38* | 1.25* | .94   | .94   | 1.42* | 1.44* | 1.44* | 1.32* | .94   | 1.41* | 1.38* | 1.42* | $c_{oz}$      |
| onzekerheid stijgh. op talud                |         | 1.00  | .91*  | .92*  | .92*  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | .90*  | .92*  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{\phi w}$  |
| onzekerheid drukfronthelling                |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $v\beta$      |
| viscositeit van water (mm <sup>2</sup> /s)  |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $n_u$         |
| porositeit van uitvullaag [-]               |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $D_{f15u}$    |
| korrelgrootte van uitvullaag [m]            |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{af}$      |
| onzekerheid filterdoorlatendheid a          |         | .76   | .73   | .73   | .73   | .74   | .82   | .79   | .78   | .75   | .73   | .75   | .77   | $c_{bf}$      |
| onzekerheid filterdoorlatendheid b          |         | .78   | .76   | .76   | .76   | .76   | .80   | .76   | .76   | .73   | .82   | .83   | .84   | $n_m$         |
| porositeit van mijnsteen [-]                |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $D_{f15m}$    |
| korrelgrootte van mijnsteen [m]             |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $i_s$         |
| maatgevend verhang in filter [-]            |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $B_s$         |
| blokbreedte [m]                             |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $L$           |
| bloklengte [m]                              |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $D$           |
| blokdikte [m]                               |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00* | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $s$           |
| spleetbreedte [m]                           |         | 1.00  | .95   | .95   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.16* | 1.00  | .95   | 1.00  | $i_t$         |
| maatgevend verhang in top laag [-]          |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{k'}$      |
| onzekerheid top laag doorlatendheid         |         | .56   | .50   | .52   | .54   | .56   | .63   | .52   | .54   | .48   | .59   | .63   | .68   | $b_u$         |
| dikte uitvullaag [m]                        |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $b_m$         |
| dikte mijnsteen laag [m]                    |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $f_b$         |
| wrijvingscoëff van blokken [-]              |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_w$         |
| onzekerheid gamma(s1)                       |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $\zeta$       |
| Zetta [-]                                   |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{to}$      |
| onzekerheid in duur overbelasting           |         | 1.16  | 1.18  | 1.20  | 1.20  | 1.16  | 1.14  | 1.15  | 1.16  | 1.20  | 1.14  | 1.15  | 1.13  | $\epsilon$    |
| max. relatieve blokbeweging [-]             |         | .79   | .75   | .71   | .70   | .78   | .83   | .82   | .79   | .70   | .83   | .82   | .84   | $\Delta$      |
| relatieve soortelijke massa blok            |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{tr}$      |
| onzekerheid gamma(s2)                       |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $c_{\phi w}$  |
| onzekerheid in verschildruk                 |         | 1.09  | 1.11  | 1.12  | 1.12  | 1.09  | 1.08  | 1.09  | 1.10  | 1.13  | 1.09  | 1.08  | 1.07  | $c_{tu}$      |
| onzekerheid duur blokbeweging               |         | 1.06  | 1.07  | 1.07  | 1.08  | 1.06  | 1.00  | 1.05  | 1.06  | 1.07  | 1.05  | 1.05  | 1.00  | $c_{toe}$     |
| onzekerheid gamma(b)                        |         | .82   | .80   | .77   | .77   | .82   | .86   | .85   | .83   | .77   | .85   | .85   | .87   | $c_S$         |
| onzekerheid in stormvloedpeil [m] *         | *       | .38   | .43   | .34   | .45   | .38   | .36   | .37   | .41   | .47   | .37   | .39   | .36   | $c_T$         |
| verhouding T <sub>p</sub> en T <sub>z</sub> |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | $\alpha$      |
| taludhelling [graden]                       |         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |               |
| Faalkans                                    |         | .0014 | .0002 | .0008 | .0001 | .0016 | .0056 | .0020 | .0006 | 4e-5  | .0029 | .0025 | .0066 |               |
| Ontwerppunt: Hs/(ΔD)                        |         | .94   | .85   | 1.22  | 1.12  | .90   | .87   | .91   | .98   | 1.14  | .91   | .39   | .87   |               |
| $\xi_{spu}$                                 |         | 3.21  | 3.38  | 2.11  | 2.12  | 3.77  | 3.74  | 3.76  | 2.23  | 1.45  | 3.18  | 2.12  | 3.15  |               |

\* = Karakteristieke waarde heeft 5% onder- of overschrijdingskans

N.B. Aandeel in onzekerheid wil zeggen: aandeel in variantie ( $\sigma^2$ ) van Z-functie.



Tabel 8.17, Overzicht van de veiligheidscoëfficiënten voor konstrukties van het type B.

| Karakteristieke konstr.                   | B1 of B4 |      |      | B3   |
|---|----------|------|------|------|
| faalkans*10 <sup>3</sup>                  | 0.04     | 0.6  | 6    | 0.8  |
| Variabele                                 |          |      |      |      |
| c <sub>H</sub> *                          | 1.20     | 1.05 | 0.85 | 0.8  |
| k'  | 0.43     | 0.50 | 0.60 | 0.47 |
| S <sub>v</sub> *                          | 1        | 1    | 1    | 1    |
| c <sub>S</sub> *                          | 0.42     | 0.37 | 0.33 | 0.30 |
| φ <sub>w</sub>                            | 1.15     | 1.10 | 1.10 | 1.15 |
| G <sub>oz</sub> (als G <sub>oz</sub> < 3) |          |      | 0.8  |      |
| G <sub>oz</sub> (als G <sub>oz</sub> > 3) |          |      | 0.94 |      |
| ε   |          |      | 0.70 |      |
| Γ <sub>b</sub>                            |          |      | 0.80 |      |
| φ <sub>b</sub>                            |          |      | 1.05 |      |
| c <sub>af</sub>                           |          |      | 0.75 |      |
| c <sub>bf</sub>                           |          |      | 0.75 |      |
| t <sub>o</sub>                            |          |      | 1.20 |      |
| overige                                   |          |      | 1    |      |

\* = karakteristieke waarde heeft 5% overschrijdingskans

Tabel 8.18, Overzicht van de veiligheidscoëfficiënten voor het analytische model.

| faalkans*10 <sup>3</sup>                        | 0.01   | 0.1  | 1   | 10   | 100 |
|---|--|------|-----|------|-----|
| Variabele                                       |  |      |     |      |     |
| Onzekerheid H <sub>s</sub> (c <sub>H</sub> ) ** | 1.3  | 1.2  | 1.0 | 0.8  | 0.6 |
| Stormvloedpeil (S <sub>v</sub> ) **             | 1  | 1    | 1   | 0.95 | 0.9 |
| Onzekerheid S <sub>v</sub> (c <sub>S</sub> ) ** | 0.5  | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 |
| Toplaagdoorlatendheid (k')                      | 0.4  | 0.45 | 0.5 | 0.6  | 0.7 |
| Stijghoogteverschil (φ <sub>w</sub> )           | 1.2  | 1.15 | 1.1 | 1.05 | 1   |
| Golfsteilheid (G <sub>oz</sub> )                | 0.7 (als G <sub>oz</sub> < 3%)<br>0.9 (als G <sub>oz</sub> > 3%) |      |     |      |     |
| Stijghoogte op talud (φ <sub>b</sub> )          | 1.1  |      |     |      |     |
| filterdoorlatendheid (a <sub>f</sub> )          | 0.75   |      |     |      |     |
| filterdoorlatendheid (b <sub>f</sub> )          | 0.7  |      |     |      |     |
| overbelastingsduur (t <sub>o</sub> )            | 1.2  |      |     |      |     |
| Toelaatbare beweging (ε)                        | 0.7  |      |     |      |     |
| Toestromingsinvloed (Γ <sub>b</sub> )           | 0.8  |      |     |      |     |

\*\* = karakteristieke waarde heeft 5% overschrijdingskans



TABEL 9.1 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET STEENZET/1+  
VOOR PERIODE VAN 1 JAAR

| grootheid                          | type                               | gemiddelde | deviatie            | ontwerppunt        | bvar                |      |
|------------------------------------|------------------------------------|------------|---------------------|--------------------|---------------------|------|
| -----                              |                                    |            |                     |                    |                     |      |
| Stochastische invoergrootheden.    |                                    |            |                     |                    |                     |      |
| visc                               | :viscositeit van water             | 2          | $1.2 \cdot 10^{-6}$ | $.1 \cdot 10^{-6}$ | $1.2 \cdot 10^{-6}$ | .8   |
| BB                                 | :breedte van de blokken            | 2          | .5000               | .0100              | .5000               | .0   |
| LB                                 | :lengte van de blokken             | 2          | .5000               | .0100              | .4980               | .4   |
| s                                  | :breedte van de spleten            | 2          | .0013               | .0002              | .0012               | .1   |
| alpha                              | :taludhelling                      | 2          | .2783               | .0175              | .2794               | .0   |
| D                                  | :dikte van de blokken              | 2          | .2000               | .0100              | .2011               | .2   |
| blu                                | :dikte van de uitvullaag           | 2          | .0400               | .0050              | .0408               | .3   |
| blm                                | :dikte van de mijnsteenlaag        | 2          | 1.0000              | .0500              | 1.0096              | .4   |
| delta                              | :relatieve dichtheid blokken       | 2          | 1.1760              | .0100              | 1.1761              | .0   |
| nu                                 | :porositeit uitvulmateriaal        | 2          | .4000               | .0200              | .4015               | .1   |
| Du15                               | :d15 van het uitvulmateriaal       | 2          | .0100               | .0010              | .0100               | .1   |
| cau                                | :onz. lin. w.coef. uitvullaag      | 3          | 1.0830              | .4512              | .9807               | .0   |
| cbu                                | :onz. kwadr. w.coef. uitvullaag    | 3          | 1.0830              | .4512              | .9003               | 1.0  |
| nm                                 | :porositeit mijnsteen              | 2          | .2100               | .0100              | .2156               | 3.5  |
| Dm15                               | :d15 van mijnsteen                 | 2          | .0035               | .0003              | .0036               | 3.5  |
| cam                                | :onz. lin. w.coef. mijnsteen       | 3          | 1.0830              | .4512              | .5983               | 23.6 |
| cbm                                | :onz. kwadr. w.coef. mijnsteen     | 3          | 1.0830              | .4512              | .9400               | .3   |
| ckacc                              | :onz. gelin. doorl. toplaag        | 3          | 1.0460              | .3210              | .9652               | .2   |
| umaxtl                             | :maximaal toelaatbare blokverpl.   | 2          | .0400               | .0100              | .0328               | 5.8  |
| fb                                 | :wrijvings weerstand parameter     | 2          | .6000               | .0100              | .6000               | .0   |
| Isu                                | :geschat evenw. verh. uitvullaag   | 2          | .3000               | .0500              | .2944               | .1   |
| Ism                                | :geschat evenw. verh. mijnsteenl.  | 2          | .3000               | .0500              | .2967               | .0   |
| It                                 | :geschat loodr. verh. toplaag      | 2          | 1.0000              | .2000              | 1.0044              | .0   |
| cd                                 | :brekerindex                       | 2          | .6000               | .0500              | .6000               | .0   |
| cgfb                               | :factor tussen dudg en dudfb       | 3          | 1.0300              | .1800              | 1.0146              | .0   |
| ch1                                | :factor tussen dudh en dudlambda   | 2          | 6.0000              | 1.0000             | 6.0494              | .0   |
| chksi                              | :factor tussen dudh en dudksi      | 2          | .4000               | .0500              | .3993               | .0   |
| u0                                 | :blokbeweging van ontw.pt.         | 2          | .0300               | .0100              | .0409               | 13.6 |
| dudH                               | :part. afg. naar golfhoogte        | 2          | .0600               | .0200              | .0235               | 37.5 |
| cuaf                               | :factor tussen dudafeat en dudh    | 3          | .0254               | .0200              | .0200               | .0   |
| cuat                               | :factor mbt dudatoestroming        | 3          | 1.0620              | .3790              | 1.1308              | 1.7  |
| cstz                               | :onz. steenzetbenadering           | 2          | 1.0000              | .3000              | 1.1797              | 4.1  |
| Sv1                                | :stormvloedpeil in 1 jaar          | 7          | 2.1700              | .4200              | 2.2673              | 1.7  |
| cS                                 | :onz stormvloedpeil in j jaar      | 2          | .0000               | .1000              | .0093               | .1   |
| ch                                 | :onz. significante golfhoogte      | 2          | .0000               | .0700              | .0146               | .5   |
| cm                                 | :factor tussen sign. en maatg. h.  | 2          | 1.5000              | .1000              | 1.5034              | .0   |
| GoZ                                | :golfsteilheid op diep water       | 2          | .0500               | .0050              | .0499               | .0   |
| ct                                 | :verhouding tussen Tz en Tp        | 2          | 1.2000              | .1000              | 1.2019              | .0   |
| -----                              |                                    |            |                     |                    |                     |      |
| Deterministische invoergrootheden. |                                    |            |                     |                    |                     |      |
| dt                                 | :plaats van de teen van de zetting |            | .0000               |                    |                     |      |
| lambd0                             | :lek lengte van ontwikkelpunt      |            | .2200               |                    |                     |      |
| afrea0                             | :freatische par. van ontw.pt.      |            | .0300               |                    |                     |      |
| a toe0                             | :toestroom par. van ontw.pt.       |            | .0750               |                    |                     |      |
| fb0                                | :wrijvingscoef. van ontw.pt.       |            | .6000               |                    |                     |      |
| Gw0                                | :eigengewicht van ontwikkelpunt    |            | .2270               |                    |                     |      |
| HO                                 | :golfhoogte van ontwikkelpunt      |            | 1.5000              |                    |                     |      |
| ksi0                               | :brekerparameter van ontw.pt.      |            | 1.8000              |                    |                     |      |
| j                                  | :aantal jaren                      |            | 1.0000              |                    |                     |      |
| ch1                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | .5000               |                    |                     |      |
| ch2                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | -.5000              |                    |                     |      |
| ch3                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | -.6000              |                    |                     |      |
| -----                              |                                    |            |                     |                    |                     |      |

## Resulterende grootheden.

|        |                                    |            |            |
|--------|------------------------------------|------------|------------|
| dudl   | :part. afg. naar lambda            | .0846      | .0336      |
| dudafr | :part. afg. naar freat. parameter  | .0762      | .0236      |
| dudafl | :part. afg. naar aanstr. par.      | .4248      | .6179      |
| dudfw  | :part. afg. naar wr.coefficient    | -.0180     | .0063      |
| dudG   | :part. afg. naar eigengewicht      | -.2711     | .0960      |
| dudksi | :part. afg. naar breker parameter  | .0056      | .0022      |
| au     | :lin. weerst.coef. uitvulmateriaal | 1.1935     | 1.0206     |
| bu     | :kw. weerst.coef. uitvulmateriaal  | 151.9515   | 124.2453   |
| ku     | :doorlatendheid uitvulmateriaal    | .1355      | .1519      |
| am     | :lin. weerst.coef. mijnsteen       | 116.7249   | 52.3235    |
| bm     | :kwadr. weerst.coef. mijnsteen     | 1575.1373  | 1238.0755  |
| km     | :doorlatendheid mijnsteen          | .0082      | .0170      |
| l      | :                                  | 192.3076   | 195.3629   |
| rmin   | :                                  | .0050      | .0050      |
| aacc   | :lin. weerst.coef. toplaag         | 168.0431   | 172.7290   |
| bacc   | :kwadr. weerst.coef. toplaag       | 31502.6280 | 31853.1812 |
| kacc   | :doorlatendheid toplaag            | .0037      | .0033      |
| lambda | :lek lengte                        | .2355      | .3254      |
| Blf    | :dikte van het filter              | 1.0400     | 1.0505     |
| nf     | :vervangende porositeit van filter | .2173      | .2228      |
| afrea  | :freatische parameter              | .0412      | .0358      |
| kf     | :vervangende doorl.heid van filter | .0131      | .0223      |
| a toe  | :toestromingsparameter             | .0548      | .0945      |
| Gw     | :eigen gewicht factor              | .2261      | .2274      |
| Svj    | :stormvloedpeil in j jaar          | 2.1700     | 2.2673     |
| Sv     | :stormvl.peil in j jaar + onz.heid | 2.1700     | 2.2767     |
| Hs     | :significante golfhoogte           | .1648      | .2136      |
| Hm     | :maatgevende golfhoogte            | .2472      | .3212      |
| H      | :maatg. golfhoogte bij constructie | .2472      | .3212      |
| Tp     | :golfperiode bij spectrumtop       | 1.7445     | 1.9904     |
| ksi    | :brekerparameter                   | 1.2519     | 1.2585     |
| u      | :blokverplaatsing                  | -.0544     | .0278      |
|        | :Hs / delta. D                     | .7009      | .9030      |

=====

beta = 2.894

Pf = .190E-02





TABEL 9.2 FAALKANS PROVO-CONSTRUCTIE MET STEENZET/1+  
VOOR PERIODE VAN 100 JAAR

| grootheid                          | type                               | gemiddelde | deviatie             | ontwikkelpunt       | bvar                 |      |
|------------------------------------|------------------------------------|------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|
| -----                              |                                    |            |                      |                     |                      |      |
| Stochastische invoergrootheden.    |                                    |            |                      |                     |                      |      |
| visc                               | :viscositeit van water             | 2          | 1.2 10 <sup>-6</sup> | .1 10 <sup>-6</sup> | 1.2 10 <sup>-6</sup> | 1.0  |
| BB                                 | :breedte van de blokken            | 2          | .5000                | .0100               | .5000                | .0   |
| LB                                 | :lengte van de blokken             | 2          | .5000                | .0100               | .4984                | .4   |
| s                                  | :breedte van de spleten            | 2          | .0013                | .0002               | .0012                | .9   |
| alpha                              | :taludhelling                      | 2          | .2783                | .0175               | .2807                | .4   |
| D                                  | :dikte van de blokken              | 2          | .2000                | .0100               | .1995                | .0   |
| blu                                | :dikte van de uitvullaag           | 2          | .0400                | .0050               | .0408                | .5   |
| blm                                | :dikte van de mijnsteenlaag        | 2          | 1.0000               | .0500               | 1.0086               | .6   |
| delta                              | :relatieve dichtheid blokken       | 2          | 1.1760               | .0100               | 1.1758               | .0   |
| nu                                 | :porositeit uitvulmateriaal        | 2          | .4000                | .0200               | .4012                | .1   |
| Du15                               | :d15 van het uitvulmateriaal       | 2          | .0100                | .0010               | .0100                | .1   |
| cau                                | :onz. lin. w.coef. uitvullaag      | 3          | 1.0830               | .4512               | .9816                | .0   |
| cbu                                | :onz. kwadr. w.coef. uitvullaag    | 3          | 1.0830               | .4512               | .9053                | 1.4  |
| nm                                 | :porositeit mijnsteen              | 2          | .2100                | .0100               | .2151                | 4.9  |
| Dm15                               | :d15 van mijnsteen                 | 2          | .0035                | .0003               | .0036                | 4.9  |
| cam                                | :onz. lin. w.coef. mijnsteen       | 3          | 1.0830               | .4512               | .6217                | 33.1 |
| cbm                                | :onz. kwadr. w.coef. mijnsteen     | 3          | 1.0830               | .4512               | .9487                | .4   |
| ckacc                              | :onz. gelin. doorl. top laag       | 3          | 1.0460               | .3210               | .9354                | 1.0  |
| umaxtl                             | :maximaal toelaatbare blokverpl.   | 2          | .0400                | .0100               | .0332                | 8.3  |
| fb                                 | :wrijvings weerstand parameter     | 2          | .6000                | .0100               | .5999                | .0   |
| Isu                                | :geschat evenw. verh. uitvullaag   | 2          | .3000                | .0500               | .2947                | .2   |
| Ism                                | :geschat evenw. verh. mijnsteenl.  | 2          | .3000                | .0500               | .2972                | .1   |
| It                                 | :geschat loodr. verh. top laag     | 2          | 1.0000               | .2000               | 1.0081               | .0   |
| cd                                 | :brekerindex                       | 2          | .6000                | .0500               | .6000                | .0   |
| cgfb                               | :factor tussen dudg en dudfb       | 3          | 1.0300               | .1800               | 1.0146               | .0   |
| ch1                                | :factor tussen dudh en dudlambda   | 2          | 6.0000               | 1.0000              | 6.0964               | .2   |
| chksi                              | :factor tussen dudh en dudksi      | 2          | .4000                | .0500               | .3988                | .0   |
| u0                                 | :blokbeweging van ontw.pt.         | 2          | .0300                | .0100               | .0396                | 17.1 |
| dudH                               | :part. afg. naar golfhoogte        | 2          | .0600                | .0200               | .0464                | 8.5  |
| cuaf                               | :factor tussen dudafeat en dudh    | 3          | .0254                | .0200               | .0200                | .0   |
| cuat                               | :factor mbt dudatoestroming        | 3          | 1.0620               | .3790               | 1.0892               | 1.3  |
| cstz                               | :onz. steenzetbenadering           | 2          | 1.0000               | .3000               | 1.1716               | 6.1  |
| Sv1                                | :stormvloedpeil in 1 jaar          | 7          | 2.1700               | .4200               | 2.3222               | 4.4  |
| cS                                 | :onz stormvloedpeil in j jaar      | 2          | .0000                | .1000               | .0116                | .3   |
| ch                                 | :onz. significante golfhoogte      | 2          | .0000                | .0700               | .0272                | 2.8  |
| cm                                 | :factor tussen sign. en maatg. h.  | 2          | 1.5000               | .1000               | 1.5213               | .8   |
| Goz                                | :golfsteilheid op diep water       | 2          | .0500                | .0050               | .0498                | .0   |
| ct                                 | :verhouding tussen Tz en Tp        | 2          | 1.2000               | .1000               | 1.2035               | .0   |
| -----                              |                                    |            |                      |                     |                      |      |
| Deterministische invoergrootheden. |                                    |            |                      |                     |                      |      |
| dt                                 | :plaats van de teen van de zetting |            | .0000                |                     |                      |      |
| lambd0                             | :leklengte van ontwikkelpunt       |            | .2200                |                     |                      |      |
| afrea0                             | :freatische par. van ontw.pt.      |            | .0300                |                     |                      |      |
| a toe0                             | :toestroom par. van ontw.pt.       |            | .0750                |                     |                      |      |
| fb0                                | :wrijvingscoef. van ontw.pt.       |            | .6000                |                     |                      |      |
| Gw0                                | :eigengewicht van ontwikkelpunt    |            | .2270                |                     |                      |      |
| H0                                 | :golfhoogte van ontwikkelpunt      |            | 1.5000               |                     |                      |      |
| ksi0                               | :brekerparameter van ontw.pt.      |            | 1.8000               |                     |                      |      |
| j                                  | :aantal jaren                      |            | 100.0000             |                     |                      |      |
| ch1                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | .5000                |                     |                      |      |
| ch2                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | -.5000               |                     |                      |      |
| ch3                                | :sign. golfhoogte parameter        |            | -.6000               |                     |                      |      |
| -----                              |                                    |            |                      |                     |                      |      |

## Resultierende grootheden.

|        |                                    |            |            |
|--------|------------------------------------|------------|------------|
| dudl   | :part. afg. naar lambda            | .0846      | .0664      |
| dudafr | :part. afg. naar freat. parameter  | .0762      | .0466      |
| dudafl | :part. afg. naar aanstr. par.      | .4248      | .5753      |
| dudfb  | :part. afg. naar wr.coefficient    | -.0180     | -.0065     |
| dudG   | :part. afg. naar eigengewicht      | -.2711     | -.0987     |
| dudksi | :part. afg. naar breker parameter  | .0056      | .0043      |
| au     | :lin. weerst.coef. uitvulmateriaal | 1.1935     | 1.0292     |
| bu     | :kw. weerst.coef. uitvulmateriaal  | 151.9515   | 125.1920   |
| ku     | :doorlatendheid uitvulmateriaal    | .1355      | .1512      |
| am     | :lin. weerst.coef. mijnsteen       | 116.7249   | 55.3224    |
| bm     | :kwadr. weerst.coef. mijnsteen     | 1575.1373  | 1259.1755  |
| km     | :doorlatendheid mijnsteen          | .0082      | .0162      |
| l      | :                                  | 192.3076   | 198.7911   |
| rmin   | :                                  | .0050      | .0050      |
| aacc   | :lin. weerst.coef. toplaag         | 168.0431   | 182.3491   |
| bacc   | :kwadr. weerst.coef. toplaag       | 31502.6280 | 33280.0471 |
| kacc   | :doorlatendheid toplaag            | .0037      | .0031      |
| lambda | :lek lengte                        | .2355      | .3309      |
| Blf    | :dikte van het filter              | 1.0400     | 1.0495     |
| nf     | :vervangende porositeit van filter | .2173      | .2223      |
| afrea  | :freatische parameter              | .0412      | .0338      |
| kf     | :vervangende doorl.heid van filter | .0131      | .0215      |
| a toe  | :toestromingsparameter             | .0548      | .0909      |
| Gw     | :eigen gewicht factor              | .2261      | .2255      |
| Svj    | :stormvloedpeil in j jaar          | 3.6897     | 3.8419     |
| Sv     | :stormvl.peil in j jaar + onz.heid | 3.6897     | 3.8535     |
| Hs     | :significante golfhoogte           | .5596      | .6217      |
| Hm     | :maatgevende golfhoogte            | .8395      | .9458      |
| H      | :maatg. golfhoogte bij constructie | .8395      | .9458      |
| Tp     | :golfperiode bij spectrumtop       | 3.2144     | 3.4017     |
| ksi    | :brekerparameter                   | 1.2519     | 1.2599     |
| u      | :blokverplaatsing                  | -.0188     | .0284      |
|        | :Hs / delta / D                    | 2.3795     | 2.6491     |

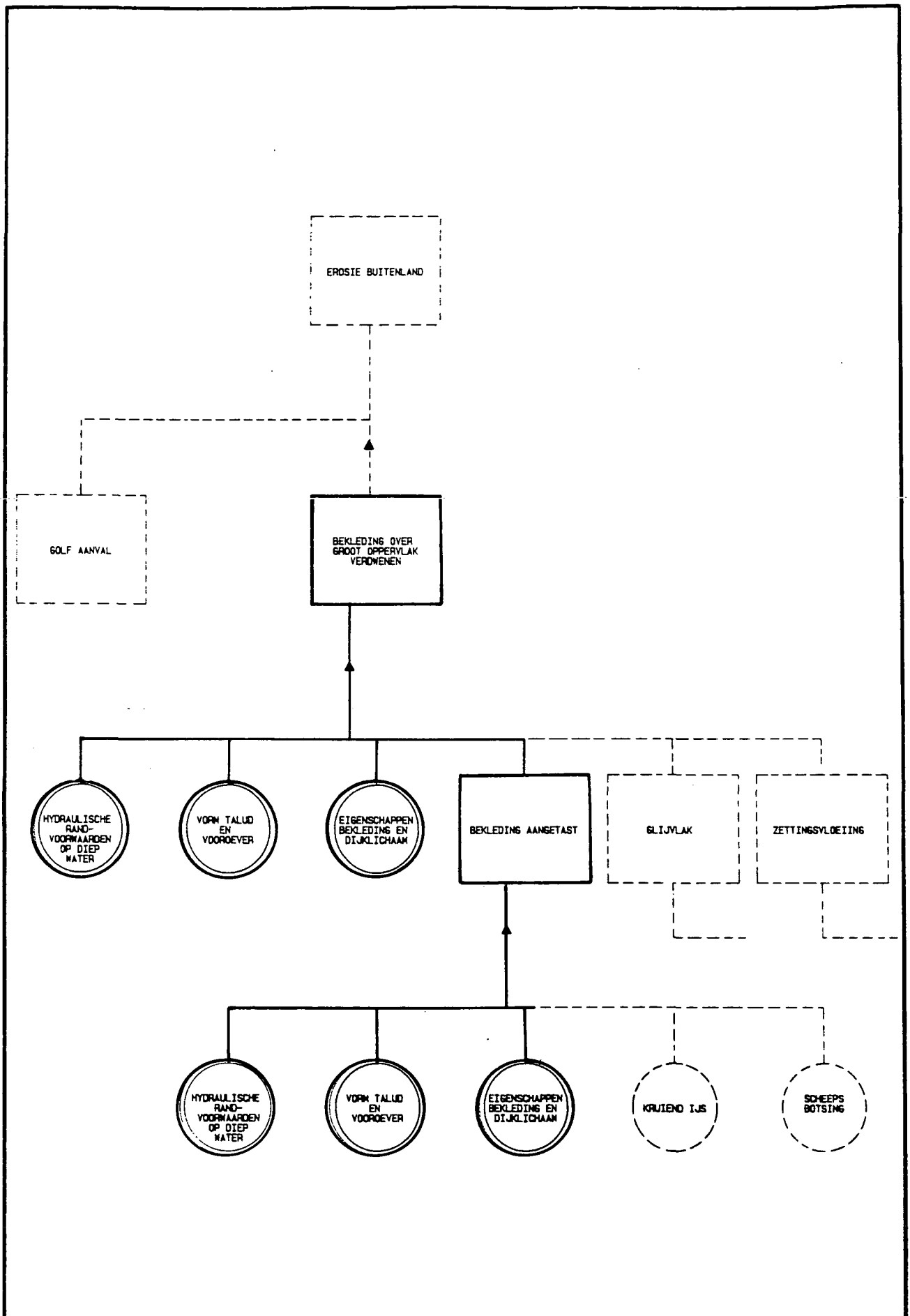
-----



beta = 2.243

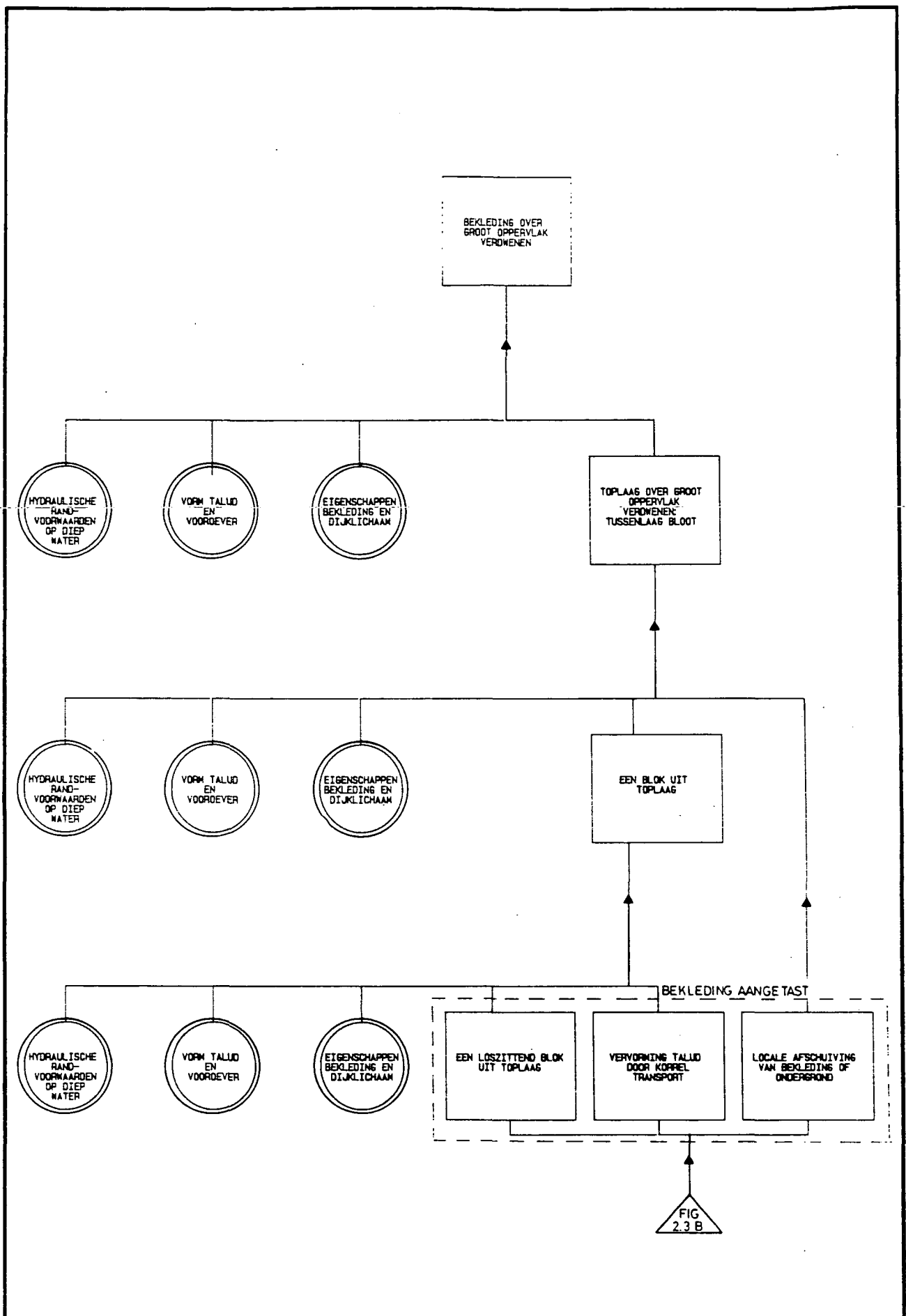
Pf = .125E-01

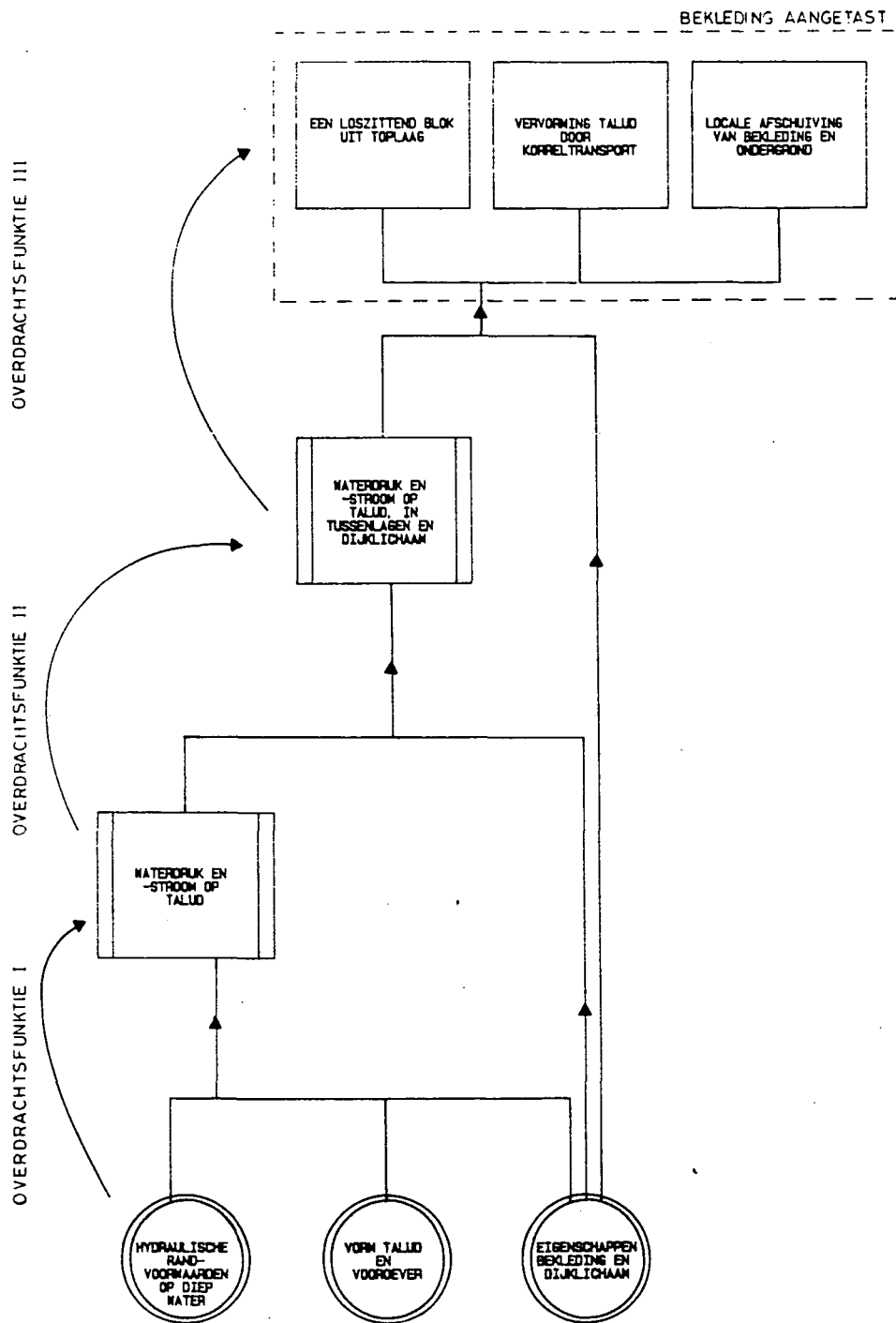
FIGUREN

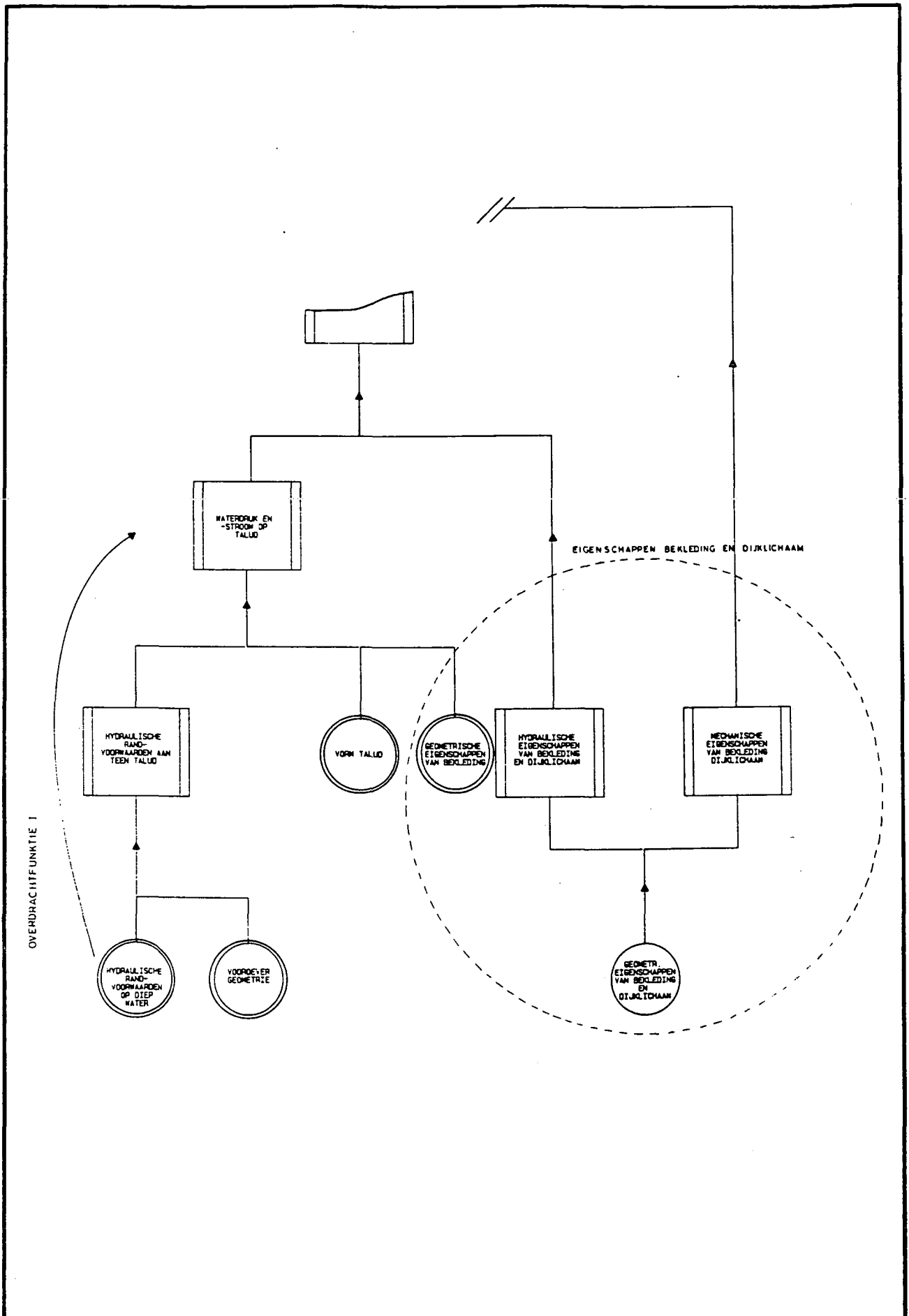




|   |  |   |                         |   |
|---|--|---|-------------------------|---|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 69, 2600 AB Delft<br>Telefoon (015) 69 35 00 | Telefax (015) 61 08 21<br>Telex 38234 soil nl | d.d.<br><b>88-06-22</b> | get.<br> |
| <b>BESCHOUWDE HOOFD-FOUTENBOOM ALS ONDERDEEL VAN DE<br/>FOUTENBOOM VAN EEN WATERKERING</b>                          |  |   | <b>CO- 291810</b>       | gez.  |
|   |  |   | <b>FIG. 2.2</b>         | form.<br><b>A4</b>  |







**GRONDMECHANICA  
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21  
Telex 38234 soil nl

d d.

**88-06-22**

gfr

**NADERE DETAILLERING FOUTENBOOM T.A.V. OVERDRACHTSFUNKTIE I  
EN EIGENSCHAPPEN BEKLEDING EN DIJKLICHAAM**

**CO- 291810**

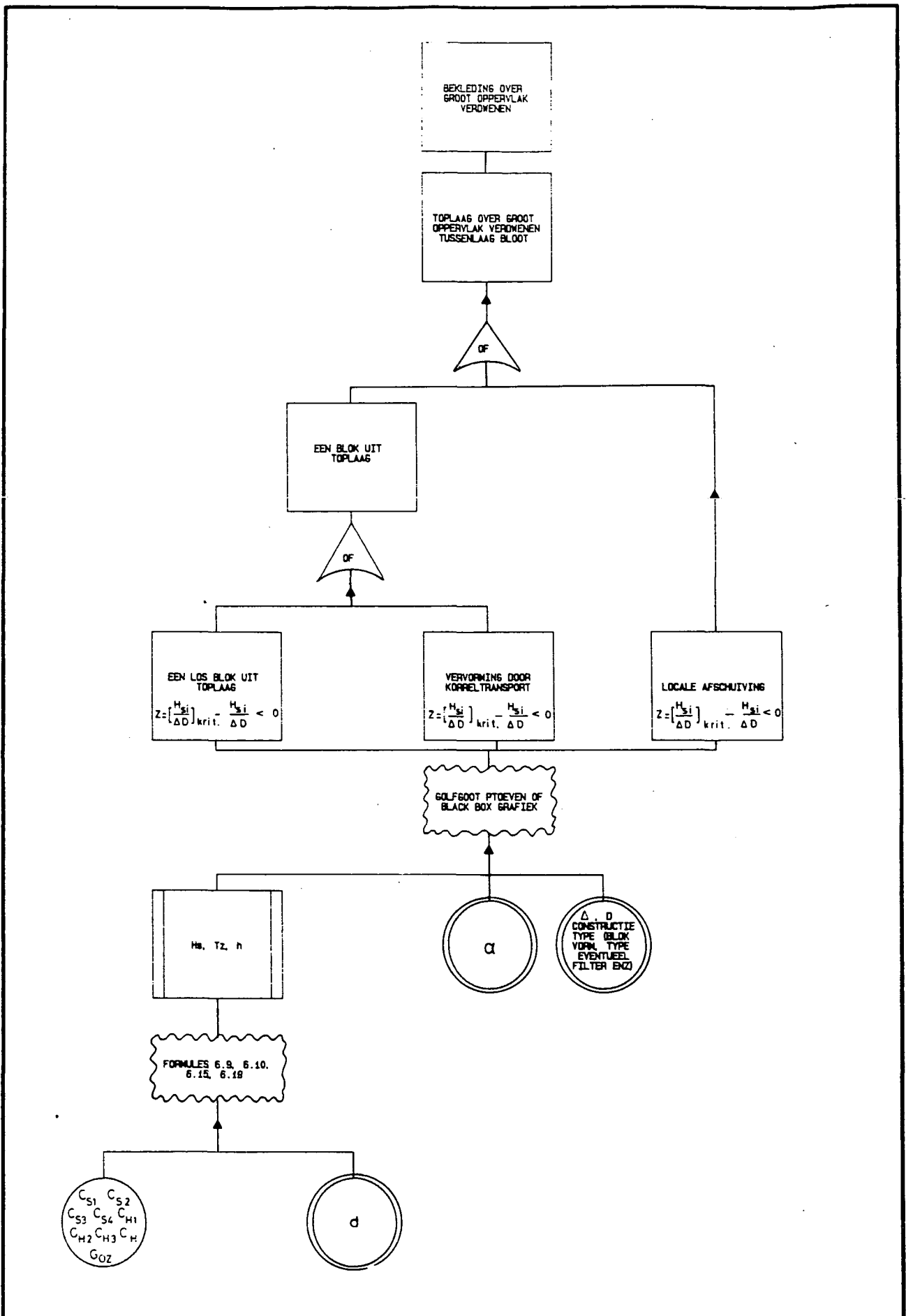
gez.



**FIG. 2.4**

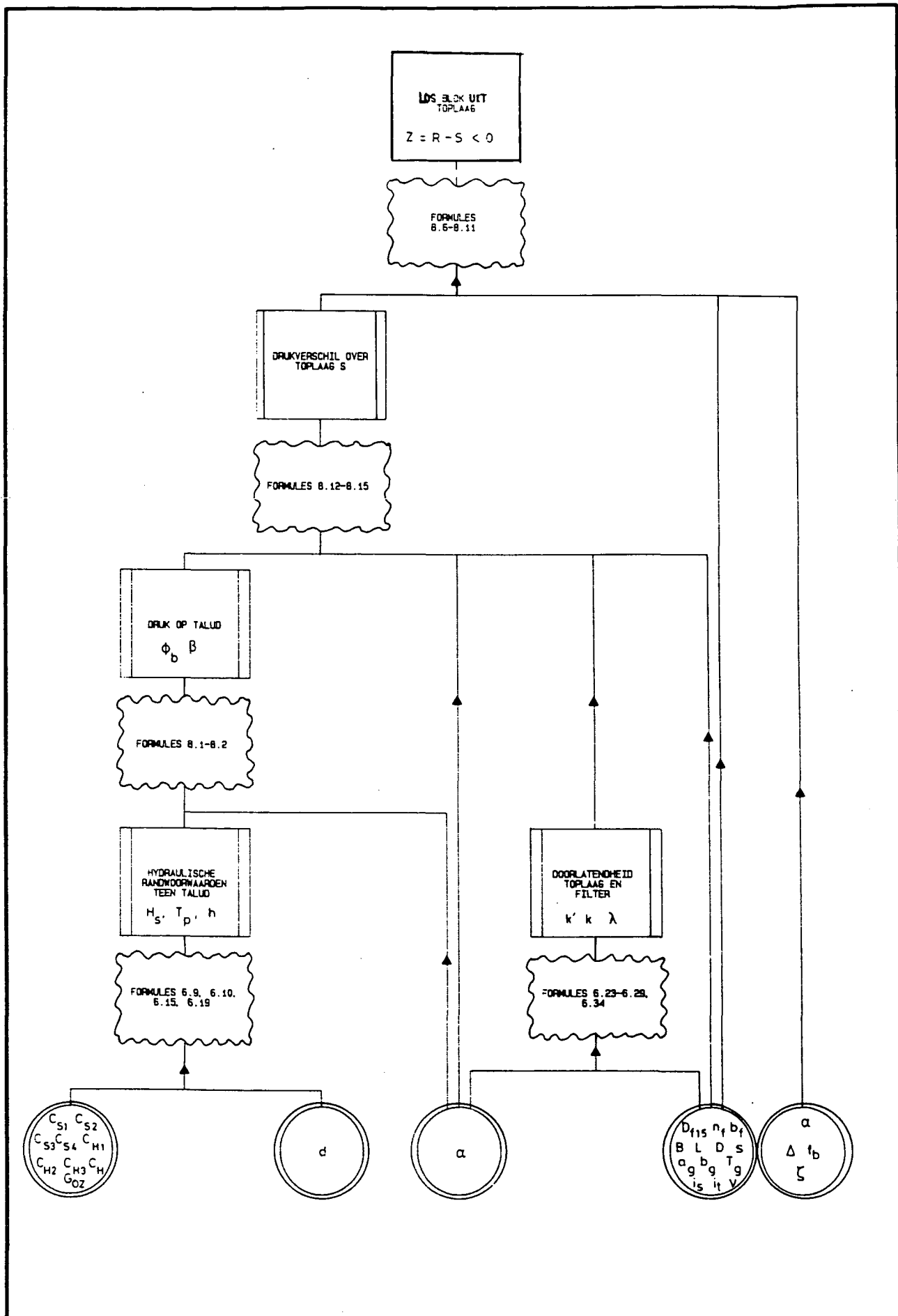
form.

**A4**





|   |  |   |                         |   |
|---|--|---|-------------------------|---|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 69, 2600 AB Delft<br>Telefoon (015) 69 35 00 | Telefax (015) 61 08 21<br>Telex 38234 soil nl | d.d.<br><b>88-06-22</b> | get.<br> |
| <b>OPERATIONELE FOUTENBOOM VOOR BEOORDELINGSMODEL<br/>PROEVEN OF BLACK BOX</b>                                      |  |   | <b>CO- 291810</b>       | gez.  |
|   |  |   | <b>FIG. 25</b>          | form.<br><b>A4</b>  |



GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21  
Telex 38234 soil nl

d.d.

88-06-22

gaf.



gez.

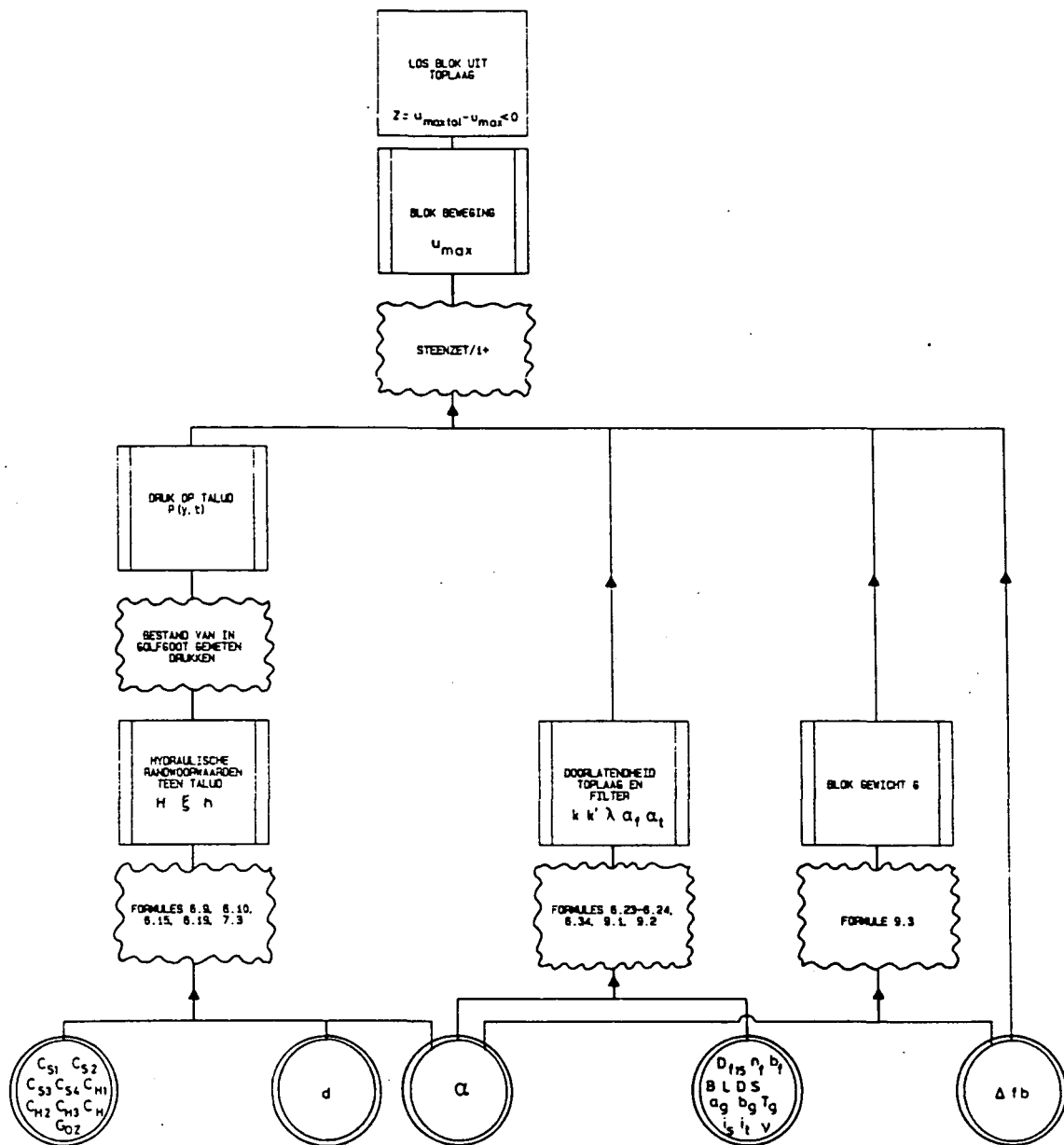
OPERATIONELE FOUTENBOOM VOOR LOS BLOK UIT TOPLAAG MET  
ANALYTISSCH MODEL

CO- 291810

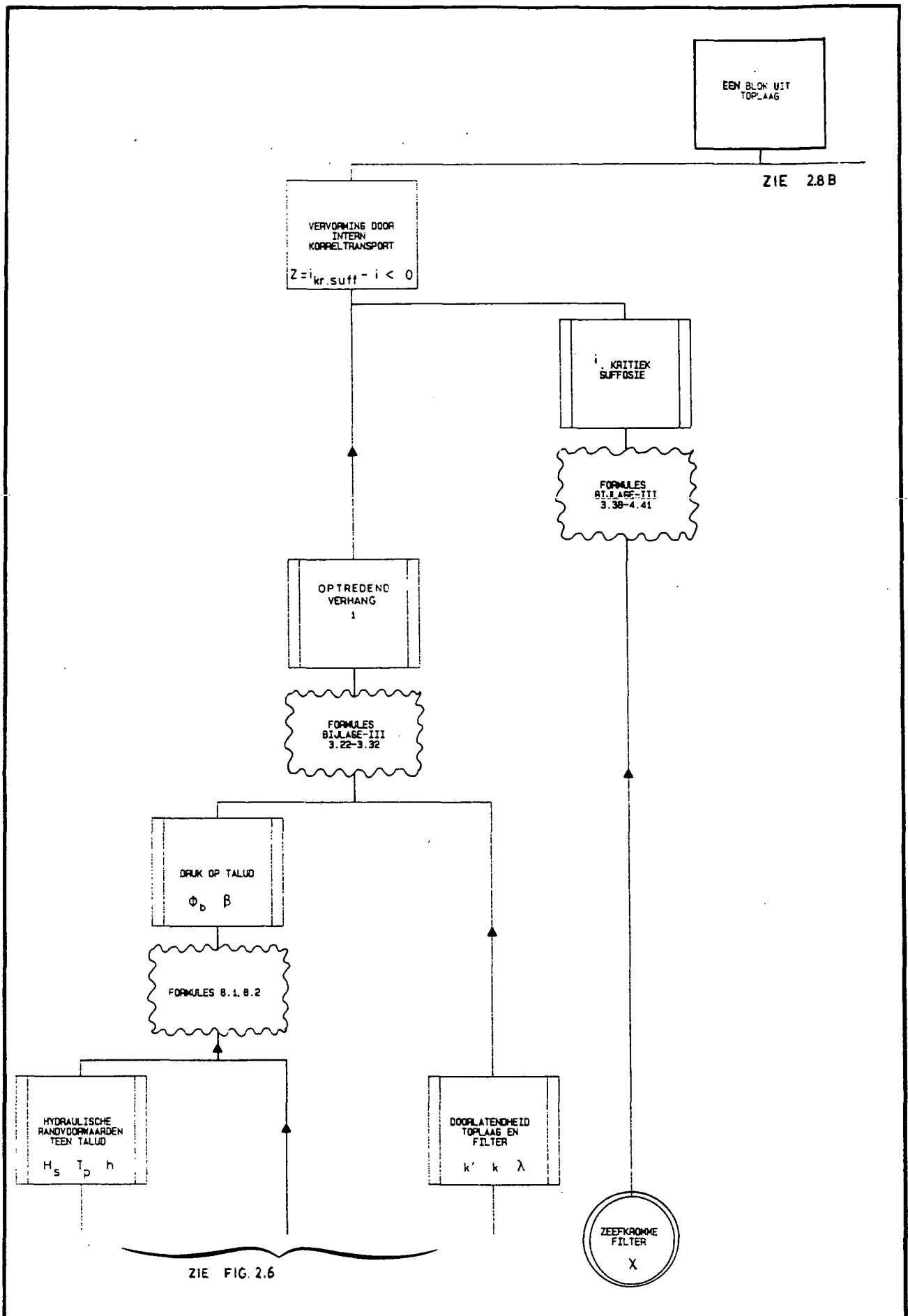
FIG 2.6



form.

A4



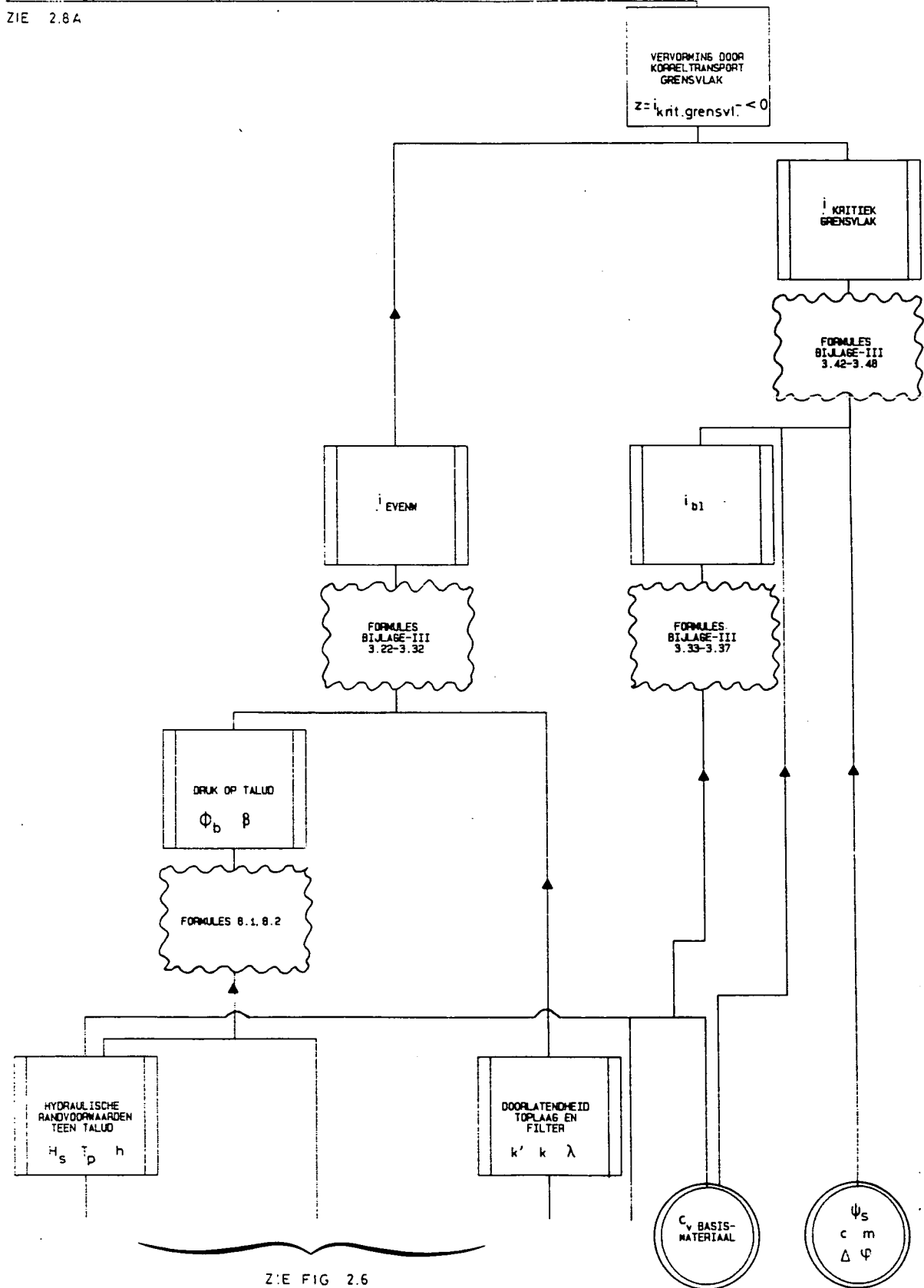
|  |  |   |                         |                    |
|--|--|---|-------------------------|--------------------|
|  | Postbus 69, 2600 AB Delft<br>Telefoon (015) 69 35 00                     | Telefax (015) 61 08 21<br>Telex 38234 soil nl | d.d.<br><b>88-06-22</b> | gez.<br>           |
|  | <b>OPERATIONELE FOUTENBOOM VOOR LOS BLOK UIT TOPLAAG MET STEENZET/1+</b> |   |                         | CO- 291810         |
|  |  |   | FIG. 2.7                | form.<br><b>A4</b> |



|   |  |   |                         |   |
|---|--|---|-------------------------|---|
|  <b>GRONDMECHANICA<br/>DELFT</b> | Postbus 69, 2600 AB Delft<br>Telefoon (015) 69 35 00 | Telefax (015) 61 08 21<br>Telex 38234 soil nl | d.d.<br><b>88-06-22</b> | 95<br> |
| <b>OPERATIONELE FOUTENBOOM KORRELTRANSPORT<br/>(DEEL: INTERNE SUFFOSIE) MET ANALYTISCH MODEL</b>                    |  |   | <b>CO- 291810</b>       | gez   |
|   |  |   | <b>FIG. 2.8 A</b>       | form<br><b>A4</b>   |

EEN BLOK UIT  
TOPLAAG

ZIE 2.8A



ZIE FIG 2.6

**GRONDMECHANICA  
DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21  
Telex 38234 soil nl

d.d.

88-06-22

get.

OPERATIONELE FOUTENBOOM KORRELTRANSPORT (DEEL: TRANSPORT  
AAN GRENZVLAK) MET ANALYTISCH MODEL.

CO-291810

gez.

FIG. 2.8B

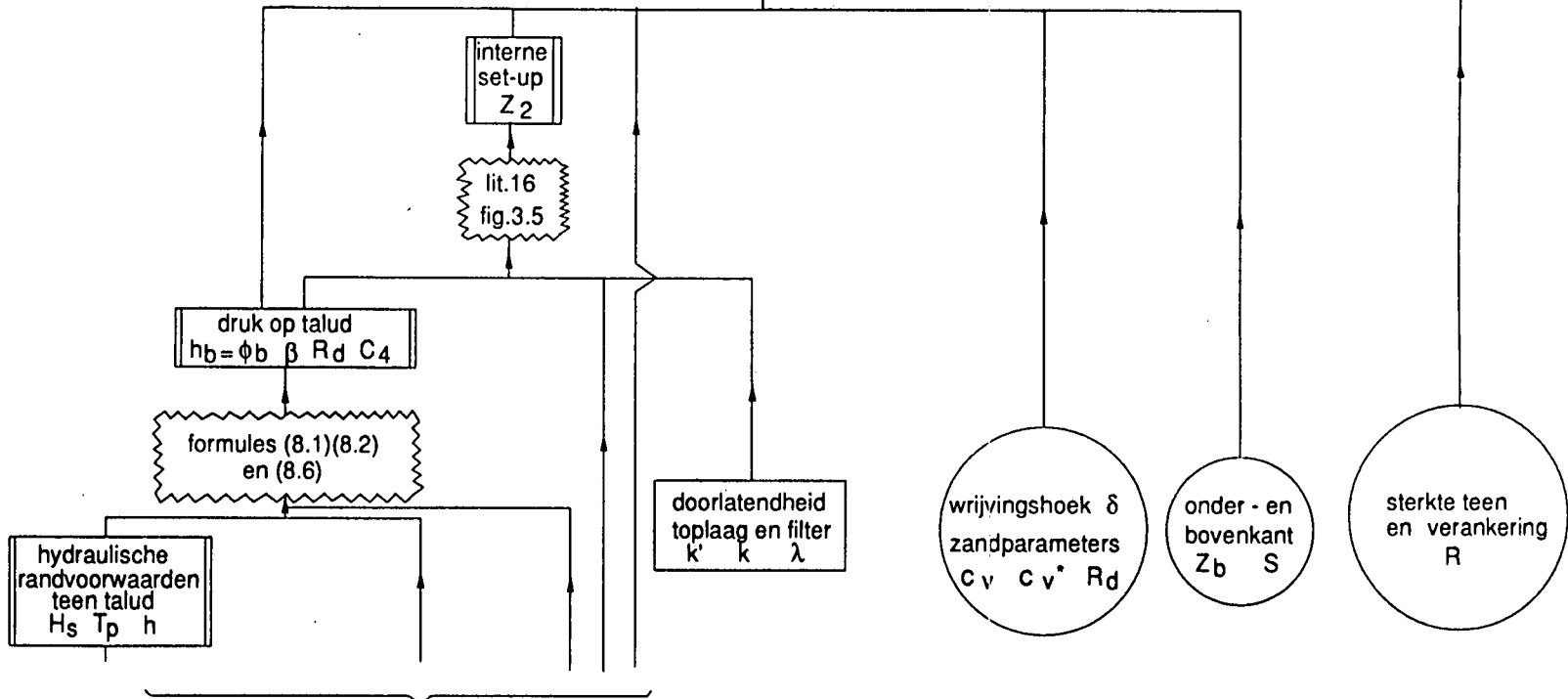
form

A4

lokale afschuiving van  
bekleding of ondergrond  
 $Z = R - F_t - F_a - cf < 0$

$S = F_t + F_a + cf$

formules XXII, band A  
sectie 1, appendix B  
sectie 1, par. 2.4.4  
en sectie 2, hfdst. 7



zie fig. 2.6



GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21  
Telefax 38224 soft nl

OPERATIONELE FOUTENBOOM LOCATIE AFSCHUIVING  
(DEEL ZONDER GOLFCLAP)

91-09-20

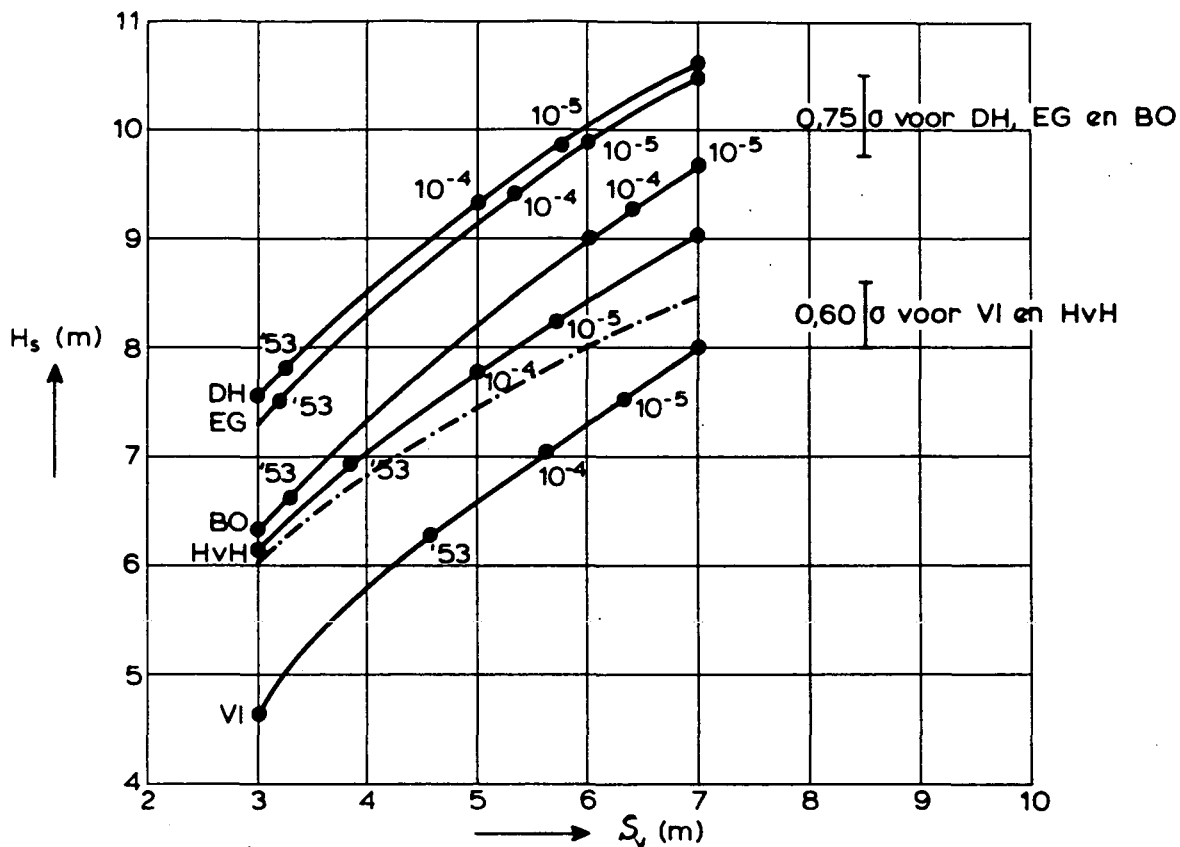
Weg

CO-291810

gez.

FIG. 2.9

A4



Het verloop van  $\bar{H}_s$  met de waterstand voor de locaties Vlissingen (VL), Hoek van Holland (HvH), Den Helder (DH), Eierlandsche Gat (EG) en Borkum (BO).

De gestreepte curve geeft het resultaat voor HvH overeenkomstig notitie WWKZ-829-259.

De fracties bij de meetpunten geven de overschrijdingsfrequenties van de bijbehorende waterstand.

|                  | Weenink<br>coëff.<br>$s^2/m$ | Astr. tij<br>" | Astr.<br>springtij<br>" | diepten<br>" | overschrijd. freq. $h=1/10^{-4}$ |           |                   |          | overschrijd. freq. $h=1/10^{-5}$ |           |                   |          |
|------------------|------------------------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------------------------|-----------|-------------------|----------|----------------------------------|-----------|-------------------|----------|
|                  |                              |                |                         |              | b                                | $H_{min}$ | $H_{top}=\bar{H}$ | $\sigma$ | b                                | $H_{min}$ | $H_{top}=\bar{H}$ | $\sigma$ |
| Vlissingen       | $4,2 \times 10^{-3}$         | 1,98           | 2,50                    | 15,20,25     | 5,60                             | 4,28      | 7,01              | 0,55     | 6,30                             | 4,73      | 7,37              | 0,60     |
| Hoek van Holland | $4,6 \times 10^{-3}$         | 1,04           | 1,40                    | 20,25,30     | 5,00                             | 4,70      | 7,74              | 0,58     | 5,70                             | 5,15      | 8,18              | 0,60     |
| Den Helder       | $5,2 \times 10^{-3}$         | 0,54           | 0,80                    | 30,35,40     | 5,00                             | 5,30      | 9,30              | 0,70     | 5,70                             | 5,76      | 9,77              | 0,71     |
| Eierlandsche Gat | $5,2 \times 10^{-3}$         | 0,76           | 1,05                    | 30,35,40     | 5,30                             | 5,34      | 9,39              | 0,74     | 6,00                             | 5,81      | 9,85              | 0,74     |
| Borkum           | $6,6 \times 10^{-3}$         | 1,24           | 1,60                    | 30,35,40     | 6,40                             | 5,06      | 9,26              | 0,73     | 7,00                             | 5,41      | 9,64              | 0,72     |

Parameters ( $\bar{H}, \sigma$ ) van de normale verdeling van  $H_s$  voor de verschillende locaties en twee overschrijdingskansen van de hoogwaterstand  $h$ .

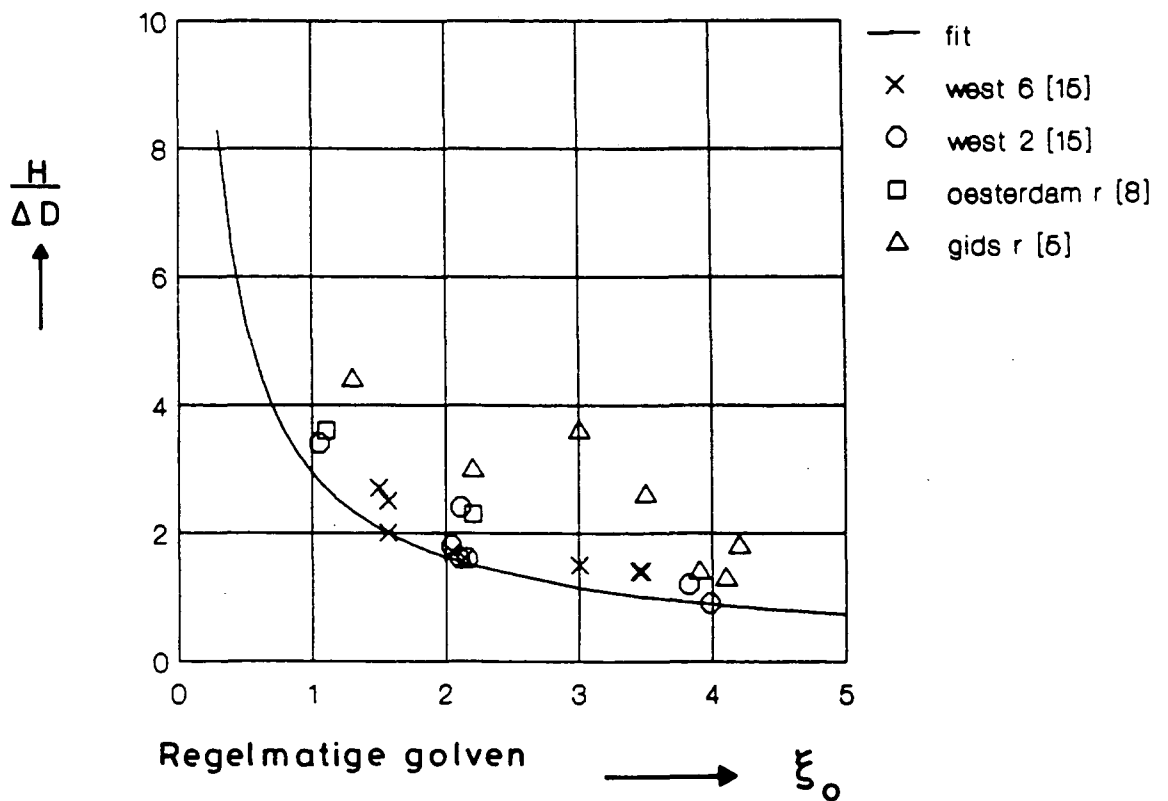
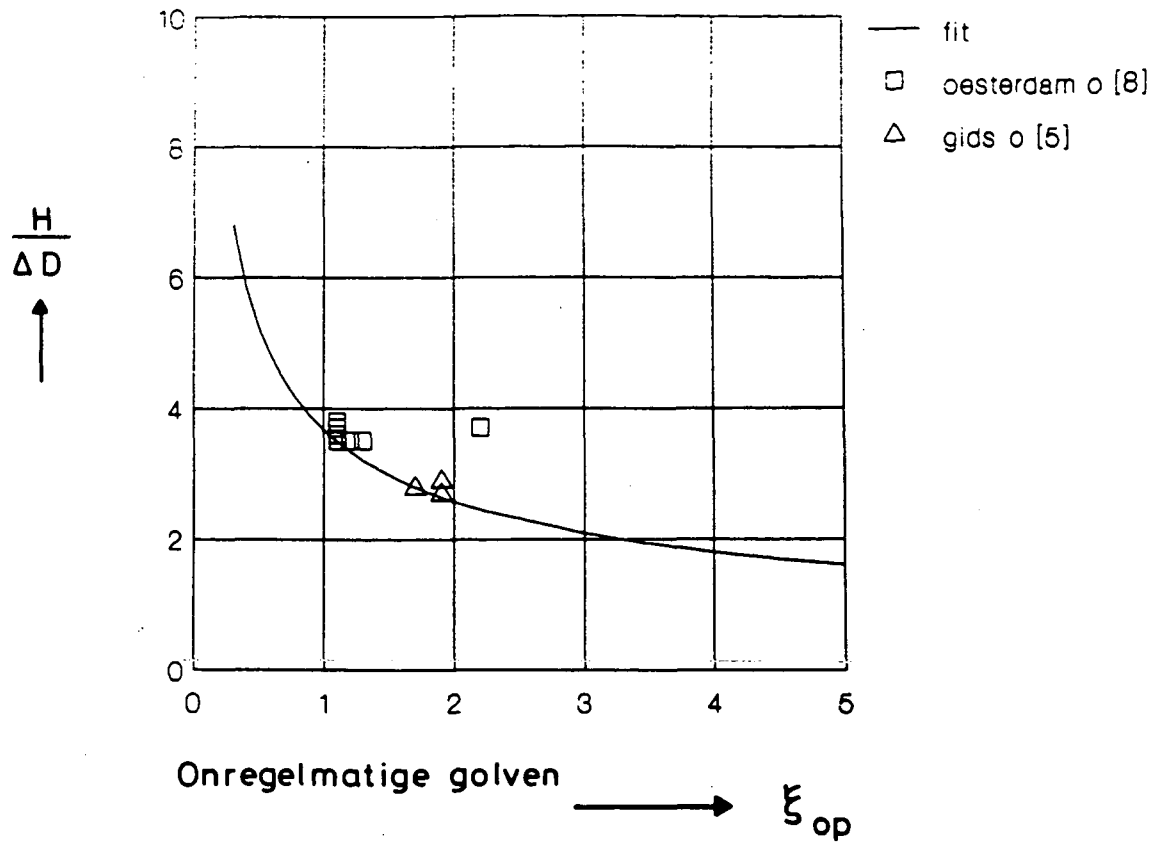
GOLFHOOGTE ALS FUNKTIE VAN  
STORMVLOEDPEIL

DIEP WATER

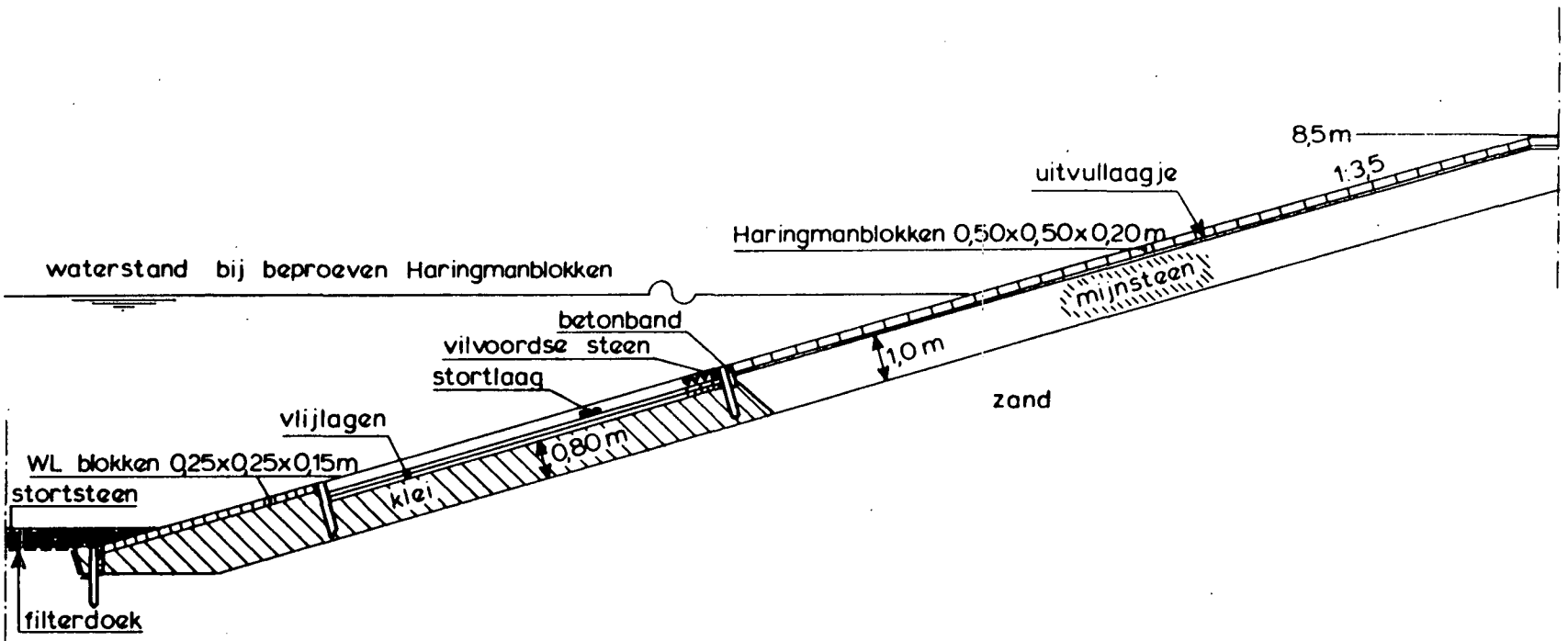
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 694

FIG. 6.1







GROUNDWATER CONSULTING  
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon: 015 66 35 00

Telefax: 015 66 1 08 21  
Tele: 06234 500 01

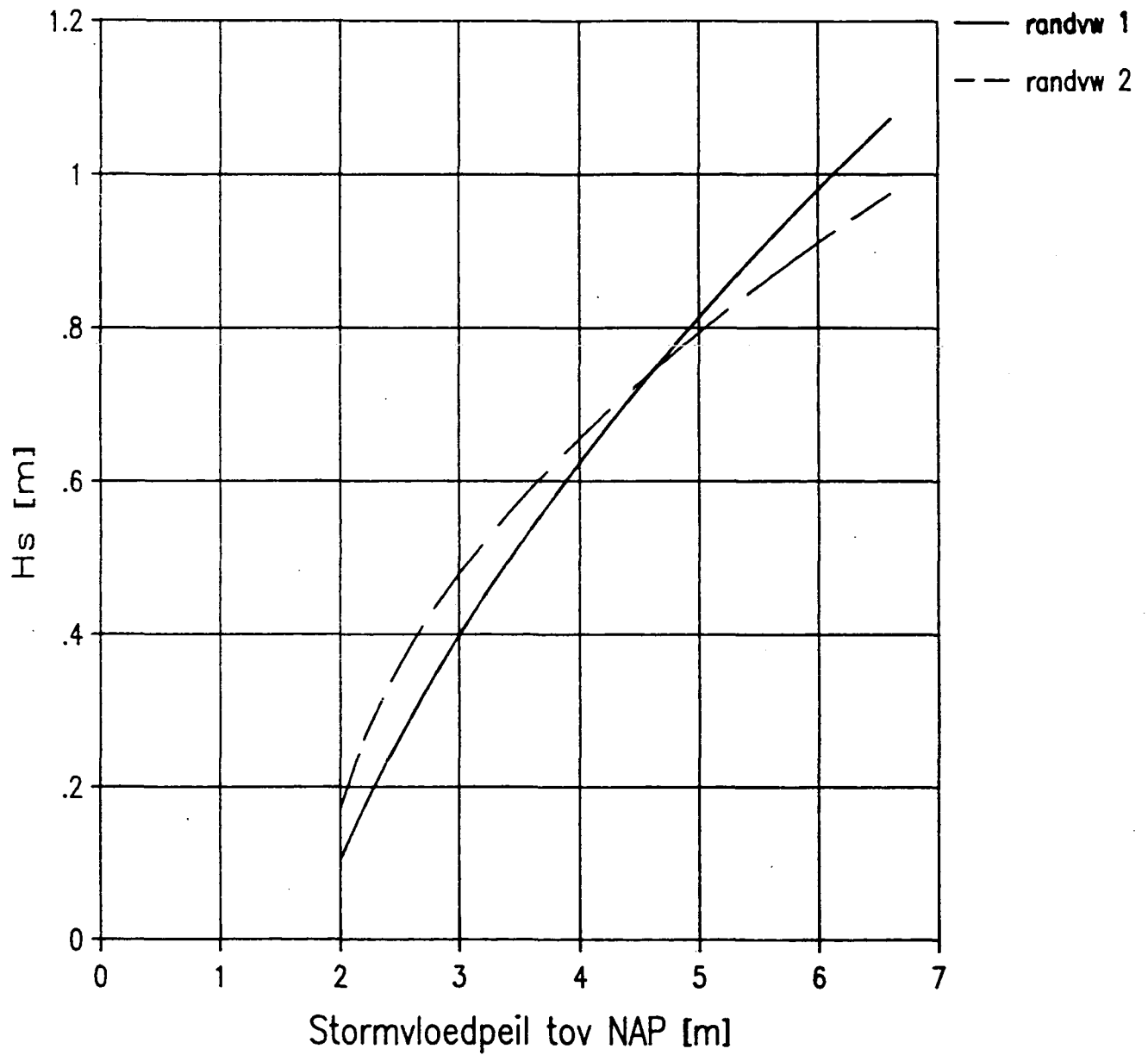
LANGSDOORSNEDE "PROVO"-CONSTRUCTIE

88-06-13

CO-291810

FIG. 7.2

A4

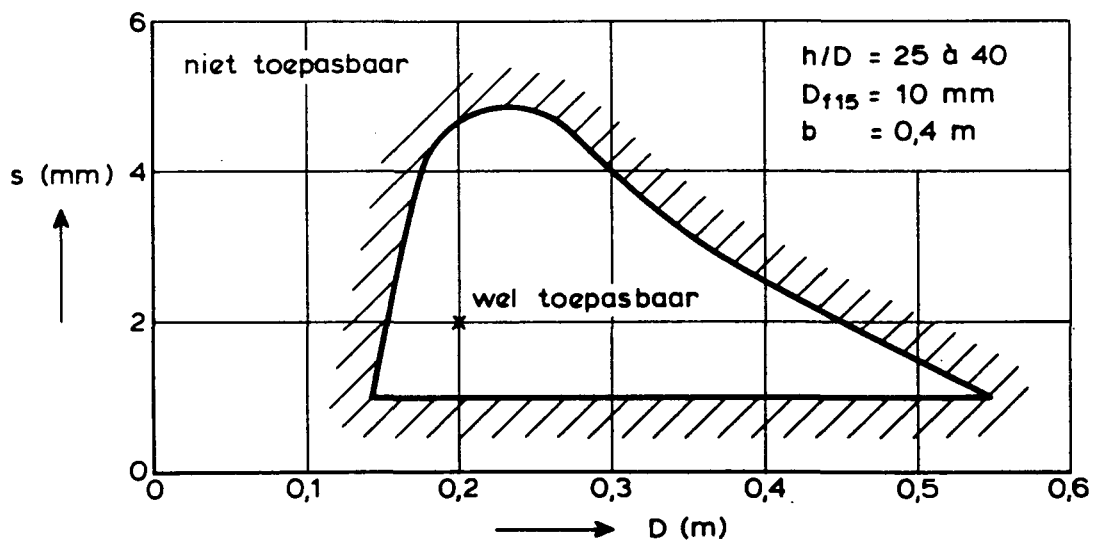
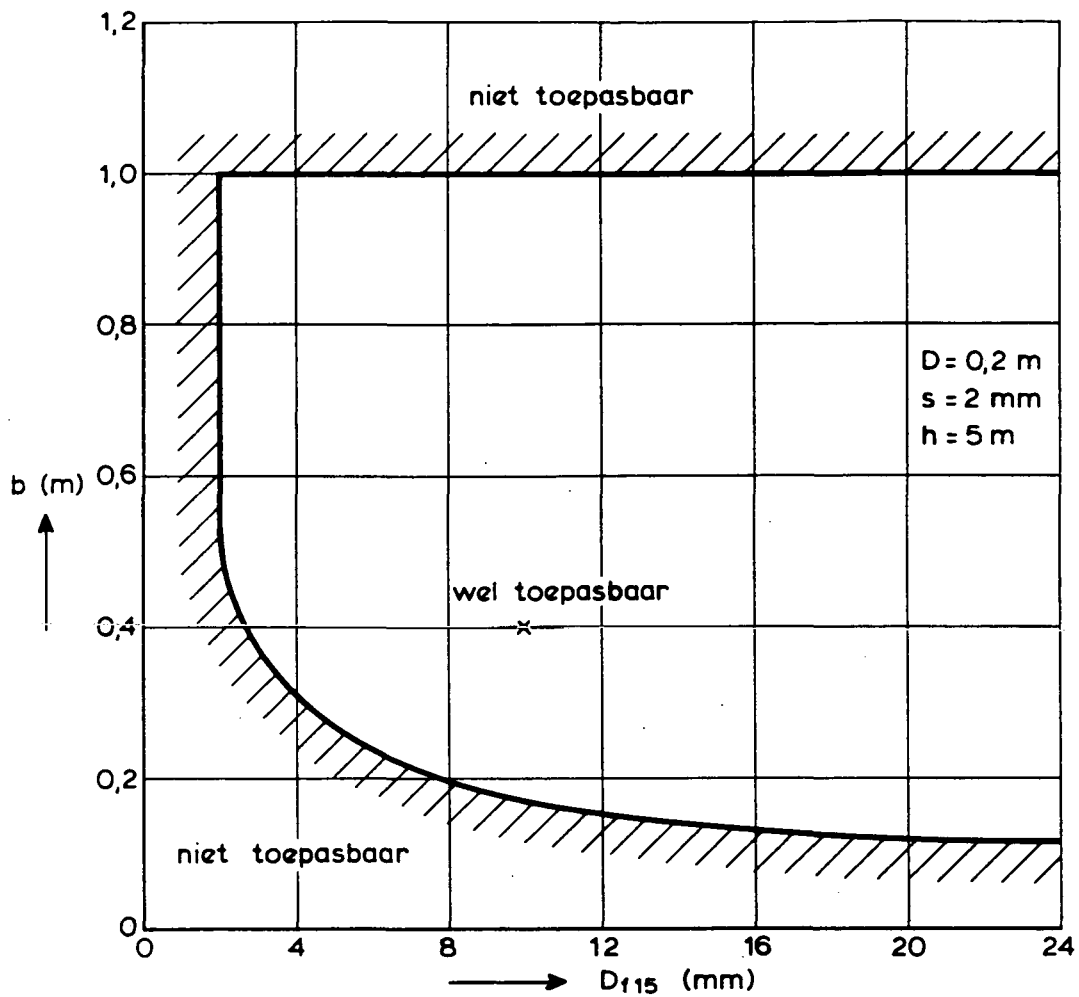


GOLFRANDVOORWAARDE, FIKTIEF VOORBEELD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 694

FIG. 7.3

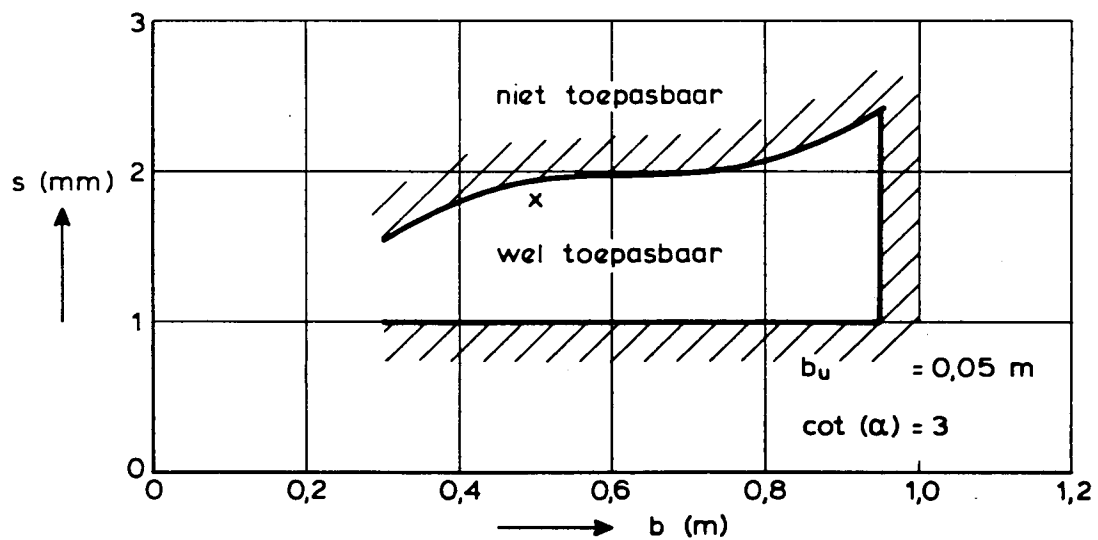
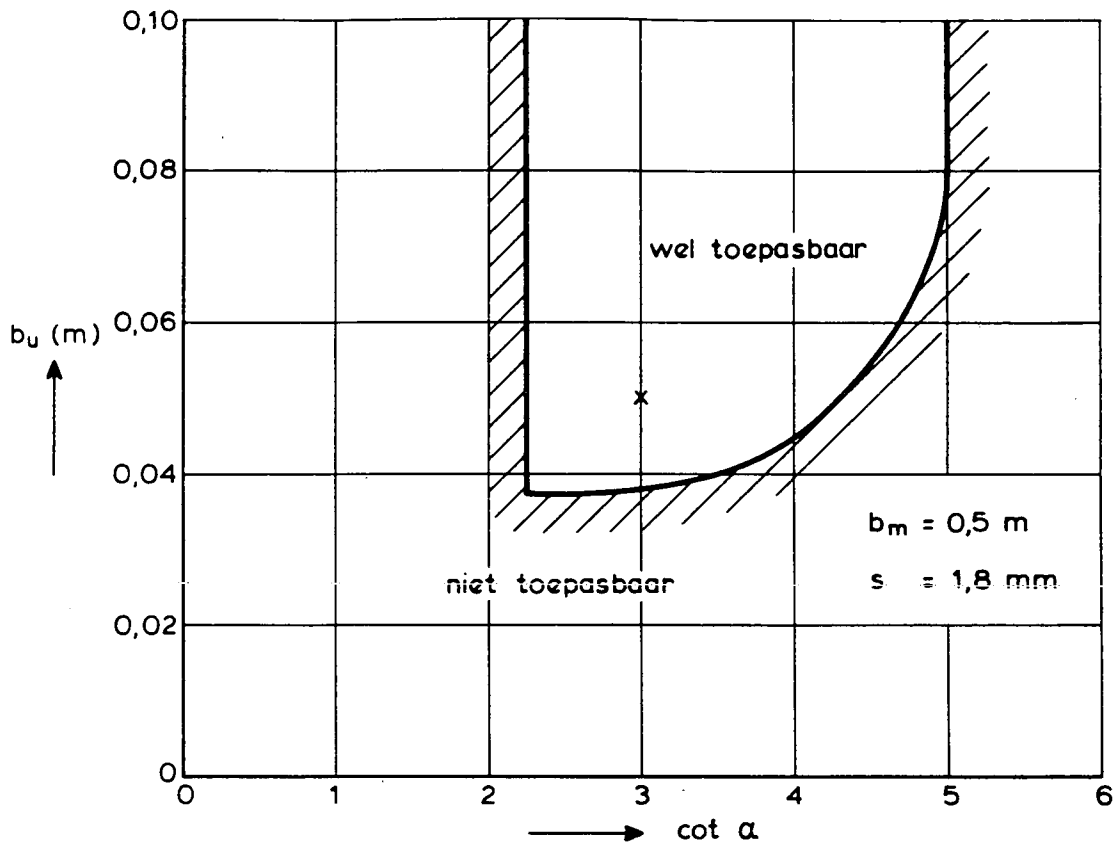


$B = L = 0,3$  m  
 $\tan \alpha = 0,33$   
 $\Delta = 1,3$

$f_b = 0,55$   
 $\zeta = 0,7$   
 $n = 0,4$

$\epsilon = 0,1$   
 $H/L_{oz} = 0,03$   
 $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

TOEPASSINGSGEBIED (KLEINE BLOKKEN  
 OP ÉÉN FILTERLAAG)



|                         |                            |                    |  |
|-------------------------|----------------------------|--------------------|--|
| $D = 0,25$              | $\zeta = 0,7$              | $n = 0,25$         | $v = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ |
| $B = L = 0,5 \text{ m}$ | $D_{f15u} = 20 \text{ mm}$ | $\epsilon = 0,05$  |  |
| $\Delta = 1,3$          | $n_u = 0,4$                | $h = 10 \text{ m}$ |  |
| $f_b = 0,55$            | $D_{f15m} = 3 \text{ mm}$  | $H/L_{oz} = 0,03$  |  |

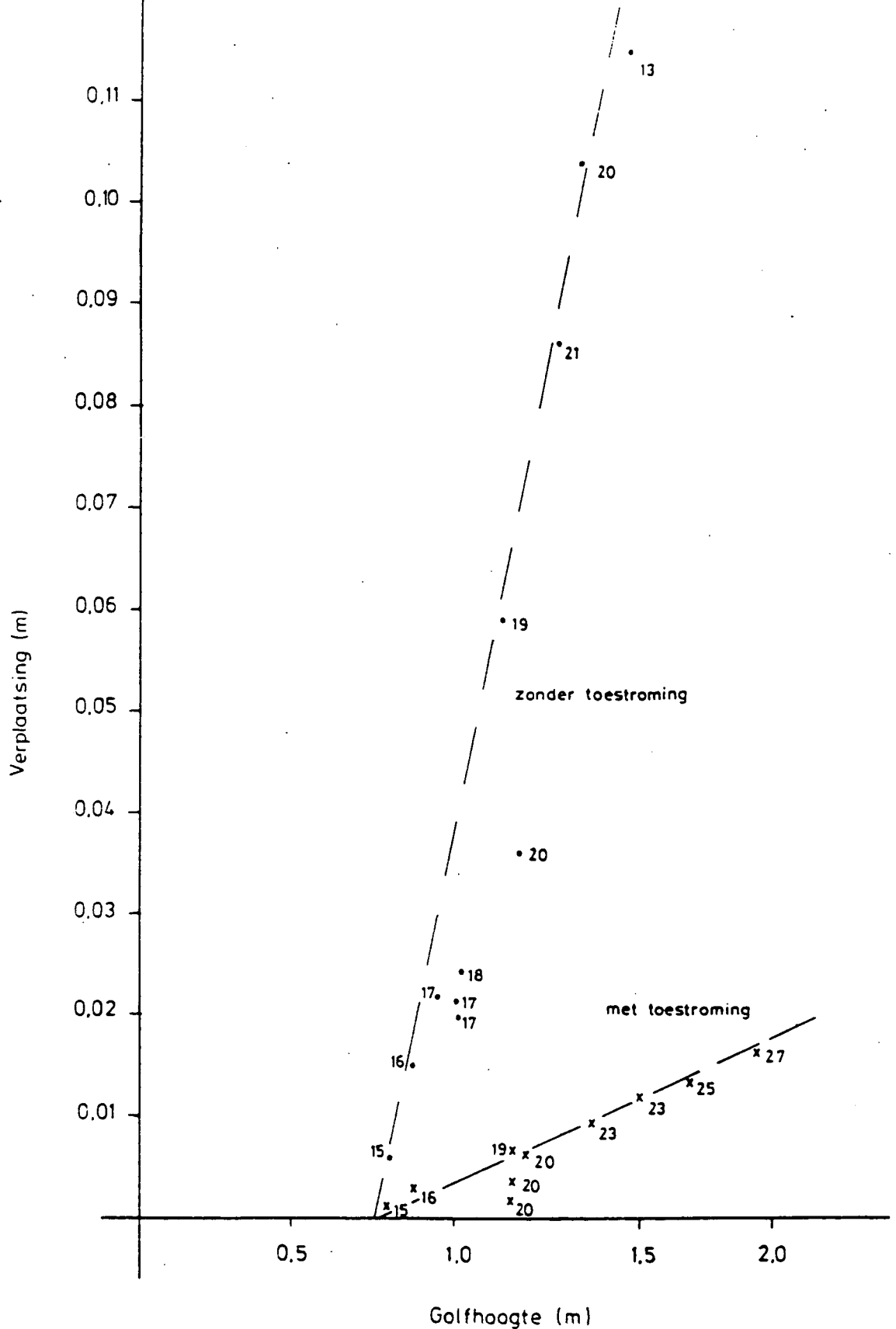
TOEPASSINGSGBIED (GROTE BLOKKEN  
OP UITVULLAAG EN MIJNSTEEN)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 694

FIG. 8.2

Berekening voor afrondend Deltagoot onderzoek [11]



**GRONDMECHANICA DELFT**

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telifax (015) 61 08 21  
Telex 38234 soil nl

d.d. 88-06-13

get. *A.*

BEREKENING BLOKBEWEGING MET STEENZET/1.  
REGELM. GOLVEN  $\xi=1,8$   $\Delta D=0,15m$   $\lambda=0,22m$  DE  
GETALLEN GEVEN DE RIJ BLOKKEN AAN DIE BEWEEGT

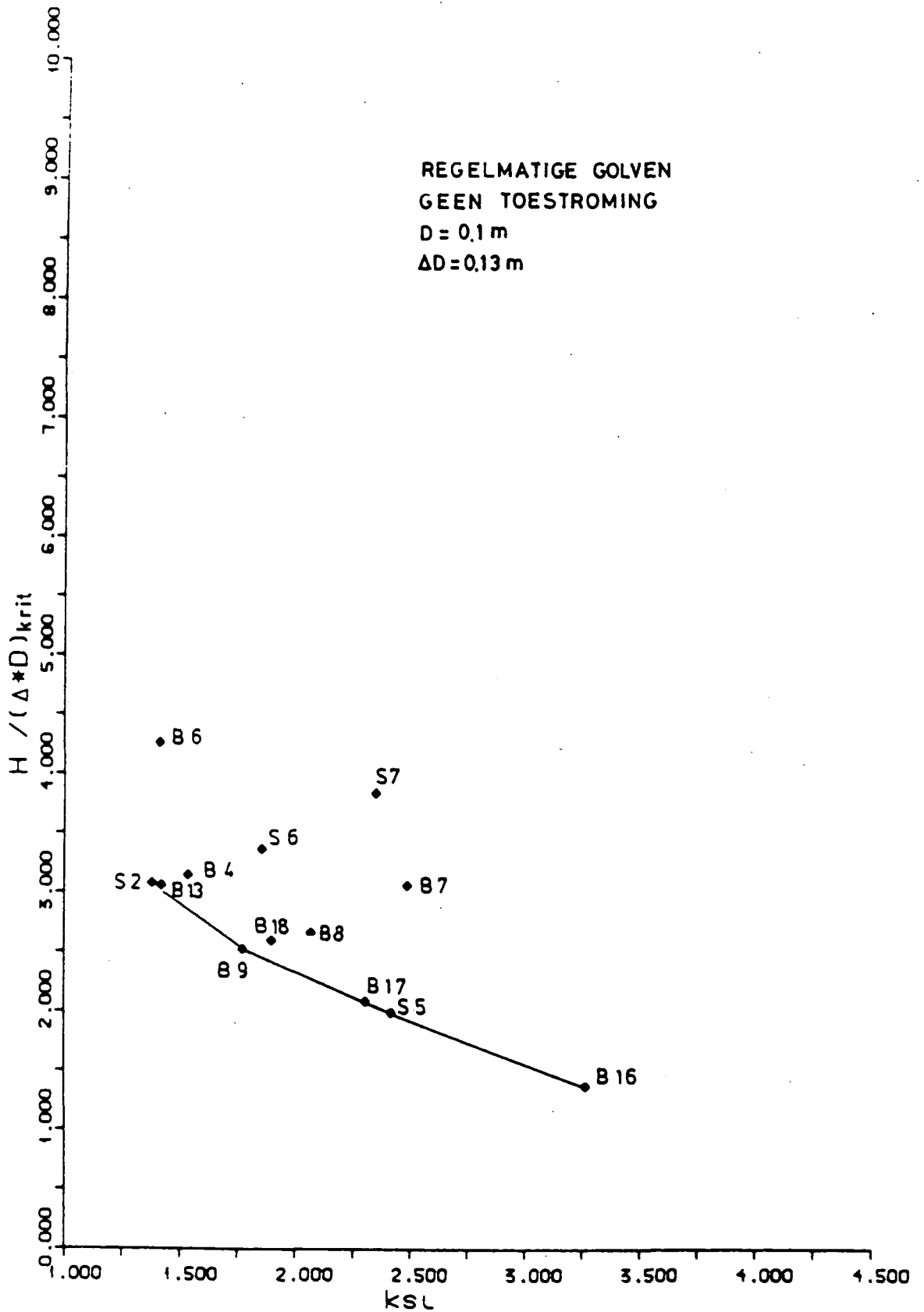
CO- 291810

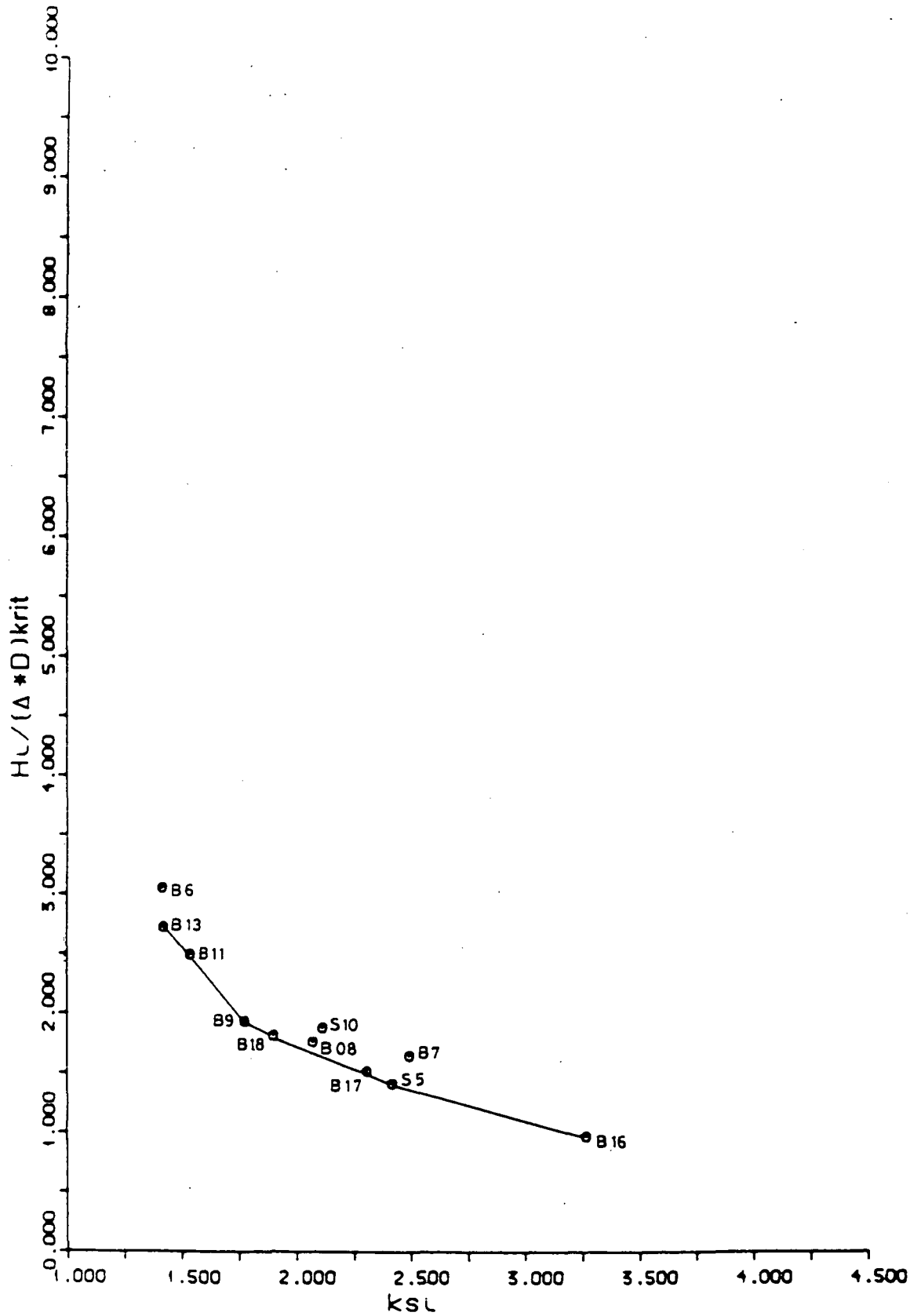
gez.

FIG. 9.1

form.

**A4**





 GRONDMECHANICA  
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 61 08 21  
Telex 38234 soil nl

d.d.

88-06 - 14

gez



VERBAND TUSSEN  $(\frac{H}{\Delta D})_{krit}$  EN  $\xi$  VOLGENS  
STEENZET/1. BIJ  $\lambda = 0.32m$

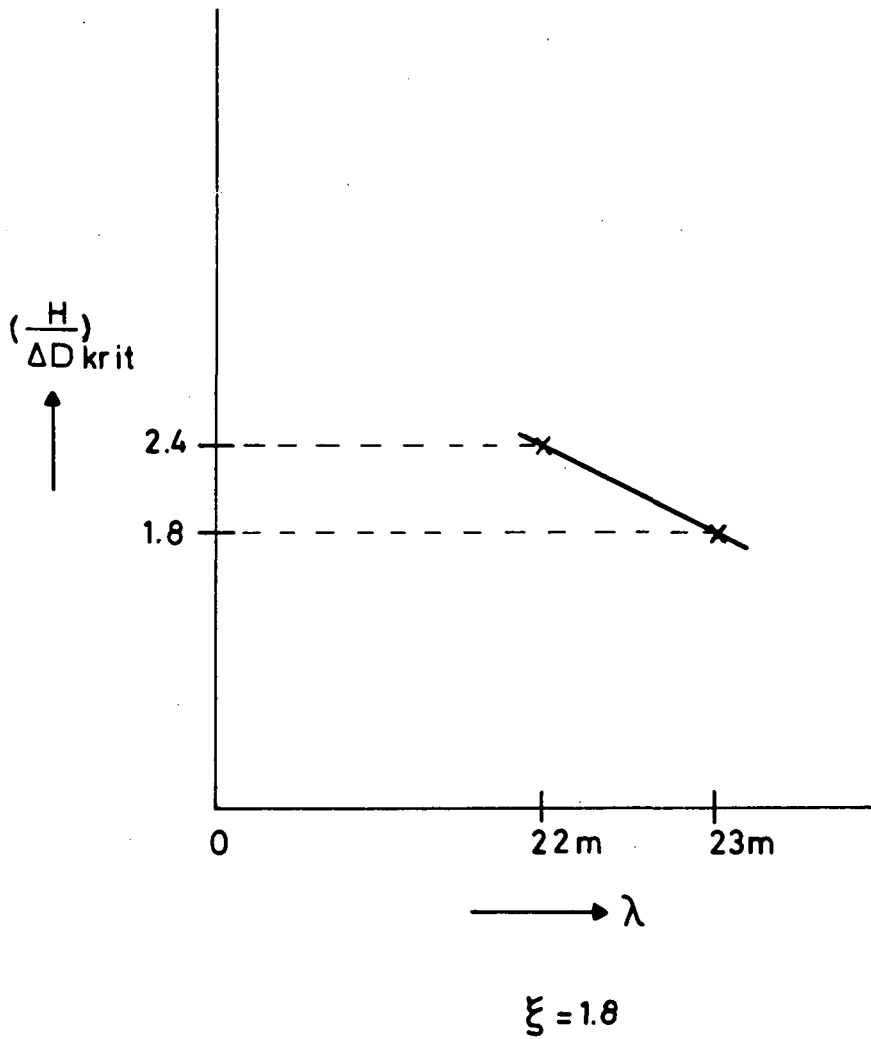
CO- 291810

gez

FIG 9.3

form

A4





Bijlage I

BLACK-BOX MODEL VOOR STABILITEIT VAN STEENZETTING

mei 1988

Inleiding

Reeds in 1984 is bij de evaluatiestudie van het Oesterdamonderzoek [1] een model opgezet waarmee op basis van de resultaten van modelonderzoek de stabiliteit van een taludbekleding van gezette steen kan worden bepaald. Zo'n model is een black-box model. Het is zo genoemd omdat het slechts de relatie legt tussen de geometrie en de kritieke golfrandvoorwaarden, zonder dat er gebruik gemaakt wordt van de inzichten in de maatgevende fysische processen. Recent is gebleken dat het model voor niet ingewijden te ontoegankelijk is en leidt tot belangrijke vergissingen. Tevens zijn er sinds 1984 nog enkele grootschalige modelonderzoeken uitgevoerd, die het opnemen in het model waard zijn. Tegen deze achtergrond is er besloten tot het opstellen van deze notitie, die geschreven is door ir. M. Klein Breteler van het Waterloopkundig Laboratorium in het kader van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen. °)

Kanttekeningen bij het gebruik van het model

Voor zettingen bestaande uit losse elementen (geen interlocksysteem, koppeling door kabels of geotextiel) geldt dat het stukje talud, dat gebouwd is in de modelfaciliteit, een aspect van toeval bevat. De afzonderlijke elementen ondervinden een zwaartekrachtskomponent langs het talud van (vele) elementen in rijen boven het beschouwde element. Hier en daar mag echter verwacht worden dat er elementen zijn waarvoor dit niet geldt, bijvoorbeeld omdat de elementen erboven een boog vormen, of bij een overgangskonstruktie. Als zo'n "los" element toevallig niet in het modeltalud voorkomt, wordt met het modelonderzoek een hogere sterkte gesuggereerd dan aanwezig is op een dijk, waar als gevolg van het grote aantal elementen bijna zeker ook losse elementen voorkomen.

Door dit aspect van toeval wordt met modelonderzoek een bovengrens van de sterkte bepaald. Andere technieken voor de bepaling van de sterkte, namelijk het analytische [3] en het numerieke rekenmodel [4], gaan uit van de losse elementen en bepalen derhalve een ondergrens voor de sterkte.

°) In [18] is op deze notitie voortgebouwd en zijn ook gegevens verwerkt van onderzoek verricht in 1988, 1989 en 1990.

De gebruiker van het black-box model start in figuur BI-1, waar een onderverdeling naar konstruktie-type is gemaakt. Hierbij houdt men in gedachten dat granulair materiaal zand wordt genoemd als de karakteristieke korrelgrootte  $D_{15}$  kleiner is dan orde 0,5 mm. Tot  $D_{15} = 5 \text{ à } 10 \text{ mm}$  wordt het een fijn filter genoemd. Is de filterlaag erg dun (tot orde 10 cm) dan kan ook een filter met  $D_{15} < 15 \text{ mm}$  nog als een fijn filter opgevat worden.

Dichte blokken met daartussen spleten tot een percentage open oppervlak ( $0$ ) van orde 3% en blokken met grote gaten met  $0 < 5\%$ , vallen onder de dichte toplagen. Zijn er vele kleine gaten in het blok aanwezig, dan is de toplaag al open te noemen als  $0 > 3\%$ . Het is namelijk gebleken dat een gespreide doorlatendheid veel effectiever is [3].

Als het konstruktie-type is vastgesteld, wordt in figuur BI-1 verwezen naar een van de figuren met meetpunten. De punten vertegenwoordigen metingen waarbij begin van schade is gekonstateerd. De schade varieerde tussen 'een element beweegt', 'een element uit het talud' tot 'totaal bezwijken door vorming van S-profiel'.

In het model zijn uitsluitend de onderzoeksresultaten opgenomen die zijn verkregen met grootschalig modelonderzoek. De reden hiervoor is dat kleinschalig modelonderzoek meestal schaaleardeffekten bevat die slechts moeizaam zijn te corrigeren. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het feit dat de schaalwetten voor het reproduceren van golven en voor grondwaterstroming strijdig zijn (zie ook [2]). Als criterium is gehanteerd dat de schaalfactor niet groter dan 3 mag zijn.

LIJST VAN SYMBOLEN

- D = dikte toplaag
- D<sub>15</sub> = korrelgrootte van filter die door 15 gewichtsprocenten worden onderschreden (m)
- H<sub>i</sub>, H = hoogte van inkomende golven (regelmatig) (m)
- H<sub>s</sub> = significante golfhoogte van inkomende golven (onregelmatig) (m)
- T = golfperiode (s)
- T<sub>p</sub> = golfperiode bij piek van spektrum (s)
- O = percentage van oppervlak van zetting dat open is (%)
- 
- α = taludhelling (°)
- Δ = ρ<sub>s</sub>/ρ-1 = relatieve soortelijke massa van zetting (-)
- ρ<sub>s</sub> = soortelijke massa van zettingmateriaal beton (kg/m<sup>3</sup>)
- ρ = soortelijke massa van water (kg/m<sup>3</sup>)
- ξ<sub>op</sub> =  $\frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{1.56T_p^2}}}$  = brekerparameter (-)

REFERENTIES

1. A. M. Burger  
Taludbekleding van gezette steen, fase 2  
Evaluatie Oesterdamonderzoek-hydraulische aspecten.  
WL/LGM; verslag burostudie, M1795/M1881 deel VIII, C0258901, maart 1984
2. M. Klein Breteler  
Taludbekleding van gezette steen  
Te stellen eisen aan een schaalmodel van een steenzetting  
Waterloopkundig Laboratorium, notitie N 168, M1881/H195.04, sept. '86
3. M. Klein Breteler  
Taludbekleding van gezette steen  
Stabiliteit van toplaag zonder inklemming of interlocking  
Waterloopkundig Laboratorium, conceptverslag H 195.04, juni '87
4. A. Bezuijen  
Beweging van blokken  
Laboratorium voor Grondmechanica, concept verslag N 126, M1881-4, C0280050,  
april '86
5. A.M. Burger  
Taludbekleding van gezette steen, fase 2  
Grootschalig gidsonderzoek  
WL/LGM, verslag modelonderzoek M1795/M1881 deel IX, dec. 1983
6. J. Lindenberg  
Stabiliteit van Armorflex-steenzetting onder golfaanval  
WL/LGM, verslag modelonderzoek M1910, jan. 1983
7. J.v.d. Weide en P. Visser  
Basalton, stabiliteit onder golfaanval  
WL/LGM, verslag modelonderzoek M1900, febr. 19
8. Waterloopkundig Laboratorium, Laboratorium voor Grondmechanica  
Grootschalig onderzoek t.b.v. de Oesterdam  
Verslag modelonderzoek, M1795 deel VI, juli 1982

REFERENTIES (vervolg)

9. K. den Boer  
Taludbekleding van gezette steen, fase 0  
Hydraulische aspecten  
WL/LGM, verslag literatuurstudie, M1795 deel II, juli '82
10. A.M. Burger  
Sterkte Oosterscheldedijken onder gekoncentreerde golfaanval  
Waterloopkundig Laboratorium, verslag grootschalig modelonderzoek, M2036,  
maart 1985
11. J.W. van der Meer en A. Bezuijen  
Taludbekleding van gezette steen, fase 4  
Grootschalig modelonderzoek in de Deltagoot van een steenzetting op zand  
WL/LGM, verslag modelonderzoek, M1795/M1881 deel XII, C0269960/2, dec. 1983
12. J. Lindenberg  
Verwerking van zand onder een steenzetting  
Grondmechanica Delft, verslag C0416751/16, sept. '86
13. Large scale model study of Armorflex slope protection  
Tekmarine inc., Sierra Madre, California, may '84
14. Large scale modelling of Armorflex slope protection system  
Tekmarine inc., Sierra Madre, California, oct. '83
15. Taludbekleding van gezette steen  
Eindverifikatie in Deltagoot  
Waterloopkundig Laboratorium, H195.25, ± juni '88

| Referentie | Trefwoord    | Proef   | Talud           | Leklengte                      | Dikte toplaag                                | regelm. golven? | $\epsilon_{op}$                                      | $H_s/(\Delta D)$                                     | Fig. nr. |
|------------|--------------|---|-----------------|--------------------------------|--|-----------------|--|--|----------|
|            |              |   | cot( $\alpha$ ) | [cm]                           | D [cm]                                       | (r/o)           |  |  |          |
| 9          | interlocking | type A dicht<br>type A open<br>type B                         | 2               | 30 à 50<br>20 à 30<br>60 à 100 | 14,3<br>14,3<br>15,2<br>15,2                 | r               | 2,1<br>1,7<br>3,4<br>2,5                             | 4,4<br>10,2<br>6,2<br>7,4                            | 2        |
| 13         | Armorflex    | 1" uplift   | 3               | 50 à 70                        | 10   | r               | 2,9<br>2,3<br>2,5<br>2,5<br>2,3                      | 5,0<br>6,2<br>6,7<br>6,7<br>6,1                      | 2        |
| 5          | gids         | ingewassen<br>open toplaag<br>niet ingewassen<br>open toplaag | 3               | 15 à 25<br>7 à 12              | 15   | r               | 2,4<br>2,9   | 5,7<br>2,1   | 3        |
| 8          | Oesterdam    | met gat   | 4               | 10 à 15                        | 10   | o               | 1,2<br>1,1<br>1,1                                    | 3,6<br>3,3<br>3,2                                    | 3        |
| 7          | Basalton     | niet ingewassen   | 3               | 9 à 13                         | 18   | o               | 1,4  | 4,9  | 3        |
| 6          | Armorflex    | niet ingewassen   | 3               | 7 à 10                         | 11,5   | r               | 1,2<br>2,1<br>1,6                                    | 6,3<br>8,9<br>6,5                                    | 3        |
|            |              |   | 3               | 7 à 10                         | o  | 1,6             | 5,7  |  |          |
| 9          | Gobi         | schuine zijde   | 3½              | 2 à 4                          | 10   | r               | 2,9  | 3,8  | 4        |
|            |              | rechte zijde  | 3½              | 2 à 4                          |  | r               | 2,6<br>2,6<br>3,1<br>2,1<br>2,1<br>1,4<br>1,2        | 4,7<br>4,7<br>7,5<br>4,0<br>4,0<br>3,8<br>5,2        |          |
|            |              | ingewassen  | 3½              | 5 à 20                         |  | r               |  |  |          |
| 10         | Provo        | Vilvoorts   | 3½              | 4 à 8                          | 22   | o               | 1,4<br>1,4<br>2,1<br>1,3                             | 2,2<br>2,9<br>2,2<br>2,2                             | 4        |
|            |              | Basalt  | 3½              | 5 à 10                         | 25 à 35                                      | o               | 1,5<br>1,6   | 2,9<br>3,1   |          |
| 5          | gids         | dichte toplaag  | 3               | 40 à 60                        | 15   | r               | 1,3<br>2,2<br>3,9<br>4,1<br>4,2<br>3,5<br>3,0        | 4,4<br>3,0<br>1,4<br>1,3<br>1,8<br>2,6<br>3,6        | 5        |
|            |              |   |                 |                                |  | o               | 1,9<br>1,7<br>1,9                                    | 2,7<br>2,8<br>2,9                                    |          |
| 8          | Oesterdam    | dichte toplaag  | 4               | 25 à 30                        | 10   | o               | 1,1  | 3,8  | 5        |
|            |              |   |                 |                                | 15<br>15<br>10<br>10<br>15<br>10<br>10<br>10 |                 | 1,1<br>1,1<br>1,2<br>1,3<br>1,1<br>2,2<br>2,2<br>1,1 | 3,7<br>3,6<br>3,5<br>3,5<br>3,5<br>3,7<br>2,3<br>3,6 |          |
| 10         | Provo        | Haringman   | 3½              | 15 à 25                        | 20   | o               | 1,5  | 5,5  | 6        |
| 11         | Blokken      | op zand   | 3               | -                              | 10,5   | r               | 2,1<br>3,3<br>2,7                                    | 4,2<br>2,7<br>5,6                                    | 7        |
| 12         | Basalton     | op zand   | 3               | -                              | 20   | o               | 2,5<br>1,5   | 1,9<br>4,8   | 7        |
|            |              |   |                 |                                |  | r               | 1,4<br>1,9   | 3,3<br>5,3   |          |
| 8          | Oesterdam    | op klei   | 4               | -                              | 10   | r               | 1,4  | 6,9  | 7        |
|            |              |   |                 |                                |  | o               | 1,0  | 5,7  |          |
| 14         | Armorflex    | op zand   | 3               | -                              | 10   | r               | 1,9  | 6,8  | 8        |

Tabel B.I.1 Resultaten van grootschalig modelonderzoek (begin van schade)

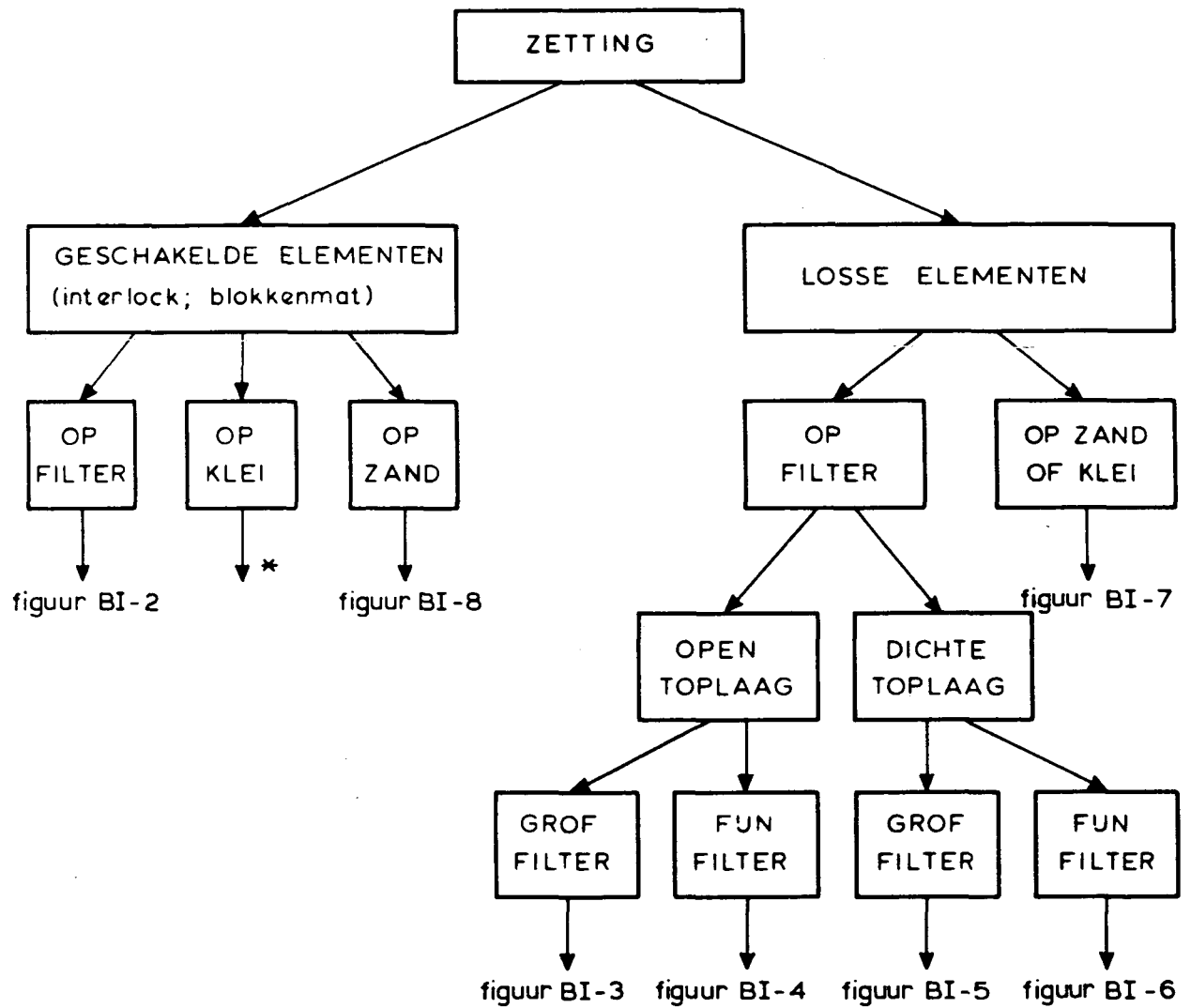
Tabel B. I. 2  
Resultaten van Deltagootonderzoek steenzettingen (losse blokken op talud 1:3)

| serie nr | proef nr. | H <sub>i</sub> [m] | T [s] | Blokbeveging |           | K <sub>s1</sub> | H/(Delta D) |      | Leklengte |          |
|----------|-----------|--------------------|-------|--------------|-----------|-----------------|-------------|------|-----------|----------|
|          |           |                    |       | vest [mm]    | oost [mm] |                 | vest        | oost | vest [m]  | oost [m] |
| 1        | 103       | .604               | 2.90  |              | 2         | 1.55            |             | 2.9  | .14       | .19      |
| 1        | 104       | .444               | 3.40  |              | 1         | 2.12            |             | 2.1  |           |          |
| 1        | 120       | .561               | 7.00  |              | 2         | 3.89            |             | 2.7  |           |          |
| 1        | 121       | .697               | 3.70  |              | 2         | 1.85            |             | 3.4  |           |          |
| 1        | 130       | .398               | 4.60  |              | 1         | 3.04            |             | 1.9  |           |          |
| 1        | 137       | .714               | 4.10  |              | 5         | 2.02            |             | 3.4  |           |          |
| 1        | 143       | .920               | 3.60  |              | 7         | 1.56            |             | 4.4  |           |          |
| 1        | 141       | .476               | 5.20  | 11           |           | 3.14            | 2.4         |      |           |          |
| 1        | 152       | 1.192              | 5.10  | 2            |           | 1.94            | 6.0         |      |           |          |
| 1        | 153       | 1.218              | 5.10  | 6            |           | 1.92            | 6.1         |      |           |          |
| 2        | 225       | .603               | 3.00  |              | 16        | 1.61            |             | 2.9  | .27       | .32      |
| 2        | 229       | .479               | 3.50  |              | 16        | 2.11            |             | 2.3  |           |          |
| 2        | 230       | .689               | 3.20  |              | 15        | 1.61            |             | 3.3  |           |          |
| 2        | 242       | .691               | 2.10  |              | 8         | 1.05            |             | 3.3  |           |          |
| 2        | 260       | .334               | 2.90  |              | 4         | 2.09            |             | 1.6  |           |          |
| 2        | 225       | .603               | 3.00  | 20           |           | 1.61            | 3.0         |      |           |          |
| 2        | 230       | .689               | 3.20  | 7            |           | 1.61            | 3.5         |      |           |          |
| 2        | 242       | .691               | 2.10  | 2            |           | 1.05            | 3.5         |      |           |          |
| 2        | 260       | .334               | 2.90  | 17           |           | 2.09            | 1.7         |      |           |          |
| 2        | 263       | .423               | 3.30  | 14           |           | 2.11            | 2.1         |      |           |          |
| 3        | 301       | .270               | 5.00  |              | 3.6       | 4.01            |             | 1.3  | .23       | .25      |
| 3        | 302       | .304               | 4.10  |              | 1.6       | 3.10            |             | 1.4  |           |          |
| 3        | 305       | .506               | 3.20  |              | 1.7       | 1.87            |             | 2.4  |           |          |
| 3        | 306       | .602               | 3.00  |              | 1.0       | 1.61            |             | 2.8  |           |          |
| 3        | 310       | .439               | 6.40  |              | .2        | 4.02            |             | 2.1  |           |          |
| 3        | 311       | .572               | 3.80  |              | 1.5       | 2.09            |             | 2.7  |           |          |
| 3        | 315       | .475               | 4.40  |              | 1.8       | 2.66            |             | 2.2  |           |          |
| 3        | 317       | .594               | 5.00  |              | 1.7       | 2.70            |             | 2.8  |           |          |
| 3        | 302       | .304               | 4.10  | 2.0          |           | 3.10            | 1.5         |      |           |          |
| 3        | 303       | .347               | 3.70  | 3.4          |           | 2.62            | 1.7         |      |           |          |
| 3        | 306       | .602               | 3.00  | 2.8          |           | 1.61            | 2.9         |      |           |          |
| 3        | 311       | .572               | 3.80  | .2           |           | 2.09            | 2.8         |      |           |          |
| 3        | 315       | .475               | 4.40  | 1.2          |           | 2.66            | 2.3         |      |           |          |



Vervolg tabel B. I. 2

| serie nr | proef nr. | Hi [m] | T [s] | Blokbeveging |           | Ksi  | H/(Delta D) |      | Leklengte |          |
|----------|-----------|--------|-------|--------------|-----------|------|-------------|------|-----------|----------|
|          |           |        |       | vest [mm]    | oost [mm] |      | vest        | oost | vest [m]  | oost [m] |
| 4        | 406       | .271   | 5.00  |              | .4        | 4.00 |             | 1.3  | .19       | .22      |
| 4        | 407       | .304   | 4.10  |              | 1.0       | 3.10 |             | 1.5  |           |          |
| 4        | 410       | .425   | 3.30  |              | 1.0       | 2.11 |             | 2.1  |           |          |
| 4        | 411       | .360   | 3.70  |              | 1.0       | 2.57 |             | 1.7  |           |          |
| 4        | 412       | .505   | 3.20  |              | 1.8       | 1.87 |             | 2.4  |           |          |
| 4        | 413       | .604   | 3.00  |              | 2.0       | 1.61 |             | 2.9  |           |          |
| 4        | 414       | .741   | 2.80  |              | 1.6       | 1.35 |             | 3.6  |           |          |
| 4        | 406       | .271   | 5.00  | .3           |           | 4.00 | 1.3         |      |           |          |
| 4        | 407       | .304   | 4.10  | .4           |           | 3.10 | 1.5         |      |           |          |
| 4        | 410       | .425   | 3.30  | .2           |           | 2.11 | 2.1         |      |           |          |
| 4        | 411       | .360   | 3.70  | .2           |           | 2.57 | 1.7         |      |           |          |
| 4        | 412       | .505   | 3.20  | .2           |           | 1.87 | 2.4         |      |           |          |
| 4        | 413       | .604   | 3.00  | .6           |           | 1.61 | 2.9         |      |           |          |
| 4        | 414       | .741   | 2.80  | .4           |           | 1.35 | 3.6         |      |           |          |
| 4        | 418       | .498   | 5.00  | 1.6          |           | 2.95 | 2.4         |      |           |          |
| 4        | 419       | .644   | 3.50  | 1.0          |           | 1.82 | 3.1         |      |           |          |
| 4        | 420       | .638   | 3.50  | 1.1          |           | 1.82 | 3.1         |      |           |          |
| 4        | 421       | .762   | 3.30  | .5           |           | 1.57 | 3.7         |      |           |          |
| 4        | 427       | .634   | 4.90  | 1.2          |           | 2.56 | 3.1         |      |           |          |
| 5        | 507       | .270   | 5.00  |              | .3        | 4.01 |             | 1.3  | .16       | .18      |
| 5        | 508       | .305   | 4.10  |              | .4        | 3.09 |             | 1.4  |           |          |
| 5        | 510       | .485   | 4.40  |              | .6        | 2.63 |             | 2.3  |           |          |
| 5        | 511       | .580   | 3.80  |              | .6        | 2.08 |             | 2.7  |           |          |
| 5        | 513       | .433   | 3.30  |              | .4        | 2.09 |             | 2.0  |           |          |
| 5        | 515       | .610   | 3.00  |              | .3        | 1.60 |             | 2.9  |           |          |
| 5        | 516       | .741   | 2.80  |              | .5        | 1.35 |             | 3.5  |           |          |
| 5        | 517       | .751   | 3.30  |              | .4        | 1.59 |             | 3.5  |           |          |
| 5        | 510       | .485   | 4.40  | .2           |           | 2.63 | 2.3         |      |           |          |
| 5        | 512       | .635   | 3.50  | .4           |           | 1.83 | 3.1         |      |           |          |
| 5        | 516       | .741   | 2.80  | .2           |           | 1.35 | 3.6         |      |           |          |
| 5        | 518       | .795   | 3.30  | .8           |           | 1.54 | 3.8         |      |           |          |
| 5        | 519       | .885   | 3.10  | .3           |           | 1.37 | 4.3         |      |           |          |
| 5        | 525       | .587   | 5.60  | .2           |           | 3.04 | 2.8         |      |           |          |
| 5        | 526       | .572   | 4.90  | 2.2          |           | 2.70 | 2.8         |      |           |          |
| 5        | 528       | .427   | 4.70  | .2           |           | 2.99 | 2.1         |      |           |          |
| 5        | 529       | .423   | 4.20  | .4           |           | 2.69 | 2.0         |      |           |          |
| 5        | 530       | .783   | 4.30  | 1.0          |           | 2.02 | 3.8         |      |           |          |
| 5        | 531       | .809   | 4.00  | 2.3          |           | 1.85 | 3.9         |      |           |          |
| 6        | 619       | .812   | 3.40  | 5            |           | 1.57 | 2.0         |      | .36       | .25      |
| 6        | 620       | .716   | 7.20  | 13           |           | 3.54 | 1.7         |      |           |          |
| 6        | 622       | .590   | 6.40  | 8            |           | 3.47 | 1.4         |      |           |          |
| 6        | 625       | 1.118  | 3.80  | 8            |           | 1.50 | 2.7         |      |           |          |
| 6        | 612       | .797   | 3.40  |              | schade    | 1.59 |             | 5.1  |           |          |



\* geen meetresultaten beschikbaar

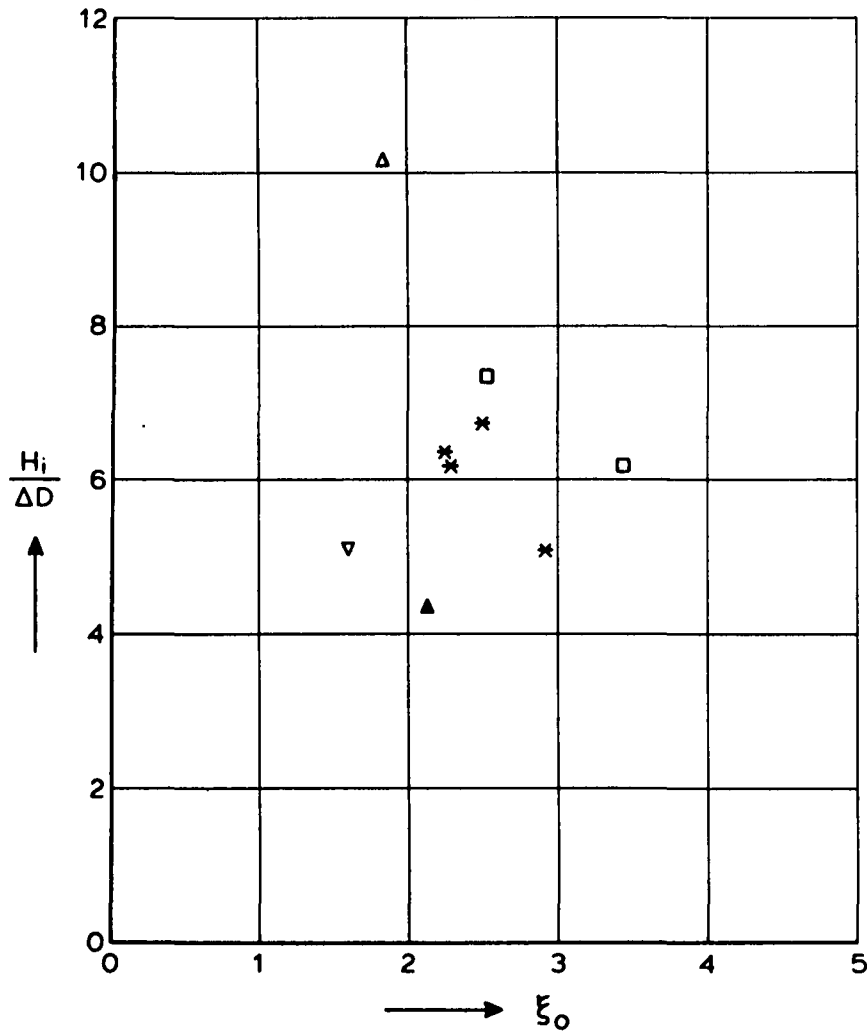
INDELING NAAR KONSTRUKTIETYPE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

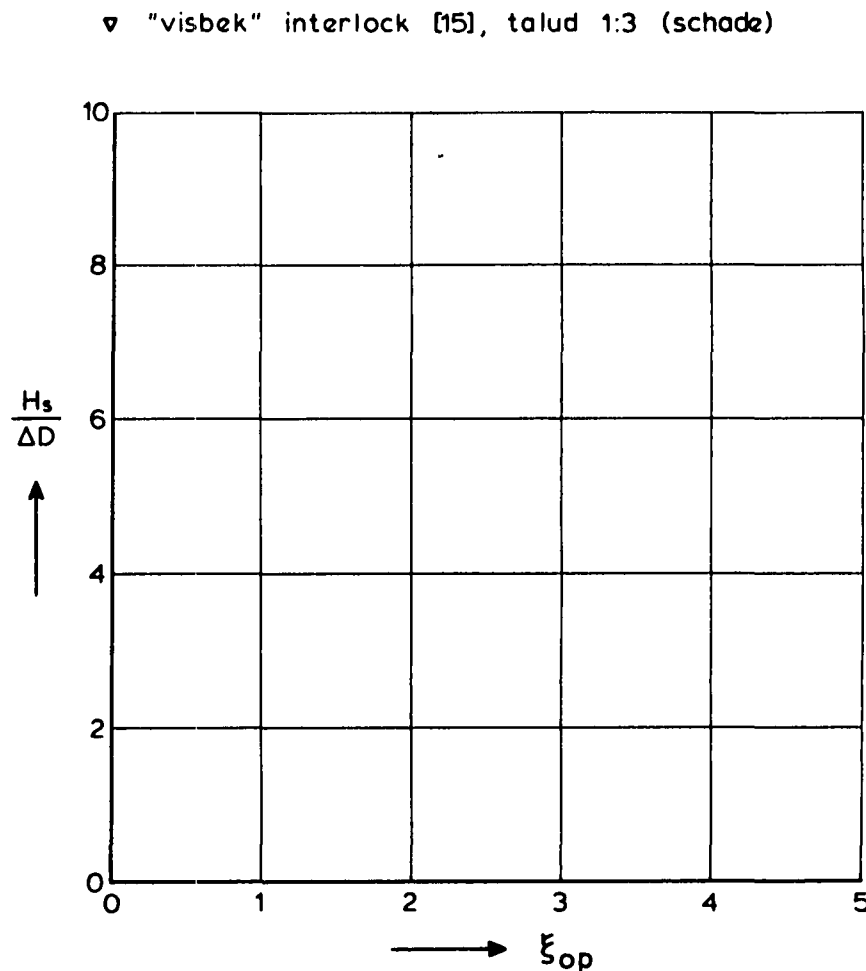
H 195

FIG. BI-1

- \* = Armoflex met kabels op dik geotextiel, talud 1:3 [13]
  - ▲ = Interlock-blokken met kleine spleten (type "messing en groef") talud 1:2
  - △ = idem met grotere spleten
  - = Interlock blokken (type "shiplap") talud 1:2
- } [9]



REGELMATIGE GOLVEN

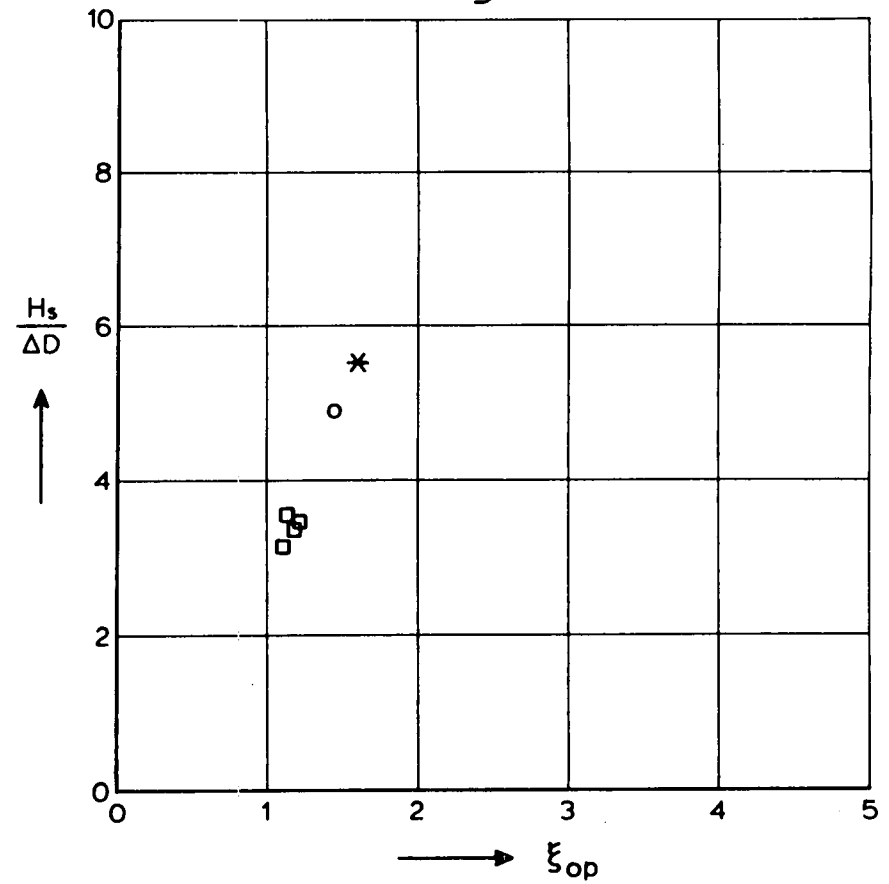
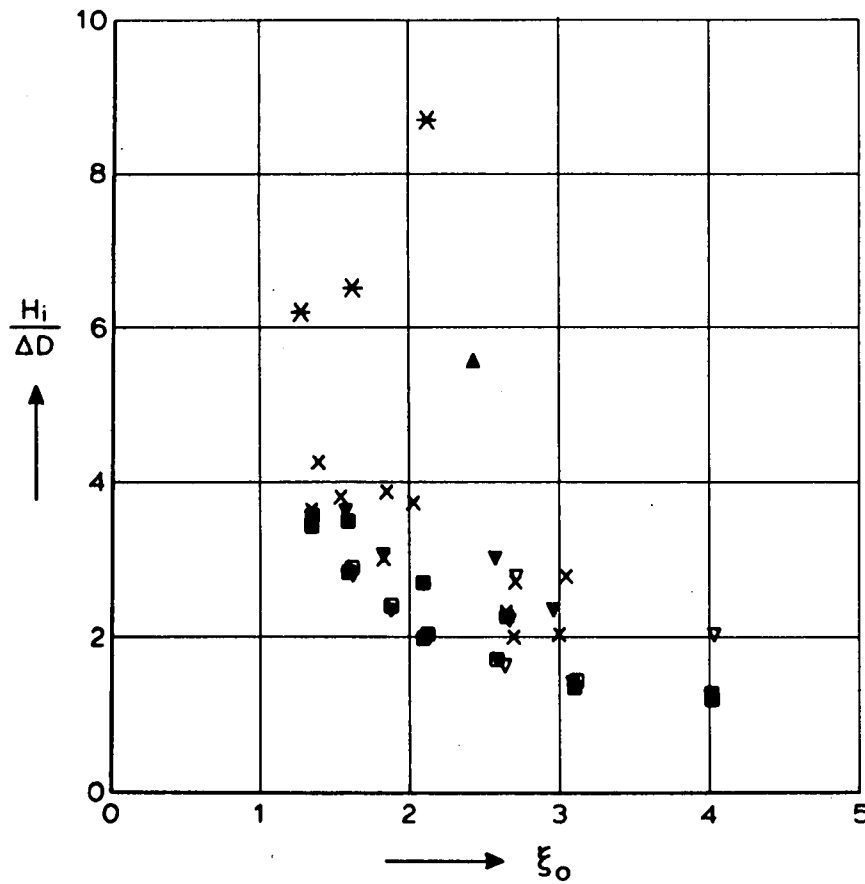


ONREGELMATIGE GOLVEN

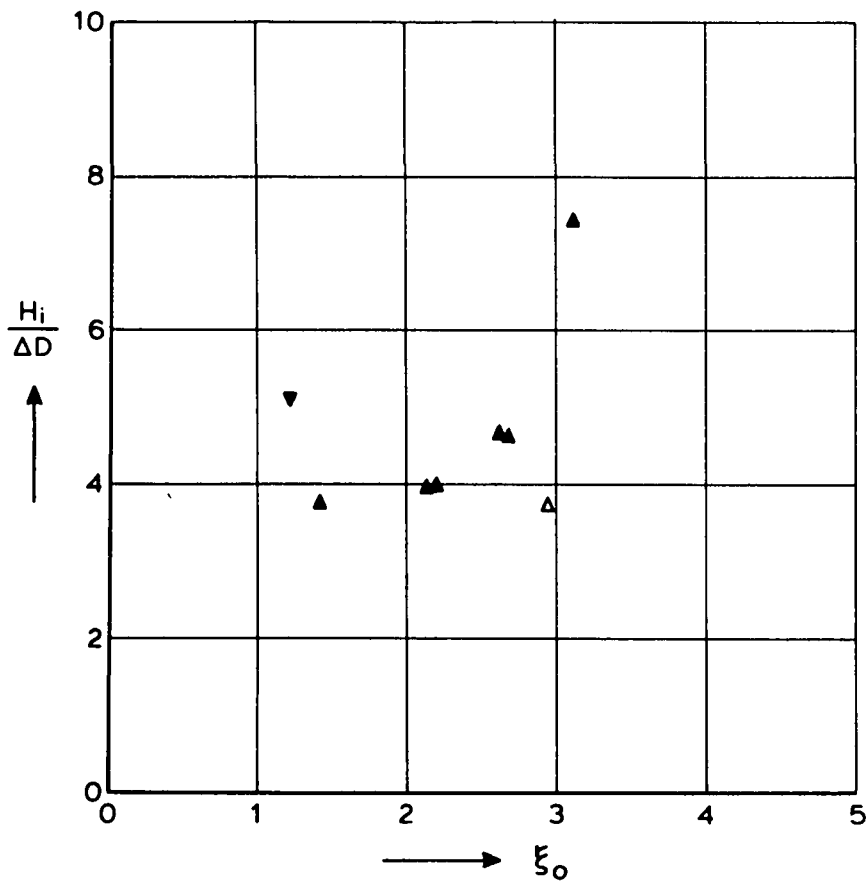
- ▲ = Blokken met brede spleten (O = 16%); ingewassen; talud 1:3
- △ = Blokken met brede spleten (O = 16%); niet ingewassen; talud 1:3
- = Blokken met gat (talud 1:4 met berm) [8]
- = Basalton, niet ingewassen (talud 1:3) [7]
- \* = Armorflex, niet ingewassen (talud 1:3) (zonder kabels) [6]

- ▽ 3 west & oost
- ▼ 4 west
- ⊞ 4 oost
- × 5 west
- 5 oost

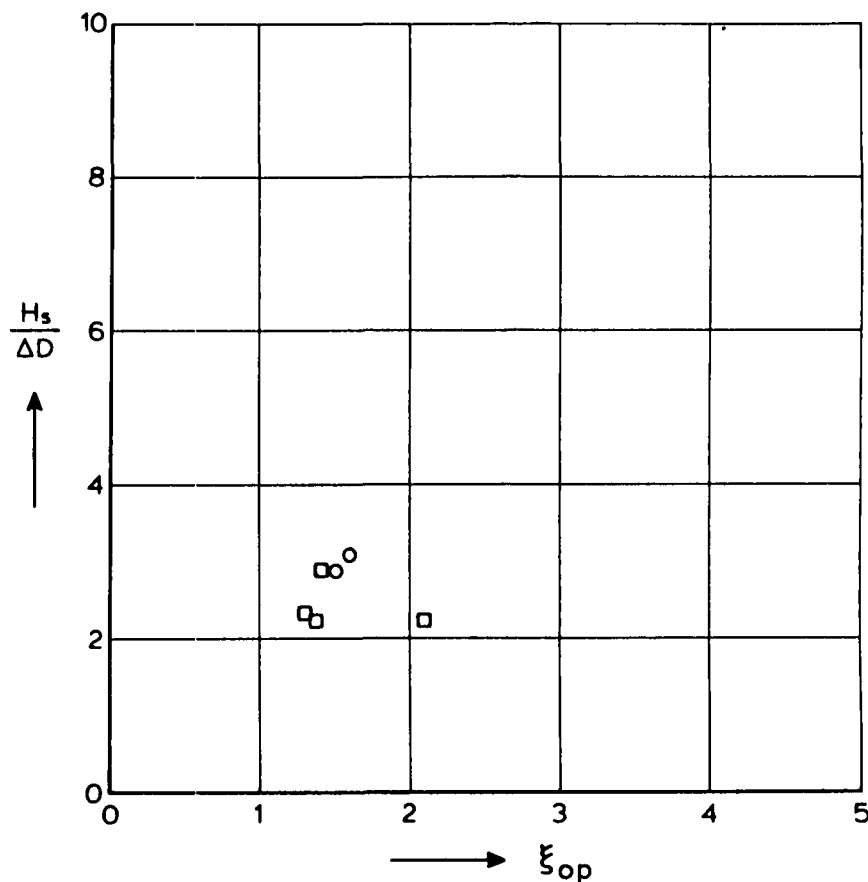
losse blokken met  
gaten [15] (talud 1:3)  
(beweging tot 5 mm)



- △ = Gobi-blokken op geotextiel (schuine zijden) talud 1:3.5
  - ▲ = Gobi-blokken op geotextiel (rechte zijden) talud 1:3.5
  - ▼ = Gobi-blokken op geotextiel gevuld met zand en grind (rechte zijden) talud 1:3.5
- } [ 9 ]
- = Vilvoortse steen op puin en vleilaag (talud 1:3.5)
  - = Basalt op puin en vleilaag (talud 1:3.5)
- } [ 10 ]

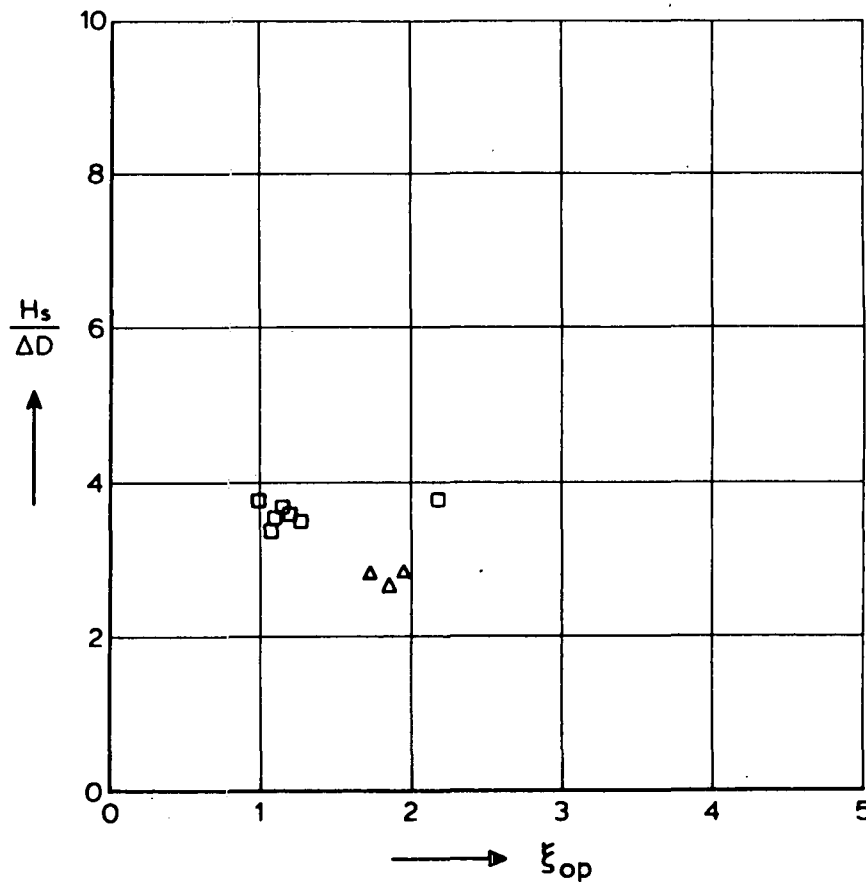
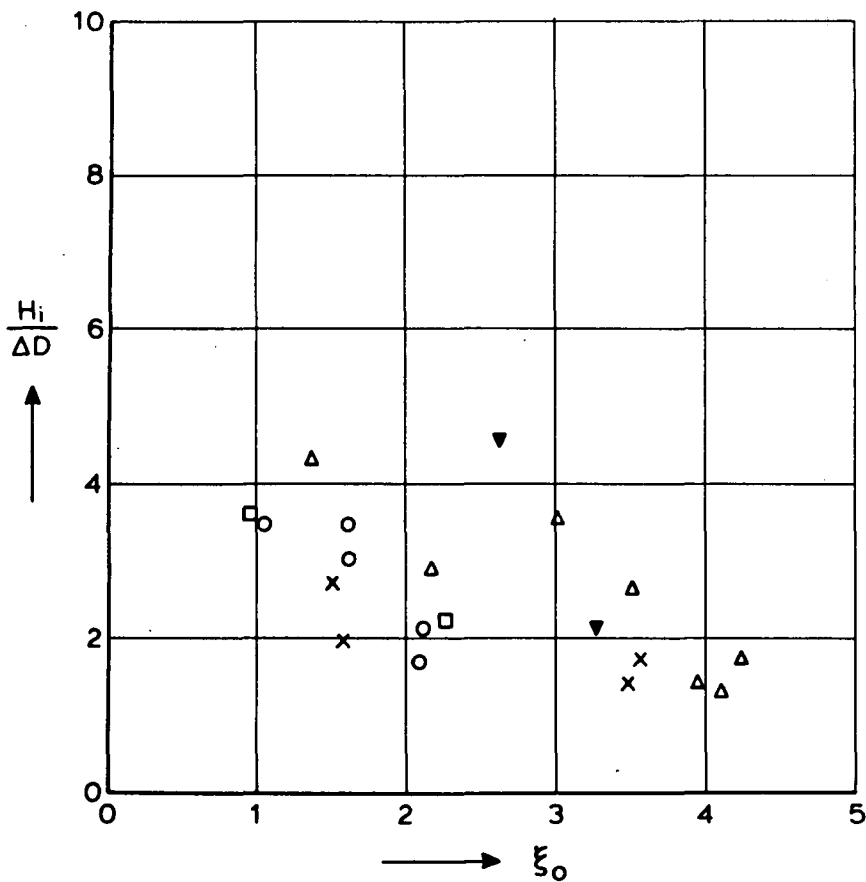


REGELMATIGE GOLVEN

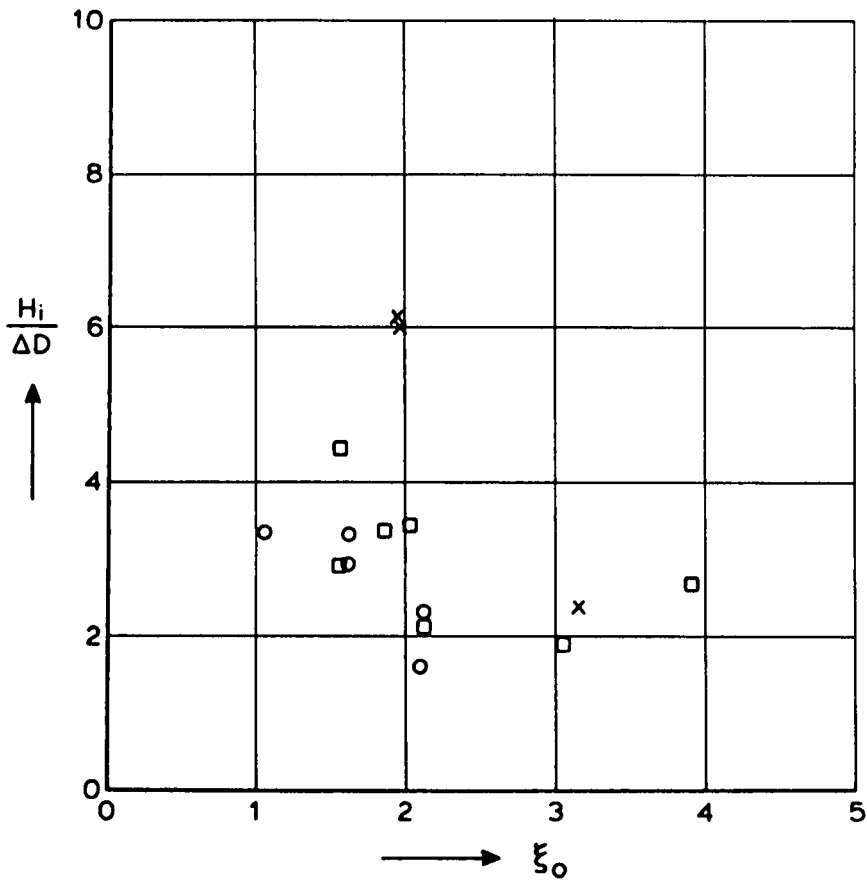


ONREGELMATIGE GOLVEN

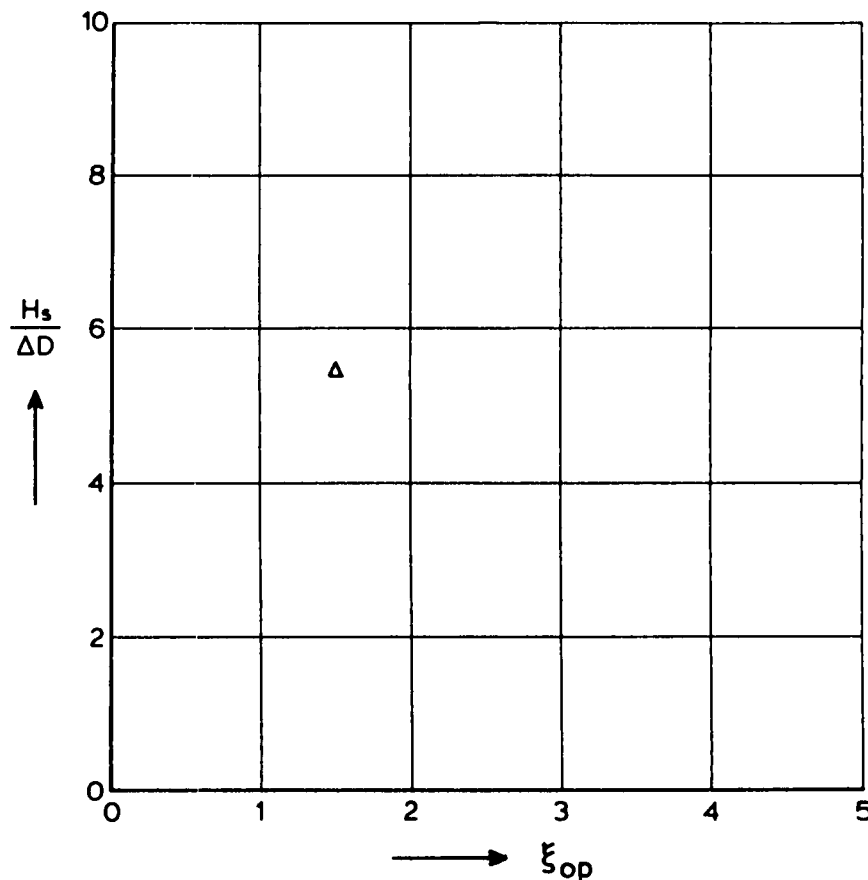
- $\Delta$  = niet ingewassen blokken (talud 1:3) } [5]
  - $\nabla$  = ingewassen blokken (talud 1:3) } [5]
  - $\square$  = talud 1:4 met berm op of vlak boven S.W.L. (losse blokken) [8]
  - $x$  = talud 1:3, Haringmanblokken ([15], 6 west, blokbeweging tot 5 mm)
  - $o$  = talud 1:3 ([15], 2 west, blokbeweging tot 20 mm)
- } losse blokken



- $\Delta$  = Haringmanblokken op uitvullaag op mijnsteen (talud 1:3.5) [10]
  - $\square$  = 1 oost
  - $\times$  = 1 west
  - $\circ$  = 2 oost
- } losse blokken op talud 1:3 ([15], beweging tot 20 mm)

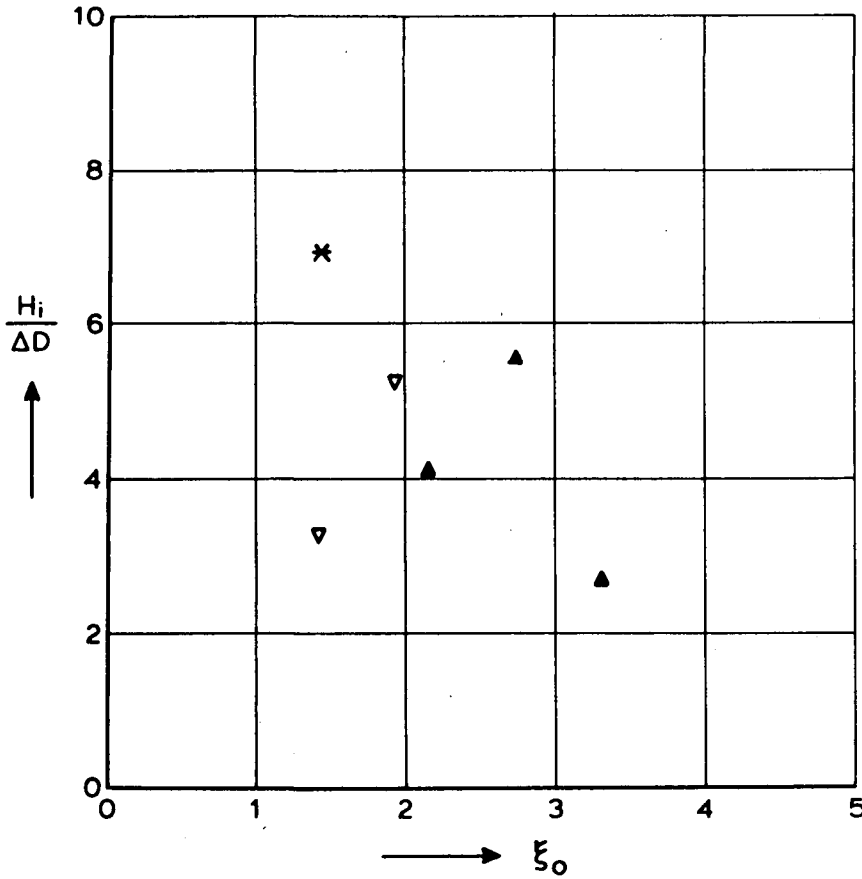


REGELMATIGE GOLVEN

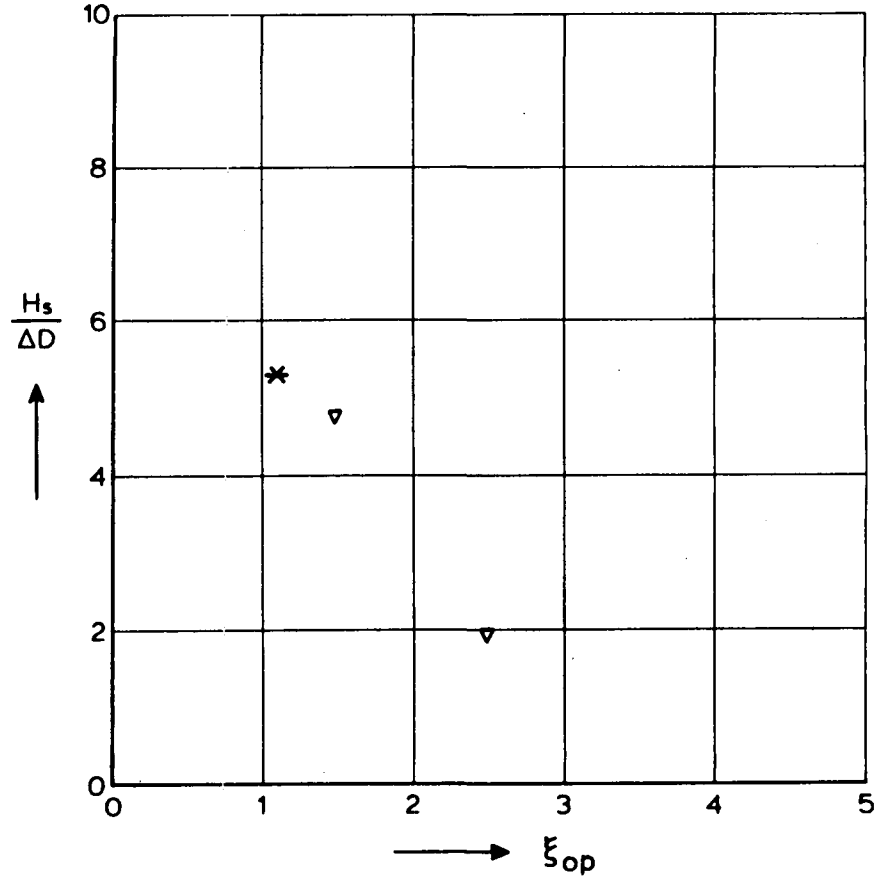


ONREGELMATIGE GOLVEN

- ▲ = Blokken op zand (talud 1:3) [11]
- ▼ = Basalton op zand (talud 1:3) (niet ingewassen) [12]
- \* = Blokken op klei (talud 1:4 met berm) [8]



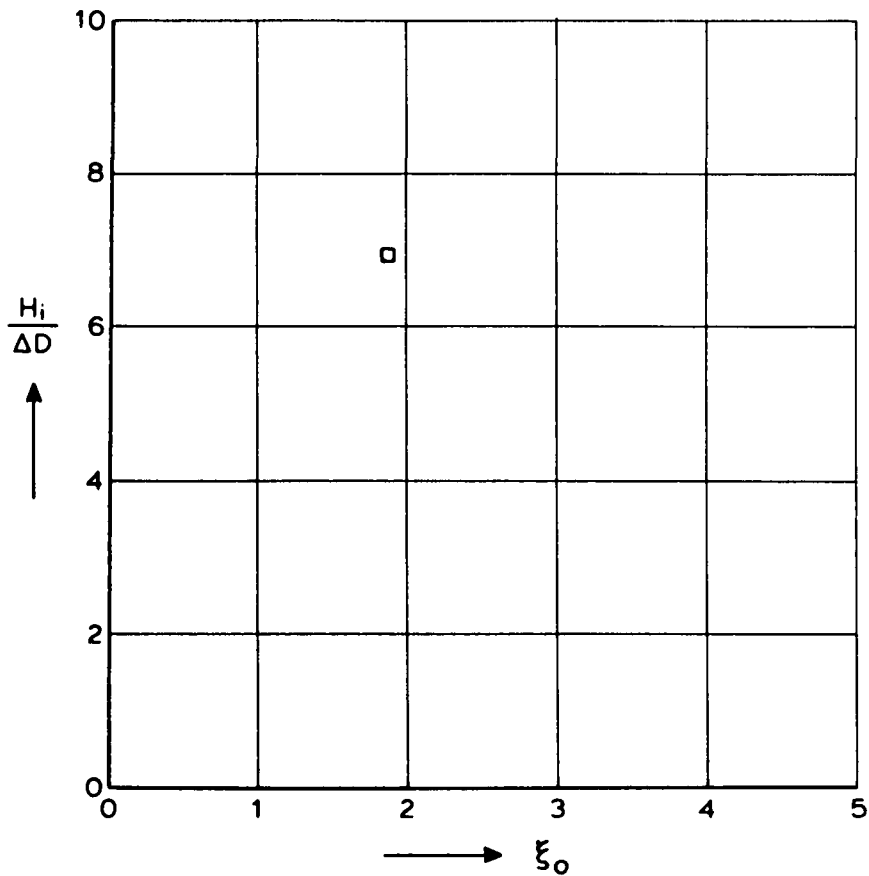
REGELMATIGE GOLVEN



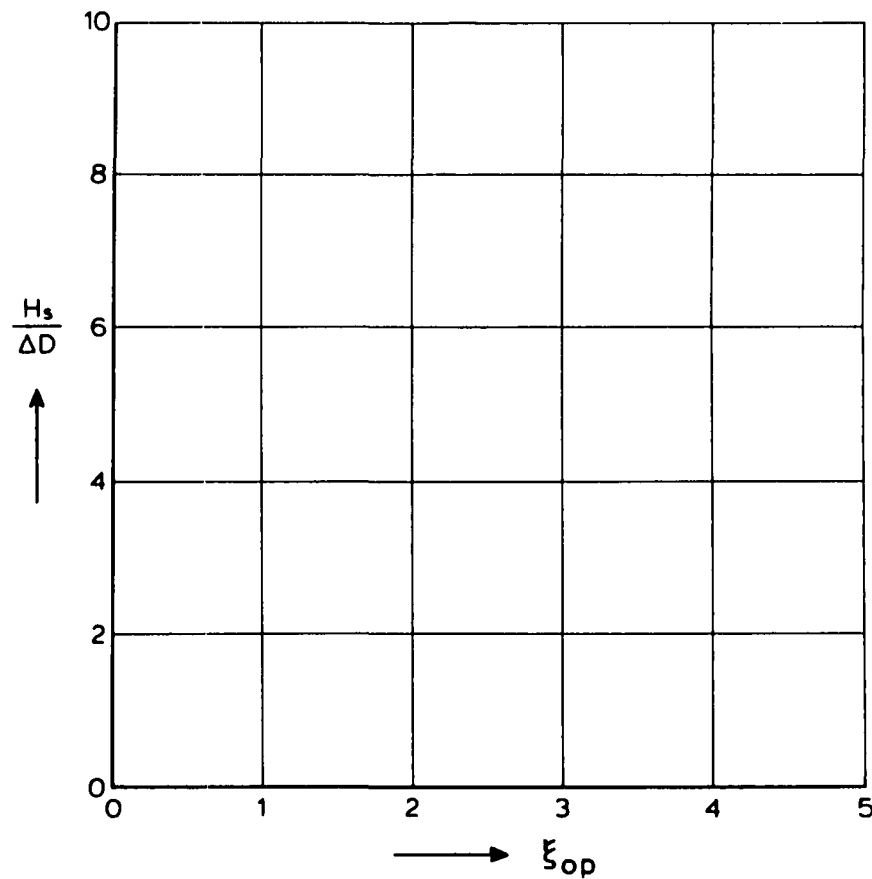
ONREGELMATIGE GOLVEN



□ = Armorflex op zand (talud 1:3 ;  $D_{50 \text{ zand}} = 0,5 \text{ mm}$ ) [14]



REGELMATIGE GOLVEN



ONREGELMATIGE GOLVEN

BIJLAGE II

ANALYTISCHE RELATIES GEBRUIKT IN HOOFDSTUK 9

$$k_u = \frac{-a_u + (a_u^2 + 4 \cdot b_u \cdot i_{su})^{0.5}}{2 \cdot b_u \cdot i_{su}}$$

$$a_u = \frac{c_{au} \cdot 160 \cdot v \cdot (1 - n_u)^2}{g \cdot n_u^3 \cdot d_{u15}^2}$$

$$b_u = \frac{c_{bu} \cdot 2.2}{g \cdot n_u^2 \cdot d_{u15}}$$

$$k_m = \frac{-a_m + (a_m^2 + 4 \cdot b_m \cdot i_{sm})^{0.5}}{2 \cdot b_m \cdot i_{sm}}$$

$$a_m = \frac{c_{am} \cdot 160 \cdot v \cdot (1 - n_m)^2}{g \cdot n_m^3 \cdot d_{m15}^2}$$

$$b_m = \frac{c_{bm} \cdot 2.2}{g \cdot n_m^2 \cdot d_{m15}}$$

etc

BIJLAGE III

RELEVANTE FRAGMENTEN UIT:

"FILTERS, FOUTENBOMEN EN FAALKANSBEREKENINGEN"

RAPPORT VAN DE CUR-ONDERZOEKSCOMMISSIE C 54

"TOEGEPAST FILTERONDERZOEK", GD, CO-292610/25, MAART 1988

## BIII.1

### INHOUD:

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | INLEIDING   | 1  |
| 2.  | METHODIEK   | 2  |
| 2.1 | Foutenboom voor specifieke constructie  | 2  |
| 2.2 | Operationele foutenboom en faalkansanalyse  | 2  |
| 2.3 | Schatting onzekerheden en faalkansberekening  | 3  |
| 3.  | GRANULAIR FILTER IN TALUDVERDEDIGING  | 5  |
| 3.1 | Beschrijving constructie en randvoorwaarden   | 5  |
| 3.2 | Foutenboom  | 5  |
| 3.3 | Grootheden, hun onderlinge relaties en operationele foutenboom  |    |
| 3.4 | Formules en onzekerheden  |    |
| 3.5 | Faalkansberekening  |    |
| 4.  | GRANULAIR FILTER IN GOLFBREKER  | 37 |
| 4.1 | Beschrijving constructie en randvoorwaarden   | 37 |
| 4.2 | Foutenboom  | 37 |
| 5.  | GEOTEXTIEL FILTER IN BODEMVERDEDIGING   | 38 |
| 5.1 | Beschrijving constructie en randvoorwaarden   | 38 |
| 5.2 | Foutenboom  | 38 |
| 6.  | ALGEMENE BESCHOUWINGEN  | 39 |
| 6.1 | Conclusies van faalkansberekeningen   | 39 |
| 6.2 | Toepassing gevonden relaties op andere constructies   | 40 |
| 6.3 | Aanbevelingen voor het opstellen van andere foutenbomen en het maken van verdere faalkansberekeningen | 41 |

### REFERENTIES

1. INLEIDING

Dit rapport verschijnt in het kader van het CUR-project "Toegepast Filteronderzoek" (C54). Het sluit aan op de studie "Inventarisatie Filterconstructies".

De totale studie waarvan hier een deel gerapporteerd wordt heeft twee doelstellingen:

- aangeven hoe foutenbomen kunnen worden opgesteld en hoe faalkansen kunnen worden berekend
- verzamelen en ordenen van kwantitatieve gegevens over de onzekerheden waarmee het ontwerpen van allerlei waterbouwkundige constructies met filters gepaard gaat, om na te gaan welke onderzoeken nodig zijn om optimale filters te kunnen ontwerpen en daarvoor richtlijnen te geven.

Dit rapport beantwoordt grotendeels aan de eerste doelstelling en legt de basis voor de tweede doelstelling. In hoofdstuk 5 wordt een aanbeveling gedaan voor de verdere activiteiten die nodig zijn om de studie af te ronden.

In hoofdstuk 2 wordt een algemene beschrijving gegeven van de methodiek om foutenbomen uit te werken, faalkansen te berekenen en na te gaan welke rol de verschillende onzekerheden spelen. Daarna (in hoofdstuk 3, 4 en 5) wordt dit toegepast voor drie nogal verschillende constructies. Van één constructie, een taludverdediging met granulair filter wordt een en ander kwantitatief uitgewerkt. Op basis daarvan volgen de conclusies en aanbevelingen van hoofdstuk 6.

Dit rapport is samengesteld door Grondmechanica Delft en het Waterloopkundig Laboratorium. De belangrijkste auteurs zijn H.J. Verhey (WL), H. den Adel (GD) en M.B. de Groot (GD).

## 2. METHODIEK

In het hoofdstuk "Methodiek" worden soortgelijke zaken besproken als in de hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 van het verslag "Veiligheidsbeschouwingen Steenzettingen".

## 3. GRANULAIR FILTER IN TALUDVERDEDIGING

In het hoofdstuk "Granulair filter in taludverdediging" wordt allereerst de PROVO-steenzetting met zijn randvoorwaarden beschreven en wordt vervolgens de faalkans van deze constructie berekend, voor zover bepaald door falen van het filter.

De in de paragrafen 3.4.1 t/m 3.4.3 gebruikte formules zijn gelijk aan die van hoofdstuk 6 en 8 van het verslag "Veiligheidsbeschouwingen Steenzettingen". In de paragrafen 3.4.4 en 3.4.5 volgt de behandeling van de analytische relatie die kenmerkend zijn voor dit faalmechanisme: optredend en kritiek verhang. Deze paragrafen zijn hier overgenomen. In de hieronder afgedrukte formules zijn de symbolen op twee na gelijk aan die van het verslag "Veiligheidsbeschouwingen Steenzettingen". Die twee zijn:

$d_t$  - blokdikte, lees: D  
 $d_f$  - dikte filterlaag, lees: b

Tenslotte is hier ook paragraaf 3.5 overgenomen waarin de resultaten de faalkansberekeningen besproken worden.



bladnummer : - BIII. 4 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

### 3.4.4 Relatie 4: verhang onder de stenen

#### 3.4.4.1 Verhang in de filterlaag, evenwijdig aan het talud

Het verhang in de filterlaag is onder andere door Wolsink afgeleid als functie van de stijghoogte op het talud, de leklengte en de hoek van het golffront, zie [5]. Aan deze oplossing wordt de voorkeur gegeven, omdat met deze oplossing het verhang analytisch bepaald kan worden. Dit versnelt de faalkans berekening aanzienlijk. De methode heeft echter een aantal nadelen. Er moet worden aangenomen dat de stroming in de filterlaag laminair verloopt, of wel dat de relatie tussen verhang en filtersnelheid lineair is. Verder is de stroming in het talud 1-dimensionaal verondersteld. Elastische berging en demping van de verhangen als functie van de laagdikte zijn evenmin in het model ingebouwd.

Wolsink verdeelt het talud in drie delen: een gedeelte waar de golf breekt, een gebied er voor en er achter. Uit proeven is gebleken dat het neerwaartse verhang vlak nabij de freatische lijn in het talud maximaal is. Het opwaarts gerichte verhang is maximaal vlak onder de brekende golf. Voor de potentiaal in dit gebied van de filterlaag waarin het neerwaartse verhang maximaal is, geeft Wolsink:

$$\phi = F \left[ \exp(-z/\lambda) - \exp\{(z-2z_1)/\lambda\} \right] + z + d \cos(\alpha) \quad (3.22)$$

met

$$F = \frac{\lambda}{2 \operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta)} \left[ 1 - \exp\left\{ \frac{-\operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta) \phi_b}{\lambda} \right\} \right] + \lambda/2 \quad (3.23)$$

$\lambda$  is de leklengte,  $z$  is de hoogte van een plaats in de filterlaag ten opzichte van de onderkant van de blokken van de zetting op het punt waar de golf de filterlaag bevochtigt.  $z_1$  is de hoogte van de freatische lijn ten opzichte van dit punt. Het totale verhang in het talud is:

$$i_f = \frac{d\phi}{dz} \times \sin(\alpha) \quad (3.24)$$

met

$$\frac{d\phi}{dz} = (-F/\lambda) \times \left[ \exp(-z/\lambda) - \exp\{(z-2z_1)/\lambda\} \right] + 1 \quad (3.25)$$

Ook uit formule (3.25) blijkt dat  $d\phi/dz$  maximaal is nabij de freatische lijn. Het extremum treedt op als  $z=z_1$ ;  $i_f$  is dan  $\sin(\alpha)$ . De term tussen de rechte haken is in dat geval 0, en waarmee  $d\phi/dz$  onafhankelijk van  $\lambda$  wordt.

bladnummer : - BIII. 5 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

De hoogte van het freatisch niveau in het filter is gekoppeld aan de hoogte van de significante golven op het talud:

$$z_1 = c_s H_s \quad (3.26)$$

De verwachtingswaarde voor  $c_s$  is 0.8, zijn standaard afwijking bedraagt 0.1

Voor het opwaarts gerichte verhang geeft Wolsink:

$$\frac{d\phi}{dz} = C \times \exp(z/\lambda)/\lambda - D \times \exp(-z/\lambda)/\lambda - \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)\operatorname{tg}(\beta)} \quad (3.27)$$

met

$$D = \frac{-\lambda}{2 \operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta)} \exp \left\{ \frac{-\operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta) \phi_b}{\lambda} \right\} \quad (3.28)$$

en

$$C = F \left[ 1 - \exp \left\{ \frac{-2 z_1}{\lambda} \right\} \right] - D \quad (3.29)$$

Het maximum van  $d\phi/dz$  wordt bereikt als:

$$z = \frac{1}{2} \lambda \ln ( - D / C ) \quad (3.30)$$

Door substitutie van (3.30) in (3.27) wordt voor het maximale opwaartse verhang gevonden:

$$i = \sin(\alpha) \left[ \frac{2 \{ -D \times C \}^{\frac{1}{2}}}{\lambda} - \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha)\operatorname{tg}(\beta)} \right] \quad (3.31)$$

Met deze formule doet zich het volgende probleem voor. Het verhang is onder andere een functie van de lek lengte, maar die lek lengte is via de gelineariseerde doorlatendheid van de filterlaag weer een functie van het verhang. Het is een vicieuze cirkel. De vorm van de relaties voor  $\phi$  en  $\lambda$  staan niet toe dat een van de variabelen wordt geëlimineerd. De verhangen in de filterlaag zullen dus iteratief moeten worden bepaald. Omdat de faalkans berekeningen zelf ook al in een iteratief proces worden uitgevoerd, kan dit tweede iteratieve proces de voortgang van de berekeningen aanzienlijk vertragen. Ten einde zulks te voorkomen moet de startwaarde voor de bepaling van het verhang in de filterlaag met grote zorg worden bepaald. Er kan hiermee worden bewerkstelligd dat slechts weinig iteraties nodig zijn.

bladnummer : - BIII. 6 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

Ten einde zo'n startwaarde te bepalen, is een analyse gemaakt van de grootte van de verhangen en de lek lengte in een talud. De verhangen in de filterlaag hangen van vier variabelen af. Uit de analyse is gebleken dat de eerste paar,  $\alpha$  en  $\beta$ , slechts in veel mindere mate dan de tweede koppel,  $\phi_b$  en  $\lambda$ , de waarde van het verhang bepalen. Verder blijkt dat bij verschillende waarden van  $\phi_b$  en  $\lambda$  het optredende opwaarts gerichte verhang waarden kan aannemen tussen 0 en -5. Bij de constructie die voor de faalkansberekeningen hier is gebruikt, is de waarde van het opwaarts gerichte verhang ongeveer -0.5. De werkwijze voor de bepaling van het opwaartse verhang gaat als volgt. In de nulde fase wordt het op -0.5 geschat ( $i_0 = -0.5$ ). Voor het verhang in de toplaag,  $i_t$ , wordt 0.75 gebruikt. Deze laatste is voor de stabiliteit van het filter van minder belang dan het verhang in de filterlaag zelf. De onzekerheid in de waarde van het verhang in de toplaag is reeds in 3.4.3.2 behandeld. Vervolgens wordt met behulp van  $i_0$  de eerste waarde van de lek lengte bepaald,  $\lambda_1$ . Met deze waarde wordt het eerste berekende verhang in de filterlaag bepaald,  $i_1$ . Analooq wordt het koppel  $\lambda_2, i_2$  gevonden. Het blijkt dat bij de onderzochte geometrie, vaak  $i_2$  reeds minder dan 5% van  $i_1$  afwijkt. Dit is voldoende reden om het zoekproces te staken. Indien dit nog niet het geval is, wordt het paar  $\lambda_3, i_3$  bepaald.

Ten einde de onzekerheid in het model te kwantificeren wordt een relatie constante  $c_f$  ingevoerd. Zijn verwachtingswaarde is 1.0, de standaard afwijking bedraagt 0.2. Het totale verhang in de filterlaag wordt dan gegeven door:

$$i_f = c_f \times \sin(\alpha) \times \frac{d\phi}{dz} \quad (3.32)$$

bladnummer : - BIII. 7 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

### 3.4.4.2 Loodrecht verhang in het basismateriaal

Dit verhang kan worden benaderd door uit te gaan van de analytische oplossingen van Koning e.a. en Verruijt, zoals is weergegeven in de "Inventarisatie Filterconstructies", bijlage 4.4.3 B. De belastingsvariatie op het talud wordt benaderd door een sinusvormige golf met hoogte  $H$ , golflengte  $L_1$  en periode  $T_1$ . Daarvoor wordt aangenomen:

$$H_1 = H_s \quad (3.33)$$

$$L_1 = 0.4 L_0 = 0.4 \frac{H_s}{G_{oz}} \quad (3.34)$$

$$T_1 = \left\{ \frac{2\pi H_s}{g G_{oz}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.35)$$

De invloed van de belastingsvariaties op het talud neemt met de diepte af, ongeveer met een negatieve e-macht, waarvoor als de karakteristieke lengte  $2\pi/L_1$  genomen mag worden. Dus geldt voor de amplitude van de belastingsvariatie,  $A$ :

$$A = \frac{1}{2} H_1 \exp \left\{ - \frac{2\pi (d_t + d_f)}{L_1} \right\} = \frac{1}{2} H_s \exp \left\{ - \frac{5\pi (d_t + d_f) G_{oz}}{H_s} \right\} \quad (3.36)$$

De belastingsvariatie zal zich op het grensvlak van filter en basis deels in de vorm van waterspanningsvariatie voordoen, deels in de vorm van korrelspanningsvariatie. Waterspanningsvariatie is ongunstig als het korrelskelet van het zand relatief stijf is ten opzichte van de stijfheid van het porienwater; de korrelspanningsvariatie is ongunstig als juist het porienwater stijf is. Bij de berekeningen wordt aangenomen dat de belastingsvariatie zich voor 100% in het meest ongunstige geval manifesteert. Dan geldt:

$$i_{bl} = c_{12} \frac{1}{2} H_s \exp \left\{ - \frac{5\pi (d_t + d_f) G_{oz}}{H_s} \right\} \left\{ \frac{\pi}{T_1 c_v} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.37)$$

Voor de onzekerheidscoëfficiënt  $c_{12}$  wordt een lognormale verdeling aangehouden met mediaan 1 en  $\sigma(\ln c_{12}) = \ln(1.3)$ . Voor de consolidatiecoëfficiënt  $c_v$  wordt een lognormale verdeling aangehouden met mediaan  $0.1 \text{ m}^2/\text{s}$  en  $\sigma\{\ln(c_v/0.1 \text{ m}^2/\text{s})\} = \ln(2)$ .

Opmerking: bij de hier gepresenteerde berekeningen is  $i_{bl}$  voorlopig nog als een onafhankelijke invoer parameter beschouwd.

### 3.4.5 Relatie 5: sterkte filter

#### 3.4.5.1 Relatie 5 suff: interne instabiliteit

Voor de berekening van het kritieke verhang voor interne stabiliteit zijn bij het schrijven van dit rapport twee verschillende formules beschikbaar. Aangezien het onderzoek naar de interne instabiliteit bij het opstellen van zowel dit rapport en als ook de "Inventarisatie filterconstructies" nog niet was afgerond, zijn in de bovengenoemde rapporten onderling verschillende formules opgegeven. Na de spoedig verwachte afronding van het desbetreffende onderzoek kan de juiste formule worden ingevuld.

Interne instabiliteit treedt op als kleine korrels door het skelet gevormd door de grote korrels kunnen heenglippen. De oorzaak hiervan is dat de fractie, die de kleine korrels zou kunnen tegenhouden, ontbreekt. Het optreden van interne instabiliteit kan dan ook uit een korrelverdelingsdiagram worden afgelezen. Zo'n diagram vertoont bij het optreden van interne instabiliteit aan de fijnkorrelige ( $<D_{1,0}$ ) en de grofkorrelige ( $>D_{3,0}$ ) kant twee stukken die als functie van de diameter snel toenemen. In het gebied hiertussen loopt het diagram vrijwel horizontaal of zeer vlak, hetgeen aangeeft dat materiaal met een bepaalde diameter ontbreekt, zie figuur 11.

Voor de bepaling van de relatie tussen het optredende verhang en de mate van interne instabiliteit is dus informatie nodig over de vorm van de korrelverdeling. Aangezien de onderzoeken in deze richting nog niet zijn afgesloten, kan slechts een voorlopige analyse worden gepresenteerd, zie [6]. De grondslag voor de bepaling van de interne instabiliteit is de methode van het F-H diagram, zie [7]. F is de fractie van de massa van de korrels kleiner dan een zekere diameter D, terwijl H de fractie van de massa van de korrels is, die tussen D en 4D inligt, zie figuur 12. De experimenten hebben aangetoond dat het verhang waarbij interne instabiliteit optreedt, gecorreleerd is aan de minimale waarde van H/F. Aangezien voor breed gegradeerde materialen slechts dat gedeelte van de korrelverdeling van belang is waarvan de waarden van F kleiner dan 0.2 zijn [7], moet H/F uitgedrukt worden in waarden van  $D_x$  met x rond 20. Rekening houdend met de vorm van de

onderzochte korrelverdelingsdiagrammen wordt de kromming  $\chi$  gedefinieerd:

$$\chi = \frac{D_{1,0}}{D_1 \times D_{1,9}} \quad (3.38)$$

Deze kromming vertoont gelijkenis met de 'coefficient of curvature',  $C_c$ . Bij de experimenten [6] is gebleken, dat de waarde van  $D_{1,0}$  een belangrijke rol speelt. De waarden van x, te weten 1 en 19 zijn arbitrair bepaald. Zij liggen symmetrisch rond  $D_{1,0}$ . Dit type formule levert informatie over de diameter onafhankelijke vorm van de fijnkorrelige kant van de verdeling. Het gedrag van  $\chi$  als functie van

bladnummer : - BIII. 9 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

de ligging van  $D_{10}$  tussen twee vaste waarden van  $D_1$  en  $D_1$ , is getekend in figuur 13. Voor een gelijkmatige korrelverdeling is  $\chi=1$ . Voor een korrelverdeling van een intern instabiel materiaal is  $\chi \ll 1$ , terwijl voor intern stabiel materiaal  $\chi \gg 1$ .

Uit de analyse van de metingen [6] blijkt dat:

$$i_{cr} = 0.32 \times \chi^{0.6} \quad (3.39)$$

Aangezien er slechts weinig metingen beschikbaar zijn, en omdat deze metingen bovendien een niet geringe spreiding vertonen, zijn de coëfficiënten niet erg betrouwbaar. Om de hieruit voortvloeiende onzekerheid in de beschouwing mee te kunnen nemen, wordt (3.39) herschreven tot:

$$i_{cr} = c_6 \times \chi^{c_7} \quad (3.40)$$

De verwachtingswaarde van  $c_6$  en  $c_7$  zijn respectievelijk 0.32 en 0.6, hun standaard afwijkingen bedragen 0.05 en 0.1.

Verder moet er ten gevolge van de werking van de zwaartekracht nog een correctie worden toegepast op dit verhang. Het filter ligt immers niet horizontaal maar heeft een helling van  $\alpha$  rad. In [9] is voor de correctie van de helling op het parallelle kritieke verhang een formule gegeven:

$$i_{cr}(\alpha) = i_{cr}(0) \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin(\phi)} \quad (3.41)$$

Aangezien metingen hier omtrent ontbreken, moet worden aangenomen dat bij interne stabiliteit de correctie ten gevolge van de helling dezelfde is als bij grensvlak stabiliteit.

#### 3.4.5.2 Relatie 5 grvl: stabiliteit aan het grensvlak basis-filter

De stabiliteit van fijnkorrelig materiaal (basis) aan het grensvlak met een grofkorrelig materiaal (filter) is een bron van inspiratie voor veel artikelen. Voor de onderhande zijnde constructie is de stabiliteit van belang bij stroming van water parallel aan en loodrecht op het grensvlak. De stroming is instationair. Bovendien is het grensvlak niet horizontaal.

In het kader van het onderzoek naar de stabiliteit van steenzettingen is tevens de grensvlak stabiliteit van granulaire filters onderzocht. Daaruit bleek ondermeer dat de invloed van instationaire stroming praktisch dezelfde is als die van stationaire stroming, mits de filtersnelheid daarbij gelijk wordt gesteld aan de maximale stroomsnelheid, zoals die bij instationaire stroming optreedt.

bladnummer : - BIII. 10 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

Daarnaast is gebleken dat de correctie term op het parallelle kritieke verhang, zoals beschreven in formule (3.40) juist is. Dit onderzoek heeft geleid tot het rapport 'Ontwerpregels voor het filter' [8]. Naast ontwerpdiagrammen geeft het rapport ook een formule voor de kritieke filtersnelheid,  $v_{fcr}$ :

$$v_{fcr} = [c_s \times \sqrt{c_s \times (c_{10} - c_{11})}]^{1/(1-m)} \quad (3.42)$$

met  $c_s$  t/m  $c_{11}$  coëfficiënten die gegeven worden door:

$$c_s = \frac{n_f}{c} \left( \frac{D_f^{1.5}}{v} \right)^m \quad (3.43)$$

$$c_s = \Psi_s \Delta g D_{b50} \quad (3.44)$$

$$c_{10} = \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin(\alpha)} \quad (3.45)$$

$$c_{11} = \frac{i_{bl}}{\Delta(1-n_b)} \quad (3.46)$$

De index  $f$  heeft betrekking op eigenschappen van het filter, de index  $b$  op die van de basis.  $\Psi_s$  is de shieldparameter,  $c$  en  $m$  zijn empirisch bepaalde factoren. Zowel  $\Psi_s$  als  $c$  en  $m$  zijn in tabelvorm gegeven [8].  $\Delta$  wordt bepaald uit de volumieke massa's van de basis korrels,  $\rho_b$ , en die van water,  $\rho_w$ :

$$\Delta = (\rho_b - \rho_w) / \rho_w \quad (3.47)$$

$v$  is de kinematische viscositeit,  $n$  de porositeit,  $\phi$  de rusthoek,  $\alpha$  de helling van het talud,  $g$  de versnelling van de zwaartekracht en  $i_{bl}$  het verhang in de basislaag loodrecht op het grensvlak. De rusthoek  $\phi$  is niet gelijk aan de inwendige hoek van wrijving. De rusthoek geeft het gedrag van een enkele korrel op het talud aan, terwijl de inwendige hoek van wrijving een collectief verschijnsel beschrijft: het bezwijken van een groot gedeelte van een talud. De rusthoek beschrijft slechts het solitaire bezwijken. Uit onderzoeken [8] is gebleken dat  $\phi \approx 1$  rad is. Het kritieke verhang, gemeten in de filterlaag, wordt bepaald met de Forchheimer relatie (3.11). De waarden van  $\rho_b$ ,  $\rho_w$ ,  $g$ , en  $v$  worden bekend verondersteld. Zij kunnen met een voldoende grote nauwkeurigheid worden bepaald, waardoor zij niet als stochasten behoeven te worden beschouwd. De onzekerheden in  $c$

bladnummer : - BIII. 11 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

en m zijn niet afzonderlijk bepaald. Daarentegen is een parameter  $c_G$  geïntroduceerd, waarmee de onzekerheid in de formule voor  $v_{fcr}$  wordt beschreven. Daarom wordt (3.42):

$$v_{fcr} = c_G \times [c_0 \times \sqrt{c_0 \times (c_{10} - c_{11})}]^{1/(1-m)} \quad (3.48)$$

De verwachtingswaarde van deze relatie parameter is 1.0 en gelet op de ligging van de voorspelling van  $v_{fcr}$  ten opzichte van de meetpunten is

zijn standaard afwijking 0.2. De verwachtingswaarde voor de rusthoek, een invoer onzekerheid, is 1 rad, zijn standaard afwijking 0.2 rad. Voor het gebruikte zand wordt aangenomen dat de verwachtingswaarde voor  $D_{b50}$  150  $\mu\text{m}$  is, voor de standaard afwijking wordt 20  $\mu\text{m}$

verondersteld. De porositeit van het basismateriaal wordt geacht een gemiddelde waarde van 0.4 te hebben, de standaard afwijking bedraagt 0.05. Het verhang in de basis is sterk afhankelijk van de hoeveelheid opgeloste lucht in het water. Dit bevordert de elastische berging. Hierdoor is het verhang in de basislaag loodrecht op het grensvlak tussen basis en filter onvoldoende nauwkeurig bekend. Er wordt daarom aangenomen dat de verwachtingswaarde 0.5 is met een standaard afwijking van 0.25. Verwachtingswaarden en standaard afwijkingen zijn in de tweede tabel vermeld.

### 3.5 Faalkansberekening

#### 3.5.1 Falen ten gevolge van interne instabiliteit

Met de in de 3.4.6 genoemde waarden is een nivo 2 faalkans berekening bij een neerwaarts verhang uitgevoerd. De verwachtingswaarden en de standaard afwijkingen voor een aantal belangrijke grootheden zijn bepaald. Zij zijn vermeld in onderstaande tabel.

| Grootheid | Verwachtingswaarde | Standaard afwijking |
|-----------|--------------------|---------------------|
| $H_s$     | 0.36 m             | 0.08 m              |
| $\phi_b$  | 0.34 m             | 0.08 m              |
| $\beta$   | 0.83 rad           | 0.13 rad            |
| $\lambda$ | 1.3 m              | 1.0 m               |
| $i_f$     | 0.00068            | 0.017               |
| $i_{cr}$  | 0.97               | 0.37                |



bladnummer : - BIII. 12 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

De resultaten van de faalkansberekeningen zijn in de onderstaande tabel uitgezet. De faalkans van het filter bedraagt  $6.0 \times 10^{-5}$ . De faalkans van de gehele waterbouwkundige constructie is nog aanzienlijk kleiner. Naast het ontwerp punt (het punt waarop het filter de grootste faalkans heeft) is ook voor iedere parameter de bijdrage aan de faalkans gegeven.

| nummer | grootheid | parameters | ontwerp | bijdrage<br>% |
|--------|-----------|------------|---------|---------------|
|--------|-----------|------------|---------|---------------|

Invoer parameters en invoer onzekerheden

|   |                |                      |      |                       |      |
|---|----------------|----------------------|------|-----------------------|------|
| 1 | $S_v$ (m)      | 2.17                 | 0.43 | 2.60                  | 0.17 |
| 2 | $G_{oz}$       | 0.05                 | 1.10 | $5.04 \times 10^{-2}$ | 0.0  |
| 3 | $D_{f1s}$ (m)  | $4.0 \times 10^{-3}$ | 1.6  | $2.23 \times 10^{-3}$ | 0.78 |
| 4 | $n_f$          | 0.27                 | 1.2  | 0.237                 | 0.13 |
| 5 | $s$ (m)        | $1.3 \times 10^{-3}$ | 1.17 | $1.37 \times 10^{-3}$ | 0.01 |
| 6 | $\alpha$ (rad) | 0.32                 | 1.13 | 0.37                  | 0.29 |
| 7 | $\phi$ (rad)   | 1.0                  | 1.22 | 0.80                  | 0.42 |
| 8 | $\chi$         | 5.0                  | 1.6  | 2.31                  | 2.63 |

Relatie parameters

|    |           |       |      |       |       |
|----|-----------|-------|------|-------|-------|
| 9  | $c_H$     | 6.0   | 1.1  | 5.69  | 0.07  |
| 10 | $c_\phi$  | 1.0   | 1.22 | 0.927 | 0.02  |
| 11 | $c_T$     | 1.2   | 1.04 | 1.20  | 0.00  |
| 12 | $c_3$     | 160.0 | 1.69 | 218.0 | 0.08  |
| 13 | $c_4$     | 2.1   | 1.6  | 2.10  | 0.00  |
| 14 | $c_t$     | 1.0   | 1.1  | 1.29  | 94.75 |
| 15 | $i_t$     | 0.75  | 1.38 | 0.663 | 0.02  |
| 16 | $c_\beta$ | 1.0   | 1.28 | 1.01  | 0.01  |
| 17 | $c_s$     | 0.8   | 1.13 | 1.20  | 0.20  |
| 18 | $c_f$     | 1.0   | 1.22 | 1.20  | 0.20  |
| 19 | $c_6$     | 0.32  | 1.17 | 0.278 | 0.24  |
| 20 | $c_7$     | 0.6   | 1.18 | 0.55  | 0.05  |

bladnummer : - BIII. 13 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

Vervolgens is tevens de situatie voor een opwaarts verhang bepaald. De verwachtingswaarden en de standaard afwijkingen voor de belangrijke parameters zijn onveranderd. Slechts voor het optredende verhang wijken deze waarden af, 0.16 respectievelijk 0.13. De faalkans van het filter is 0.0263. De resultaten van de faalkansberekeningen worden op dezelfde manier gepresenteerd.

| nummer | grootheid | parameters |  | ontwerp | bijdrage<br>% |
|--------|-----------|------------|--|---------|---------------|
|--------|-----------|------------|--|---------|---------------|

Invoer parameters en invoer onzekerheden

|   |                |                      |      |                       |      |
|---|----------------|----------------------|------|-----------------------|------|
| 1 | $S_v$ (m)      | 2.17                 | 0.43 | 2.34                  | 0.77 |
| 2 | $G_{oz}$       | 0.05                 | 1.10 | $4.93 \times 10^{-2}$ | 0.03 |
| 3 | $D_{f1s}$ (m)  | $4.0 \times 10^{-3}$ | 1.6  | $2.72 \times 10^{-3}$ | 3.93 |
| 4 | $n_f$          | 0.27                 | 1.2  | 0.245                 | 0.69 |
| 5 | $s$ (m)        | $1.3 \times 10^{-3}$ | 1.17 | $1.33 \times 10^{-3}$ | 0.05 |
| 6 | $\alpha$ (rad) | 0.32                 | 1.13 | 0.334                 | 0.50 |
| 7 | $\phi$ (rad)   | 1.0                  | 1.22 | 1.02                  | 0.08 |
| 8 | $\chi$         | 5.0                  | 1.6  | 3.38                  | 2.39 |

Relatie parameters

|    |           |       |      |       |       |
|----|-----------|-------|------|-------|-------|
| 9  | $c_H$     | 6.0   | 1.1  | 5.81  | 0.23  |
| 10 | $c_\phi$  | 1.0   | 1.22 | 1.06  | 0.43  |
| 11 | $c_T$     | 1.2   | 1.04 | 1.20  | 0.02  |
| 12 | $c_s$     | 160.0 | 1.69 | 198.0 | 0.54  |
| 13 | $c_4$     | 2.1   | 1.6  | 2.16  | 0.00  |
| 14 | $c_t$     | 1.0   | 1.1  | 0.263 | 88.94 |
| 15 | $i_t$     | 0.75  | 1.38 | 0.673 | 0.11  |
| 16 | $c_\beta$ | 1.0   | 1.28 | 1.02  | 0.18  |
| 17 | $c_s$     | 0.8   | 1.13 | 0.80  | 0.03  |
| 18 | $c_f$     | 1.0   | 1.22 | 1.07  | 0.50  |
| 19 | $c_6$     | 0.32  | 1.17 | 0.30  | 0.38  |
| 20 | $c_7$     | 0.6   | 1.18 | 0.567 | 0.20  |

bladnummer : - BIII. 14 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

#### Conclusies interne stabiliteit

Uit deze berekeningen volgt dat de faalkans van het filter ten gevolge van verlies aan interne stabiliteit vrij laag is. Het is waarschijnlijker dat het filter zal falen door het opwaartse verhang, dan door het neerwaartse. Verreweg de grootste bijdrage aan de faalkans komt uit  $c_t$ , de onzekerheid over de toplaagdoorlatendheid.

Vervolgens kan nog worden nagegaan welke invloed de veelal geschatte onzekerheden voor de invoer en relatie op de faalkans hebben. De verwachting is dat naarmate de standaard afwijking in een parameter kleiner wordt, de waarde van de faalkans ook kleiner zal worden. Met

name een parameter is onderzocht, namelijk diegene, waarvoor geldt dat de bijdrage tot de faalkans groot is:  $c_t$ . De standaard afwijking in deze parameter is eerst verkleind van 1.0 naar 0.5 en daarna naar 0.25. De faalkans voor het opwaartse verhang neemt hierdoor af met een factor 3 en vervolgens nog eens met een factor 2, zie bijlage 1. De bijdrage van  $c_t$  aan de faalkans vermindert van ongeveer 90% via 30% tot 3%. Andere grootheden, zoals de interne stabiliteits parameter  $\chi$ , de rusthoek  $\phi$  en  $D_{f1s}$  worden nu belangrijker voor de faalkans. Indien hun standaard afwijkingen ook gehalveerd worden, neemt de faalkans verder af met een factor 5.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het voor een constructie als deze met een golfbelasting wenselijk is meer kennis te verwerven over de manier waarop de doorlatendheid van de toplaag wordt bepaald. Dit beïnvloedt direct de grootte van het optredende verhang. Verder is het van belang de zeefkromme van de filterlaag zo nauwkeurig mogelijk te bepalen. Dit verkleint in de berekening de kans dat interne instabiliteit optreedt.

bladnummer : - BIII. 15 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

### 3.5.2 Falen ten gevolge van grensvlak instabiliteit

Met de in 3.4.6 vermelde waarden zijn weer twee faalkansberekeningen uitgevoerd, een bij neerwaarts en een bij opwaarts verhang. De waarden van de voornaamste parameters zijn in onderstaande tabel opgesomd.

| Grootheid | Verwachtingswaarde | Standaard afwijking |
|-----------|--------------------|---------------------|
| $H_s$     | 0.36 m             | 0.08 m              |
| $\phi_b$  | 0.34               | 0.08                |
| $\beta$   | 0.83 rad           | 0.13 rad            |
| $\lambda$ | 1.3 m              | 1.0 m               |
| $i_f$     | 0.00068            | 0.017               |
| $i_{cr}$  | 0.27               | 0.28                |

De faalkans van het filter bij neerwaarts verhang bedraagt: 0.16. De invoer parameters en hun bijdragen tot deze faalkans zijn in de onderstaande tabel vermeld.

bladnummer : - BIII. 16 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

| nummer | grootheid | parameters | ontwerp | bijdrage<br>% |
|--------|-----------|------------|---------|---------------|
|--------|-----------|------------|---------|---------------|

Invoer parameters en invoer onzekerheden

|    |             |                      |      |                       |       |
|----|-------------|----------------------|------|-----------------------|-------|
| 1  | $S_v$       | 2.17                 | 0.43 | 2.10                  | 0.00  |
| 2  | $G_{oz}$    | 0.05                 | 1.10 | $4.97 \times 10^{-2}$ | 0.00  |
| 3  | $D_{f1s}$   | $4.0 \times 10^{-3}$ | 1.60 | $3.57 \times 10^{-3}$ | 0.00  |
| 4  | $n_f$       | 0.27                 | 1.2  | 0.265                 | 0.00  |
| 5  | $D_{b^5_0}$ | $1.5 \times 10^{-4}$ | 1.14 | $1.48 \times 10^{-4}$ | 0.00  |
| 6  | $n_b$       | 0.4                  | 1.13 | 0.405                 | 2.44  |
| 7  | $i_{b1}$    | 0.5                  | 1.6  | 0.697                 | 93.11 |
| 8  | $s$         | $1.3 \times 10^{-3}$ | 1.17 | $1.29 \times 10^{-3}$ | 0.00  |
| 9  | $\alpha$    | 0.32                 | 1.13 | 0.322                 | 0.95  |
| 10 | $\phi$      | 1.0                  | 1.22 | 0.928                 | 3.49  |

Relatie onzekerheden

|    |           |       |      |       |      |
|----|-----------|-------|------|-------|------|
| 11 | $c_H$     | 6.0   | 1.1  | 5.96  | 0.00 |
| 12 | $c_\phi$  | 1.0   | 1.22 | 0.978 | 0.01 |
| 13 | $c_T$     | 1.2   | 1.04 | 1.19  | 0.00 |
| 14 | $c_s$     | 160.0 | 1.69 | 161.0 | 0.00 |
| 15 | $c_4$     | 2.1   | 1.6  | 2.18  | 0.00 |
| 16 | $c_t$     | 1.0   | 2.3  | 0.702 | 0.01 |
| 17 | $i_t$     | 0.75  | 1.38 | 0.711 | 0.00 |
| 18 | $c_\beta$ | 1.0   | 1.28 | 0.970 | 0.00 |
| 19 | $c_b$     | 0.8   | 1.13 | 0.794 | 0.00 |
| 20 | $c_f$     | 1.0   | 1.22 | 0.980 | 0.00 |
| 21 | $c_G$     | 1.0   | 1.22 | 0.980 | 0.00 |

bladnummer : - BIII. 17 -  
 ons kenmerk: CO-291810/41  
 datum : maart 1988

Ook voor het opwaartse verhang is de faalkans van het filter bepaald. Deze is net als bij de interne stabiliteit groter dan voor het neerwaartse verhang. Zijn waarde bedraagt 0.25. De verwachtingswaarden en standaard afwijkingen van de voornaamste ontwerp parameters zijn onveranderd ten opzichte van de situatie bij neerwaarts verhang. Slechts het optredende verhang verschilt, 0.16 respectievelijk 0.13. De bijdragen van de diverse parameters tot de faalkans zijn in onderstaande tabel gegeven.

| nummer | grootheid | parameters | ontwerp | bijdrage |
|--------|-----------|------------|---------|----------|
|        |           |            |         | %        |

Invoer parameters en invoer onzekerheden

|    |           |                      |      |                       |      |
|----|-----------|----------------------|------|-----------------------|------|
| 1  | $S_v$     | 2.17                 | 0.43 | 2.16                  | 2.95 |
| 2  | $G_{oz}$  | 0.05                 | 1.10 | $4.96 \times 10^{-2}$ | 0.05 |
| 3  | $D_{f1s}$ | $4.0 \times 10^{-3}$ | 1.60 | $4.35 \times 10^{-3}$ | 9.26 |
| 4  | $n_f$     | 0.27                 | 1.2  | 0.272                 | 2.64 |
| 5  | $D_{bso}$ | $1.5 \times 10^{-4}$ | 1.14 | $1.47 \times 10^{-4}$ | 1.50 |
| 6  | $n_b$     | 0.4                  | 1.13 | 0.398                 | 0.13 |
| 7  | $i_{bl}$  | 0.5                  | 1.6  | 0.487                 | 5.02 |
| 8  | $s$       | $1.3 \times 10^{-3}$ | 1.17 | $1.30 \times 10^{-3}$ | 0.37 |
| 9  | $\alpha$  | 0.32                 | 1.13 | 0.321                 | 1.14 |
| 10 | $\phi$    | 1.0                  | 1.22 | 0.994                 | 0.64 |

Relatie onzekerheden

|    |           |       |      |       |       |
|----|-----------|-------|------|-------|-------|
| 11 | $c_H$     | 6.0   | 1.1  | 5.92  | 0.76  |
| 12 | $c_\phi$  | 1.0   | 1.22 | 0.998 | 1.11  |
| 13 | $c_T$     | 1.2   | 1.04 | 1.19  | 0.03  |
| 14 | $c_s$     | 160.0 | 1.69 | 0.149 | 5.49  |
| 15 | $c_4$     | 2.1   | 1.6  | 2.14  | 0.23  |
| 16 | $c_t$     | 1.0   | 2.3  | 0.545 | 62.17 |
| 17 | $i_t$     | 0.75  | 1.38 | 0.698 | 0.49  |
| 18 | $c_\beta$ | 1.0   | 1.28 | 0.970 | 0.00  |
| 19 | $c_s$     | 0.8   | 1.13 | 0.797 | 0.18  |
| 20 | $c_f$     | 1.0   | 1.22 | 1.01  | 2.96  |
| 21 | $c_G$     | 1.0   | 1.22 | 0.953 | 2.88  |

bladnummer : - BIII. 18 -  
ons kenmerk: CO-291810/41  
datum : maart 1988

### Conclusies grensvlak instabiliteit

Bij het bezwijken ten gevolge van transport van zand door de mijnsteen levert de waarde van  $i_{b1}$  bij een neerwaarts verhang en  $c_t$  bij opwaarts verhang de grootste bijdrage tot de faalkans.

Indien bij het neerwaarts verhang de standaard afwijking in  $i_{b1}$  verkleind wordt van 0.25 naar 0.1 en 0.05 blijkt dat de bijdrage van  $i_{b1}$  aan de faalkans afneemt van 90% via 50% naar 10%. De bijdrage van de rusthoek,  $\phi$ , aan de faalkans neemt toe. Daarom is bij de laatste berekening de standaard afwijking van deze parameter gehalveerd. De bijdrage van  $i_{b1}$  bedraagt bij deze laatste berekening slechts 1%. De faalkans is in totaal met een factor 30 afgenomen.

Bij het opwaartse verhang wordt de standaard afwijking in  $c_t$  verkleind van 1.0 naar 0.5 en 0.25. De bijdrage van  $c_t$  aan de faalkans neemt hierdoor af van 60% via 20% tot 4%. De bijdragen van  $D_{f15}$ , het verhang in de basis loodrecht op het scheidingsvlak,  $i_{b1}$ , en de evenredigheidsconstante in de laminaire term uit de Forchheimer relatie,  $c_s$ , nemen hierdoor echter toe. Bij de laatste berekening zijn de standaard afwijkingen in de parameters gehalveerd. Er treedt wel een verschuiving op in de mate waarin de genoemde parameters bijdragen in de faalkans, maar de faalkans zelf verandert slechts weinig bij deze laatste berekening. In totaal is de faalkans afgenomen van 0.25 naar 0.15, een veel geringere afname dan bij de andere berekeningen. Het ziet er dus naar uit dat de gemiddelde waarden van de parameters ongunstig liggen.

Uit deze berekeningen kan geconcludeerd worden dat de faalkansen voor het bezwijken van de constructie ten gevolge van transport van basismateriaal ( $D_{b50} \approx 150\mu\text{m}$ ) door het filter ( $D_{f15} \approx 4\text{ mm}$ ) groter is dan de kans op verlies aan sterkte ten gevolge van interne instabiliteit. Meer kennis omtrent de relaties en de parameters zal slecht weinig invloed hebben op de faalkans. De remedie voor het verlagen van de faalkans in dit geval is het veranderen van de verwachtingswaarde van de ontwerp parameters, bijvoorbeeld door het kiezen van een geschiktere soort mijnsteen met een wat kleinere waarde van  $D_{f15}$ .

## 6. ALGEMENE BESCHOUWINGEN

6.1 Conclusies van faalkansberekeningen

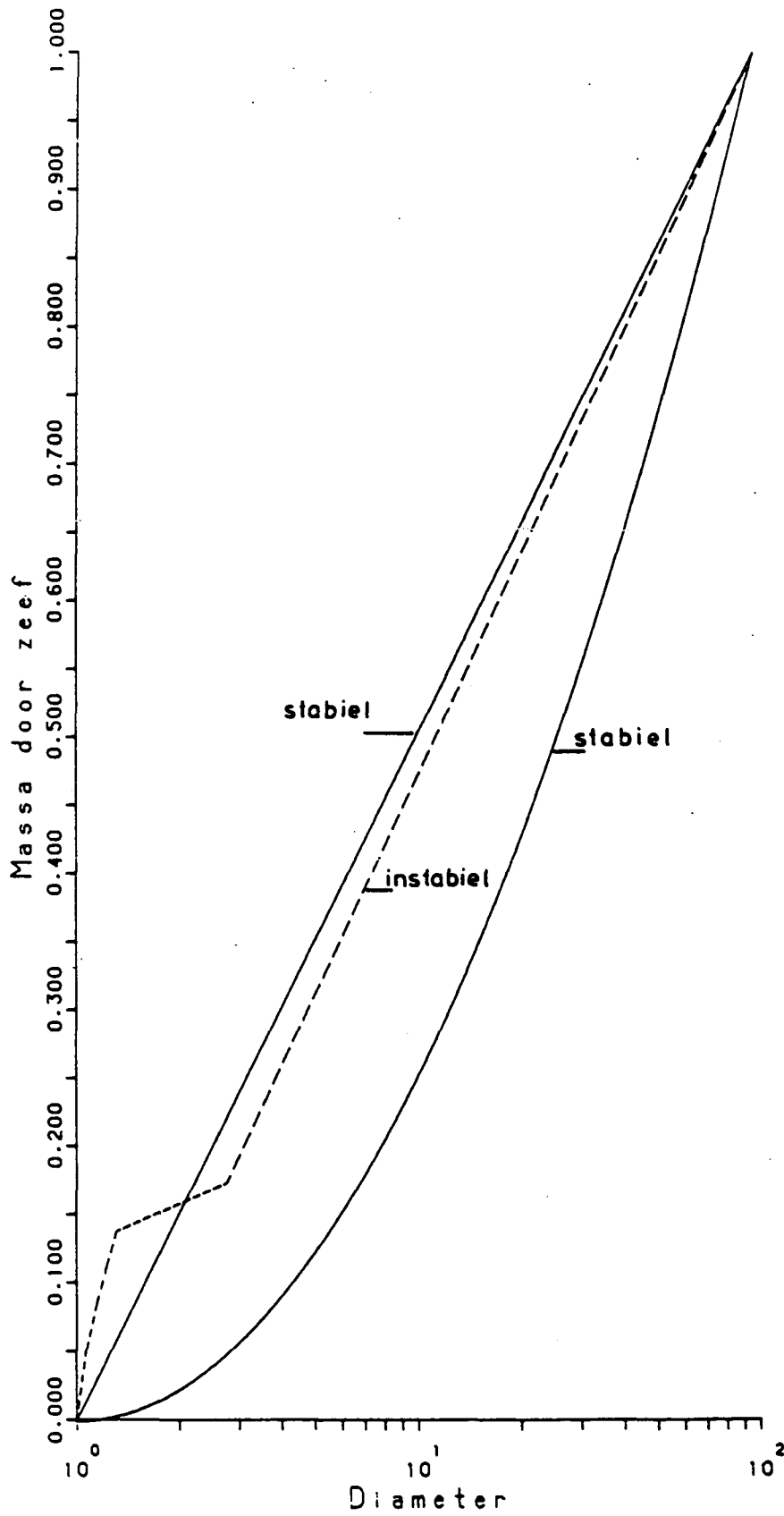
## 6.1.1 Algemene conclusies

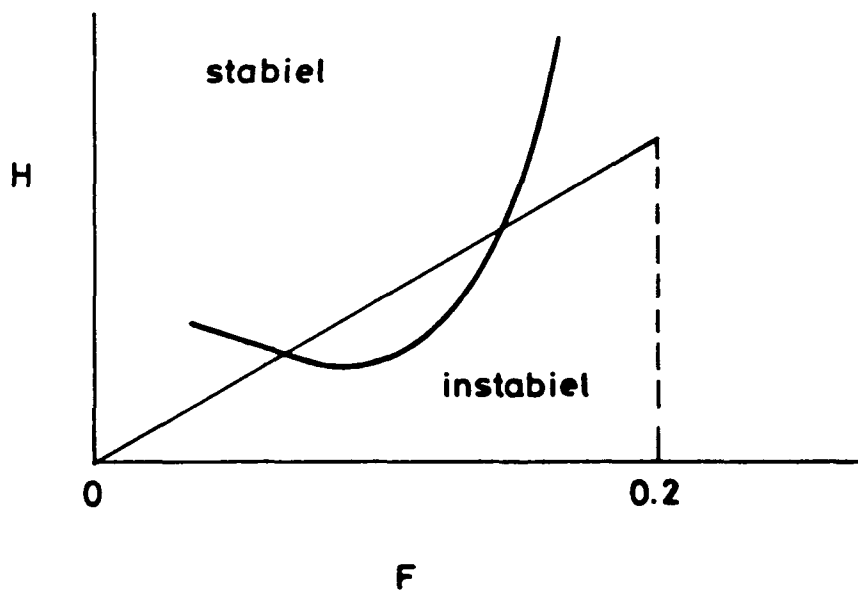
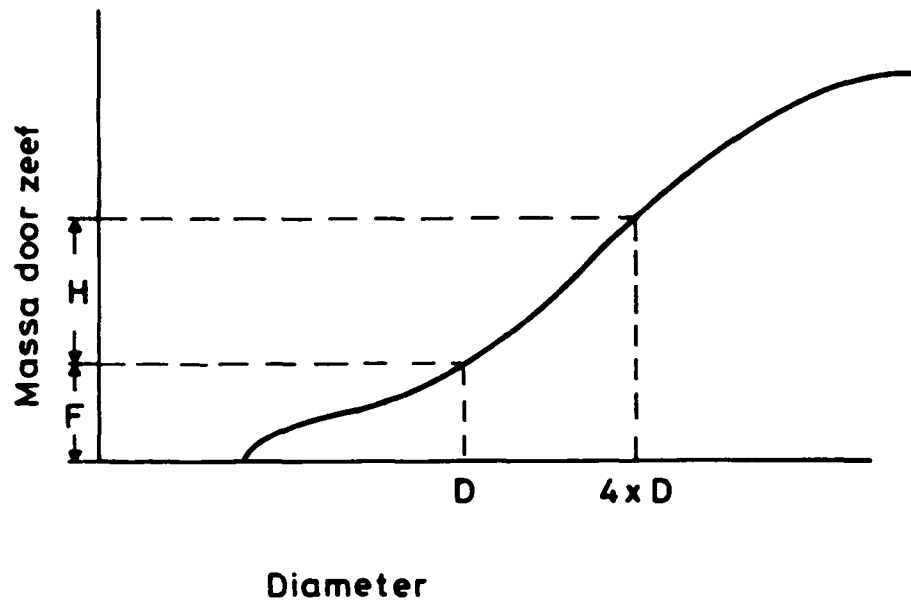
- Het is goed mogelijk om een behoorlijke faalkansberekening uit te voeren. Daartoe moet een operationele foutenboom worden opgesteld waarin alle goed kwantificeerbare relaties tussen relevante parameters en series gebeurtenissen moeten worden aangegeven. Die relaties moeten in formulevorm worden weergegeven. Verder moeten de onzekerheden betreffende die relaties en de invoerparameters worden weergegeven in kansverdelingen. Daar waar het gaat om enkelvoudige gebeurtenissen en er dus geen relatie in formulevorm mogelijk is, moeten de overdrachtskansen tussen enkelvoudige gebeurtenissen worden geschat. De invloed van niet gekwantificeerde relaties en niet betrokken parameters die wel relevant zijn, moet verwerkt worden in die onzekerheden.
- Het is goed mogelijk om de invloed van elk der onzekerheden op de totale faalkans te kwantificeren.

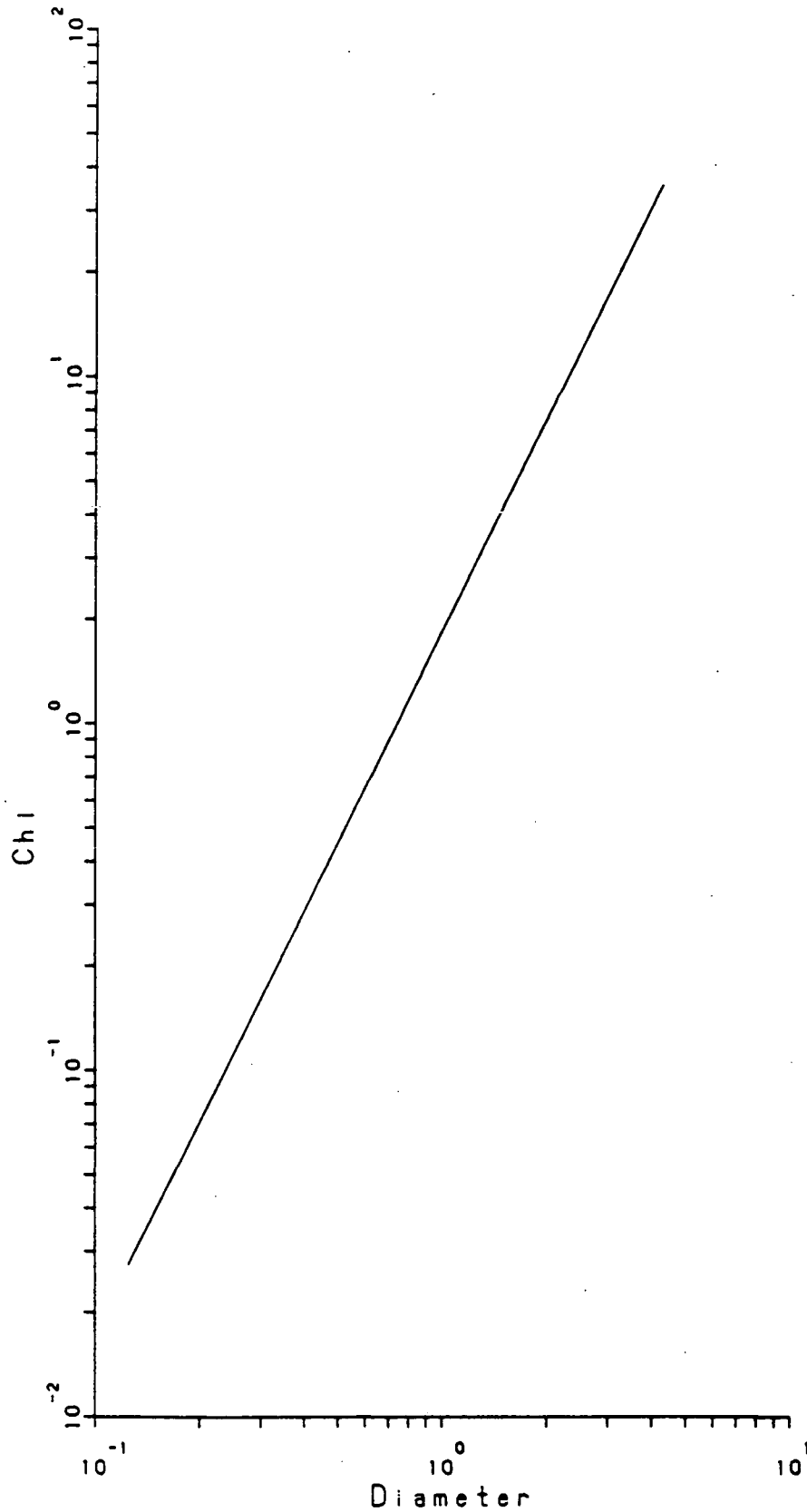
## 6.1.2 Specifieke conclusies voor granulair filter in taludbekleding

- Bij de situaties waarvoor hier de faalkans is berekend blijkt telkens de onzekerheid over één invoerparameter of relatie verreweg de belangrijkste bijdrage aan de faalkans te leveren.
- De geschatte onzekerheid is echter tamelijk subjectief. Een flinke vermindering van die onzekerheid zorgt er steeds voor dat dan ook twee of drie andere onzekerheden een belangrijke rol gaan spelen.
- Zo'n vermindering van de onzekerheid zorgt uiteraard ook voor vermindering van de faalkans. Maar die vermindering is het sterkst als de faalkans al klein is. Bij de situatie die een faalkans van 25% oplevert met de grootst geschatte onzekerheden, leidt een rigoreuze reductie van vele onzekerheden nauwelijks tot reductie van de faalkans. Kennelijk leidt invoering van de verwachtingswaarden voor alle parameters al praktisch tot falen.
- De onzekerheden die in de beschouwde situaties van belang zijn hebben enerzijds betrekking op relatie 3 betreffende de doorlatendheden met zijn invoerparameters, anderzijds betrekking op relatie 5 betreffende de filtersterkte. Onzekerheden betreffende de relaties 1 en 2 waarmee de druk op het talud bepaald wordt, spelen in geen van de situaties een belangrijke rol, terwijl onzekerheden betreffende relatie 4 (relatie van druk op talud tot verhang bij of in filter) alleen een belangrijke rol speelt in de situaties waarbij het loodrechte verhang in het zand als gevolg van elastische berging van belang is.









GRONDMECHANICA  
DELFT.

Postbus 69, 2600 AB Delft Telefax (015) 61 08 21  
Telefoon (015) 69 35 00 Telez 38234 ext. 61

88-03-01

Het gedrag van Chi als functie van  $D_{10}$   
 $D_1 = 0.125 < D_{10} < 4.5 \text{ mm} = D_{19}$

CO-292610 AdI

FIG. 13

BIJLAGE IV

PLAATS VAN DE VEILIGHEIDSBESCHOUWING IN HET ONTWERPPROCES1 Inleiding

Deze bijlage geeft een globale indruk van hoe een ontwerpproces eruit ziet wanneer daarin gebruik gemaakt wordt van faalkansberekeningen. De gehele lijn van de randvoorwaarden op diep water en de beschikbare materialen tot en met een veilig ontwerp wordt onderstaand geschetst. Tevens wordt aangegeven welk deel van het ontwerpproces in de hier gerapporteerde studie is behandeld. Ten behoeve van de duidelijkheid wordt slechts èèn bezwijkmechanisme beschouwd: het oplichten van een los blok uit de zetting als gevolg van de hydraulische belasting van windgolven.

Het ontwerpproces is op te splitsen in vier onderdelen:

1. Het vergaren van informatie over de hydraulische randvoorwaarden en de beschikbare bouwmaterialen. Tevens wordt in dit onderdeel een gewenste levensduur en akseptabele bezwijkkans (faalkans) gekozen. Dit laatste is de kans dat de zetting bezwijkt in een periode, die gelijk is aan de levensduur.
2. Het vertalen van de hydraulische randvoorwaarden naar die bij de konstruktie (teen van het talud).
3. Het dimensioneren van de konstruktie.
4. Het uitvoeren van een faalkansberekening op basis van èèn van de in dit verslag beschreven methoden. Dit onderdeel dient herhaald te worden met een iets gewijzigde dimensionering als de berekende faalkans niet gelijk is aan de gewenste faalkans.

Deze vier onderdelen zijn weergegeven in het stroomschema van figuur BIV.1. Alleen deel 4 is in deze burostudie uitgewerkt. Onderstaand volgt een nadere omschrijving van de vier onderdelen.

2 Ontwerpproces

De grootte van de akseptabele bezwijkkans  $p_f$  wordt voor een belangrijk deel bepaald door de akseptabele bezwijkkans van de gehele kering en de

reststerkte van de kering. Er is sprake van reststerkte omdat na het uitlichten van een los blok het niet zeker is dat het achterland innundeert. Er zijn twee delen in de reststerkte te onderscheiden, die beide op te vatten zijn als een konditionele kans:

- kans  $p_{rz}$  dat het dijklichaam bloot komt te liggen, gegeven het feit dat er een los blok uit de zetting is verwijderd.
- kans  $p_{rd}$  dat het achterland innundeert, gegeven het feit dat het dijklichaam bloot is komen te liggen.

Gezien het feit dat er sprake is van een serie-systeem geldt het volgende voor de inundatiekans  $p_i$ :

$$p_i = p_f p_{rz} p_{rd}$$

met:  $p_i$  = inundatiekans

$p_f$  = faalkans van zetting (uitlichten van los blok)

$p_{rz}$  = kans dat dijklichaam bloot komt te liggen na falen van zetting

$p_{rd}$  = kans op inundatie nadat dijklichaam bloot komt te liggen

In deze burostudie worden uitsluitend faalkansberekeningen van de zetting gepresenteerd (kans op uitlichten van los blok). De akseptabele faalkans  $p_f$  is derhalve noodzakelijk om de veiligheid op basis van de rekenresultaten te kunnen beoordelen.

Doorgaans zal  $p_f$  veel groter kunnen zijn dan  $p_i$ . Als alleen  $p_i$  bekend is, dan is met het bovenstaande duidelijk geworden dat ook schattingen van  $p_{rz}$  en  $p_{rd}$  noodzakelijk zijn om  $p_f$  te kunnen bepalen.

Ten behoeve van de veiligheidsbeschouwing is het noodzakelijk om niet alleen een verwachtingswaarde van de variabelen te kennen, maar ook een spreiding en verdelingsfunctie. Wat betreft de hydraulische randvoorwaarden is het van belang deze te kennen ter plaatse van de teen van de konstruktie. Vaak zal alleen statistische informatie beschikbaar zijn van het golfklimaat op diep water. Het vertalen van het diep water golfklimaat naar het klimaat bij de teen kan worden uitgevoerd met behulp van deterministische overdrachtsfuncties (zoals formules voor refractie, diffractie, shoaling, etc.) waaraan een stochastische koëfficiënt is toegevoegd, zodat ook de onzekerheid van de overdrachtsfunctie wordt ingekalkuleerd. Elke gebeurtenis

op diep water (golfrichting, golfhoogte, periode, waterstand) kan op deze manier vertaald worden naar een gebeurtenis op ondiep water. Alle gebeurtenissen tezamen leveren de benodigde statistische informatie over het golfklimaat bij de teen. Het (deels) afhankelijk zijn van bijvoorbeeld golfhoogte en waterstand maakt de procedure echter gekompliceerd. Deze problematiek is buiten het kader van deze studie gelaten.

De faalkansberekening is in dit verslag uitgevoerd op nivo II met de advanced mean value benadering. Deze benadering is gebaseerd op een linearisatie van de betrouwbaarheidsfunctie  $Z$  in een geselecteerd ontwerppunt. De betrouwbaarheidsfunctie is gedefinieerd als het verschil tussen sterkte en belasting:

$$Z = R - S$$

met:  $Z$  = betrouwbaarheidsfunctie

$R$  = sterkte (toelaatbare verschilddruk over een blok)

$S$  = belasting (optredende verschilddruk over een blok)

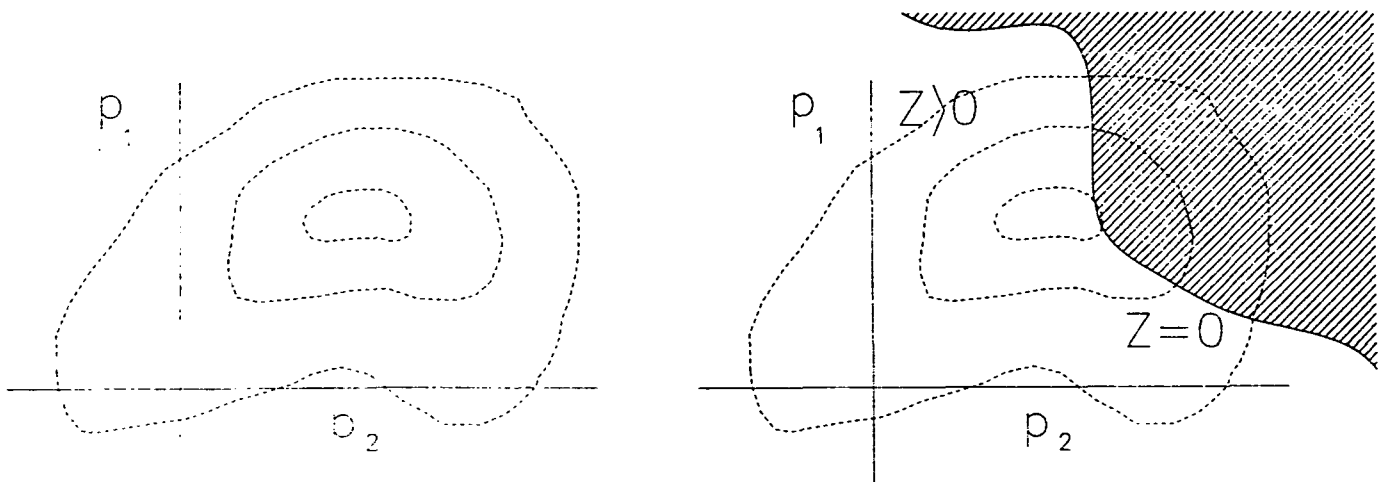
In het geselecteerde ontwerppunt geldt dat  $Z = 0$  en is de kansdichtheid maximaal. De wijze waarop dit ontwerppunt (numeriek) wordt bepaald, is beschreven in de volgende paragraaf.

Het ontwerpproces bestaat uit het doorlopen van het stroomschema van figuur BIV.1 en daarbij bijvoorbeeld steeds de blokdikte  $D$  aanpassen totdat de berekende faalkans van de zetting gelijk of kleiner is dan de akseptabele faalkans  $p_f$ . De berekende faalkans is ook afhankelijk van de berekeningsmethode (numeriek, analytisch, black box of modelproeven). Naarmate de methode geavanceerder is, zal de berekende faalkans kleiner zijn en de zetting dus al bij een kleinere blokdikte voldoende veilig zijn.

Voor die gevallen waarvoor partiële veiligheidscoëfficiënten zijn afgeleid, kunnen de faalkansberekeningen vervangen worden door een deterministische berekening met partiële veiligheidscoëfficiënten. Men kiest dan bijvoorbeeld de blokdikte zodanig dat  $R = S$ .

3. Faalkansberekening.

Een verschijnsel wordt beschreven als afhankelijk van een aantal stochastische parameters. Deze parameters hebben een simultane kansdichtheid  $f$ . Hiermee wordt de gecombineerde waarschijnlijkheid van parameters gemodelleerd. In het algemeen kunnen de stochastische parameters zeker gecorreleerd zijn. Een voorbeeld voor twee dimensies dat wil zeggen voor twee parameters,  $p_1$  en  $p_2$ , is hieronder gegeven.



Isolijnen van  $f(p_1, p_2)$ .      Isolijnen van  $f$  met faalgebied  $Z < 0$ .

Falen wordt gedefinieerd als het voorkomen van combinaties van parameters die in het faalgebied liggen. Het is nu vaak mogelijk en ook praktisch om een functie  $Z(p_1, p_2, \dots, p_n)$  te definiëren die dit faalgebied karakteriseert door  $Z < 0$ . De faalkans is de kans dat de parameters in het faalgebied  $Z < 0$  liggen:

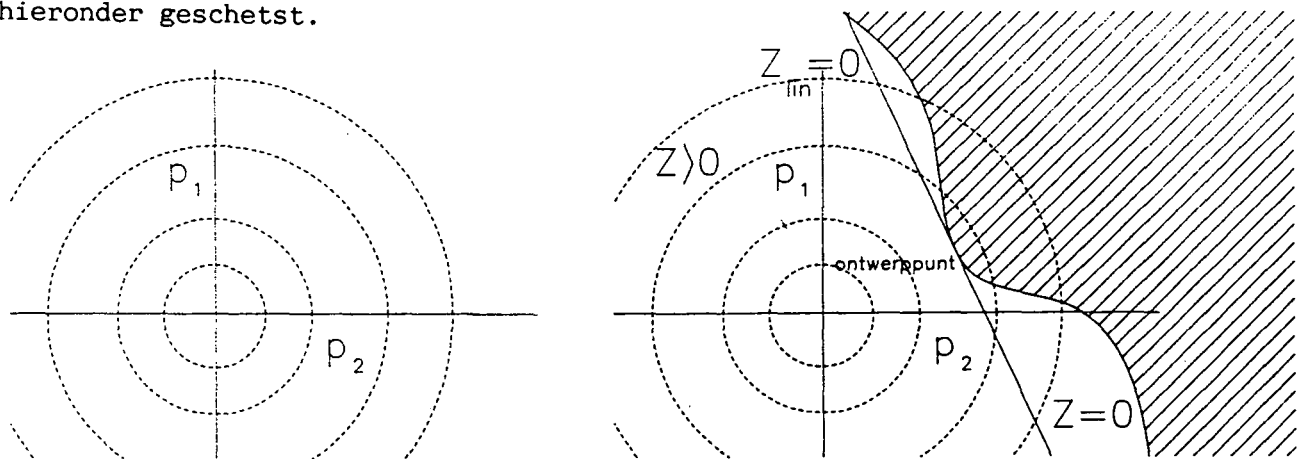
$$P(Z < 0) = \int_{Z < 0} f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_n) dp_1 dp_2 dp_3 \dots dp_n$$



Benadering van deze faalkans is nodig omdat de bovenstaande meerdimensionale integraal in het algemeen niet efficiënt uitgerekend kan worden. De benadering is tweeledig, in de eerste plaats door de stochastische parameters te transformeren tot standaardnormale stochastische parameters, in de tweede plaats door een lineaire benadering van  $Z$  te nemen. De verdeling van een lineaire benadering van  $Z$  is zo namelijk normaal. De faalkans is bijgevolg direct te geven.

De transformatie naar onafhankelijke standaardnormale parameters van onafhankelijke maar anders verdeelde parameters wordt door het gebruikte FORTRAN subroutine pakket FORM uitgevoerd. Gecorrleerde parameters kunnen door dit pakket in het geval van een normale verdeling getransformeerd worden naar onafhankelijke standaardnormale parameters.

Na de transformatie van de parameters zijn we in de situatie zoals hieronder geschetst.

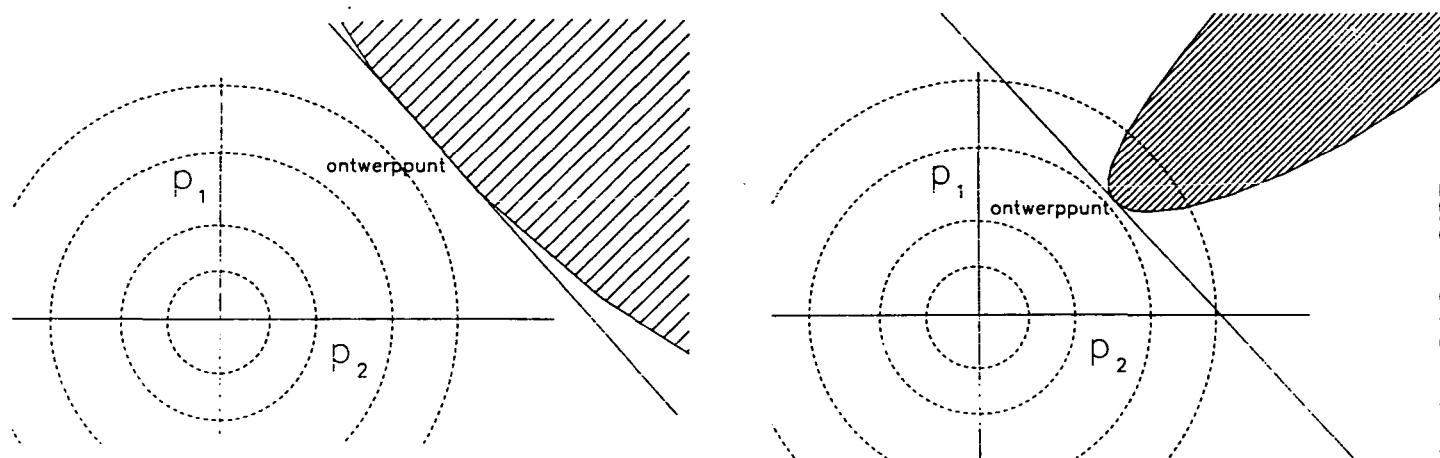


Verdeling na transformatie. Verdeling en faalgebied na transformatie

De hierboven geschetste lineaire benadering van de faalgrens voldoet aan de eis dat zij loopt door het zogenaamde ontwerppunt gedefinieerd als het punt op de faalgrens  $Z=0$  met maximale kansdichtheid en bovendien raakt aan de echte niet lineaire faalgrens. Dit is

karakteristiek voor de nivo II berekening met de advanced mean value benadering. Het FORM pakket bepaalt iteratief het ontwerp punt.

De kwaliteit van de benadering is vooral afhankelijk van de juistheid van de lineaire benadering van de faalgrens. Als deze sterk gekromd is kan het misschien beter zijn een kwadratische benadering te kiezen.

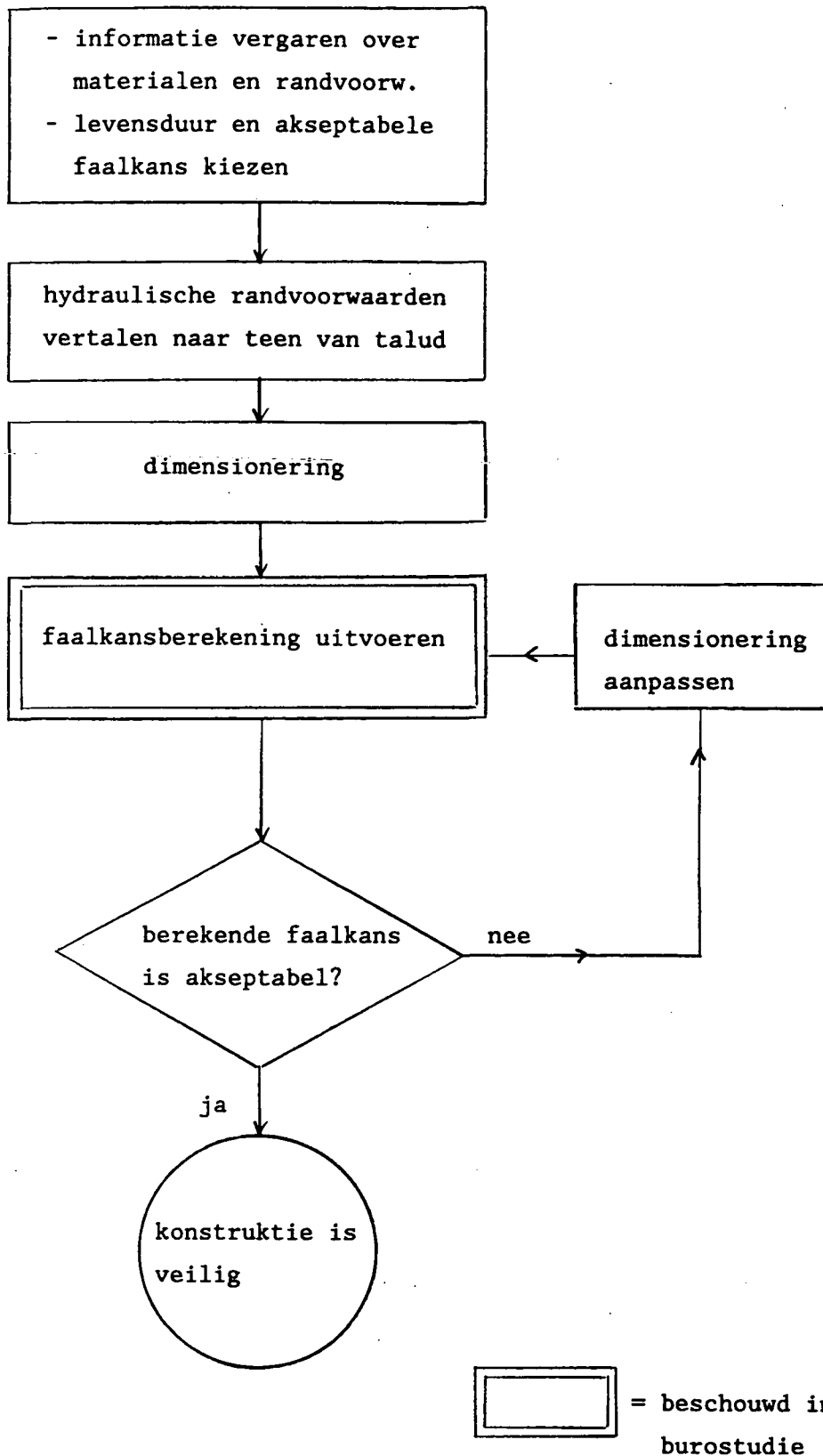


Goede lineaire benadering. Twijfelachtige lineaire benadering.

Jammergenoeg geeft het FORM-pakket geen directe indicatie hieromtrent. Wel is het zo dat de convergentiesnelheid afhankelijk is van de kromming van de faalgrens. Het kan voorkomen dat geen convergentie optreedt.

De praktische uitvoering van een faalkansberekening met het FORM-pakket bestaat uit het samenstellen van een FORTRAN programma waarin de parameters en hun verdelingen gespecificeerd worden, waarin de Z-functie als subroutine gedefinieerd wordt en waarin een aanroep van de hoofdroutine van het FORM-pakket de faalkans oplevert.

De berekening levert ook het ontwerp punt en de bijdrage aan de variantie van ieder van de parameters. Hierop kan vervolgens de bepaling van veiligheidsfactoren gebaseerd worden.



Figuur BIV.1, Ontwerpproces

|                              |   |            |
|------------------------------|---|------------|
| Ontwerpproces                |   |            |
|                              |   |            |
| WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | M | FIG. BIV.1 |

Stieltjesweg 2  
Postbus 69, 2600 AB Delft  
Telefoon 015-69 35 00  
Telex 38234 soil nl  
Telefax 015-61 08 21