

Taludbekledingen van gezette steen

grondmechanische stabiliteit in de golfzone; handleiding en samenvatting van onderzoeksresultaten

P. Meijers, H.J. van der Graaf en M.B. de Groot

SYNOPSIS

In deze band zijn twee rapporten gebundeld. Beide hebben betrekking op één van de mogelijke faalmechanismen van een taludbekleding onder golfbelasting: het afschuiven langs een vlak in de bekleding of langs een vlak in de grond dicht onder de bekleding. De golfbelasting heeft doorgaans een grote invloed op deze vorm van grondmechanische instabiliteit.

In de periode 1983-1990 zijn alle relevante aspecten van dit mechanisme onderzocht. De belangrijkste zijn: invloed sterkte en stijfheid van de bekleding, rol van teenconstructie en/of verankering aan de bovenkant, elastische berging, invloed van doorlatendheid van bekleding en ondergrond, verweking van zand, dynamica, ruimtelijke drukverdeling, vorm van het glijvlak. De eerste drie aspecten worden in de traditionele benaderingen genegeerd, maar blijken vaak van zeer groot belang.

Een en ander heeft geresulteerd in een handleiding voor de adviespraktijk, het eerste rapport in deze band. De basis daarvoor, de onderzoeksresultaten zelf, zijn samengevat in het tweede rapport. Deze band verschijnt in de serie "taludbekleding van gezette steen", maar is ook toepasbaar op vele andere soorten dijk- en oeverbekledingen.

Trefwoorden: taludbekledingen, golfbelasting van taluds, afschuiven taluds, verweking door cyclische belasting, elastische berging.

1.

Het verslag M1795/M1881 deel XXII bestaat uit drie banden, waarvan dit band A is.

KORTE INHOUDSOPGAVE

Band A: Grondmechanische stabiliteit in de golfzone

- sectie 1 "Handleiding beoordeling grondmechanische stabiliteit taludbekledingen onder golfaanval", P. Meijers, Grondmechanica Delft, CO-311480/6, april 1990
- sectie 2 "Samenvatting onderzoeksresultaten naar grondmechanische stabiliteit van taludbekledingen onder golfaanval", H.J. van der Graaf en M.B. de Groot, Grondmechanica Delft, CO-290730/14, februari 1991

Band B:Diverse aspecten van grondmechanische stabiliteit in de
golfzone

- Dynamica (de Groot, Sweet, Engering en Ernst)
- Afschuiven van taludbekledingen over de ondergrond (Meijers)
- De grondmechanische stabiliteit van steenzettingconstructies (Afschuivingen *in* de ondergrond; Hoogeveen)
- Invloed sterkte bekleding (Best)
- Drukverdeling op talud door windgolven (de Groot)
- Oriënterende berekeningen (Meijers)

Band C: Verweking van zand door golfaanval

- Verweking van zand onder steenzettingen (oriënterende studie; Lindenberg)
- Verslag experimenteel onderzoek in de Deltagoot (Lindenberg)
- Evaluatie-rapport van verweking van zand onder basalton zetting (Best, Pereboom, de Groot)

HANDLEIDING BEOORDELING GRONDMECHANISCHE STABILITEIT TALUDBEKLEDINGEN ONDER GOLFAANVAL

CO-311480/6 april 1990 (aanpassingen maart 1991) Mey/Abg/hand/10

•

•

Opgesteld in opdracht van: Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde Bouwspeurwerk

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES projectleider: ir. P. Meijers projectbegeleider: ir. A. Bezuijen afdelingshoofd: ir. P. Lubking bladnummer : - I ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

.

INHOUD	:	blz.:
Lijst	van symbolen	III
1.	INLEIDING	1
2.	BASISBEGRIPPEN EN REKENWAARDEN	3
2.1 2.1.1 2.1.2 2.1.3	Terminologie Potentiële glijvlakken Externe en interne belasting Lokale en totale stabiliteit	4
2.2 2.2.1	Schematisaties Schematisatie potentiële glijvlakken Dueroprefiel teludbokleding	5
2.2.2 2.2.3 2 2 4	Schematisatie externe belasting bij windgolven Schematisatie externe belasting bij een scheep-	7
2.2.4	vaartgolf	8
2.3	Basisvergelijking evenwicht voor afschuiving evenwijdig aan het talud	9
2.4 2.4.1	Rekenwaarden Volumiek gewicht toplaag	10
2.4.2	Wrijvingshoeken	11
2.4.3	Leklengte bekleding	13
2.4.4	Diepte glijvlak in zand bij elastische berging	14
3.	DIJKVERDEDIGING	15
3.1 3.1.1	Stortsteen op geotextiel op zand Algemeen	
3.1.2	Afschuiven langs rechte glijvlakken	16
3.1.3 3.1.4	Afschuiven als gevolg van een golfklap Invloed cyclische belasting	17
3.2 3.2.1	Steenzetting op granulair filter Algemeen	18
3.2.2	Afschuiven langs het grensvlak toplaag - granulair filter	10
3.2.3 3.2.4	AISCHUIVEN AIS GEVOIG VAN EEN GOITKIAP Cyclische belasting	19

•

•

bladnummer : - II ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3.3	Blokkenmat op geotextiel op zand	20
3 3 2	Afschuiven langs rechte gliivlakken	
2 2 2	Normaalkracht in de bekleding	21
3 3 4	Afschuiven als gevolg van een golfklan	22
2 2 5	Invloed evelische belasting	22
J.J.J	Invited Cyclische belasting	
3.4	Blokkenmat op granulair filter	23
3.4.1	Algemeen	
3.4.2	Afschuiven langs het grensvlak blokkenmat -	
	granulair filter	
3.4.3	Normaalkracht in de bekleding	24
3.4.4	Afschuiven als gevolg van een golfklap	
3.5	Steenzetting op geotextiel op zand	25
3.5.1	Algemeen	
3.5.2	Afschuiven langs rechte glijvlakken	
3.5.3	Afschuiven als gevolg van een golfklap	26
	APUEDUEDEDICINC	77
4.	Cheververbeberging	27
4.1	Stortsteen op geotextiel op zand	0.0
4.2.	Steenzetting op granulair filter	28
4.3	Blokkenmat op geotextiel op zand	30
4.4	Blokkenmat op een granulair filter	32
4.5	Steenzetting op geotextiel op zand	34

REFERENTIES

36

BIJLAGEN:

A	Formules	voor	de	bepaling	van	de	golfrandvoorwaarden
В	Formules	voor	de	bepaling	van	de	stabiliteit van
	dijkverde	edigin	nger	ı			

С	Formules	voor	de	bepaling	van	de	stabiliteit	van
	oeververdedigingen							

bladnummer : - III ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

LIJST VAN SYMBOLEN

.

ь С _А	::	dikte filterlaag ongedraineerde afhesieschuifsterkte	(m) (kN/m²)
°v	:	consolidatiecoëfficiënt	(m²/s)
C _u	:	ongedraineerde schuifsterkte	(kN/m^2)
C4	:	coëfficiënt schematisatie externe stijghoogte	(-)
D	:	dikte toplaag (in sectie 2: d _t)	(m)
d b	:	intern freatisch niveau minus externe stijghoogte	(m)
DL	:	dikte afschuivende laag (in sectie 2: D)	(m)
EA	:	verhouding tussen adhesie en cohesie	(-)
Fa	:	kracht op verankering	(kN/m´)
F _k	:	gesommeerde korreldruk ter plaatse van het	
Fm	:	potentiële glijvlak kracht in de koppeling	(kN/m [^]) (kN/m [^])
Ft	:	kracht op de teenconstructie	(kN/m´)
Fw	:	gemobiliseerde wrijvingskracht	(kN/m´)
G h _b	::	eigen gewicht bekleding brekerhoogte	(kN/m´) (m)
k k' K.P. L, L΄ n O.C.R. Δp	• • • • •	doorlatendheid filterlaag doorlatendheid toplaag kanaalpeil lengtemaat poriëngehalte overconsolidatie ratio wateroverspanning	(m/s) (m/s) (-) (m) (-) (-) (kN/m ²)
Rd	:	extreme stijghoogte daling (elders: d _s)	(m) **
s S.W.L. T W ₁	::	hoogte talud boven de stilwaterlijn stilwaterlijn golfperiode gesommeerde waterdruk op bovenkant van het talud	(m) (-) (sec) (kN/m´)
W ₂	:	gesommeerde waterdruk in het beschouwde potentiële	
- W ₃	:	glijvlak gesommeerde waterdruk tegen kopse zijde bekleding	(kN/m´)
w ₄	:	bovenaan gesommeerde waterdruk tegen kopse zijde bekleding	(kN/m´)
		onderaan	(kN/m´)

•

```
bladnummer : - IV -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

z,	:	diepte onderzijde bekleding onder stilwaterlijn	(m)
^z 2	:	internal set-up	(m)
α	:	taludhelling	(°)
β	:	brekerhoek	(°)
У _b	:	volumegewicht afschuivende laag	(kN/m³)
γ _c	:	volumegewicht beton	(kN/m³)
γ _s	:	volumegewicht stortsteen	(kN/m³)
y _t	:	volumegewicht toplaag	(kN/m³)
У _W	:	volumegewicht water	(kN/m³)
8	:	adhesie wrijvingshoek	(°)
Δ	:	leklengte A = √ (k b D/k')	(m)
λ	:	lekhoogte, $\lambda = \Lambda \sin \alpha$	(m)
ф	:	hoek van inwendige wrijving	(°)
^ф и	:	ongedraineerde wrijvingshoek	(°)
Δφ	:	potentiaalverschil	(m)
ຈ໌	:	effectieve normaalspanning	(kN/m^2)
σ	:	maximaal eerder opgetreden normaalspanning	(kN/m^2)

bladnummer : - 1 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

1. INLEIDING

Voor het bezwijken van gezette en losgestorte taludbekledingen onder golfaanval zijn er drie belangrijke bezwijkmechanismen:

- oplichten bekleding
- afschuiven bekleding
- interne erosie.

In deze handleiding wordt ingegaan op het tweede bezwijkmechanisme, namelijk het afschuiven van taludbekledingen. Het gaat hier alleen om oppervlakkige afschuivingen dus afschuiven van alleen de bekleding of van de bekleding met een klein deel van de ondergrond. Geen aandacht wordt besteed aan de macrostabiliteit van het talud.

De handleiding bestaat, afgezien van de inleiding, uit drie hoofdstukken.

In hoofdstuk 2 wordt een aantal basisbegrippen geïntroduceerd. Ook wordt hierin aandacht besteed aan de schematisatie van de belasting en de algemene formule voor een stabiele bekleding.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 en 4 voor een aantal constructievarianten aangegeven welke glijvlakken maatgevend kunnen zijn en wat gedaan kan worden om afschuiven te voorkomen. Hoofdstuk 3 heeft betrekking op dijkbekledingen en hoofdstuk 4 op oeververdedigingen. Hierbij is aangenomen dat dijkbekledingen alleen door windgolven en oeverbekledingen alleen door scheepvaartgolven worden belast. De beoordeling van de stabiliteit van oeververdedigingen die door windgolven worden belast gaat op dezelfde wijze als bij dijkverdedigingen. De tekst van hoofdstuk 3 is in die situatie van toepassing.

Er wordt hierbij niet ingegaan op de beschikbare berekeningsmethoden om te bepalen of een bekleding stabiel is. Wel wordt aangegeven waar deze berekeningsmethoden wel worden behandeld.

Aan de volgende aspecten wordt, in kwalitatieve zin, aandacht besteed:

- afschuiven langs een recht potentieel glijvlak
- optredende normaalkracht in de bekleding
- afschuiven ten gevolge van een golfklap
- invloed cyclische belasting op de wateroverspanning in het talud en de gevolgen hiervan voor de stabiliteit.

De handleiding zoals die nu tot stand is gekomen, vormt een samenvatting van de inzichten met betrekking tot grondmechanische stabiliteit zoals deze tot op heden in lopende (theoretische) onderzoeken zijn verworven. Deze onderzoeken hebben uitsluitend betrekking op de in de constructie optredende krachten.

Dit betekent, dat geen aandacht wordt besteed aan praktische aspecten als uitvoering, beheer en lange termijngedrag.

Bij het beoordelen van de stabiliteit speelt een veelheid aan variabelen een rol, terwijl er ook vele potentiële glijvlakken aanwezig zijn.

```
bladnummer : - 2 -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

Er is zo goed mogelijk getracht aan te geven welke belastingen en glijvlakken bij iedere constructievariant maatgevend kunnen zijn. Noodzakelijkerwijs is hierbij ook gebruik gemaakt van engineering judgement. Een gevolg hiervan is dat niet met zekerheid is uit te sluiten dat in bepaalde omstandigheden andere situaties maatgevend zijn. Het gebruik van deze handleiding dient dan ook met een kritische instelling plaats te vinden. bladnummer : - 3 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

2. BASISBEGRIPPEN EN REKENWAARDEN

2.1 <u>Terminologie</u>

2.1.1 Potentiële glijvlakken

Afschuiven van de taludbekleding kan in principe langs een veelheid van mogelijke glijvlakken geschieden. In figuur 2.1 is een aantal mogelijkheden getekend.



Figuur 2.1. Voorbeelden van mogelijke glijvlakken

Zoals al in de inleiding is vermeld, valt de macrostabiliteit van het talud buiten het kader van deze handleiding. Deze handleiding beperkt zich tot lokale verschijnselen, geïnduceerd door de hydraulische randvoorwaarden. bladnummer : - 4 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

2.1.2 Externe en interne belasting

Onder de externe belasting of stijghoogte wordt de waterdruk of stijghoogte op het taludoppervlak verstaan. Door de golfbelasting varieert deze in plaats en tijd. Vooral bij een windgolf is het verloop erg grillig.

Om berekeningen mogelijk te maken wordt deze belasting voor de maatgevend geachte momenten van de golfcyclus geschematiseerd (zie hiervoor paragraaf 2.2).

Onder de interne belasting of stijghoogte wordt de waterdruk of stijghoogte in het potentiële glijvlak verstaan. Deze belasting wordt mede bepaald door de externe belasting.

De waterdruk direct onder de toplaag wordt vaak sterk bepaald door de verhouding van de doorlatendheid van de toplaag loodrecht op het talud en de doorlatendheid van de lagen eronder evenwijdig aan het talud. Dit wordt uitgedrukt in de zogenaamde leklengte of lekhoogte. Bij een zeer doorlatende toplaag is de leklengte klein en bij een slecht doorlatende toplaag groot (het begrip leklengte wordt verder uitgewerkt in paragraaf 4.2 van [1]).

Bij glijvlakken die op enige afstand onder de toplaag liggen wordt de interne stijghoogte niet alleen of helemaal niet door de externe belasting bepaald. Dit wordt veroorzaakt door elastische berging in het grondwater. Als het poriënwater veel lucht bevat (dit zal in de golfzone meestal het geval zijn) zal de interne stijghoogte gedempt reageren op de externe stijghoogte. Op enige diepte onder de bekleding zal de waterdruk constant zijn en niet meer variëren tijdens de golfbelasting. Zie paragraaf 2.4.4.

Als een talud wordt belast door windgolven treden twee effecten op die de interne stijghoogte beïnvloeden.

Direct onder de toplaag zal de interne waterstand hoger zijn dan overeenkomt met de grondwaterstand. Dit effect wordt internal set-up genoemd.

Verder ontstaat er door de periodieke belasting van het talud in zandgrond een gebied met wateroverspanning (cyclische waterspanningsgeneratie). Dit levert een extra bijdrage aan de interne belasting. Bij dichtgepakt zand zal deze bijdrage verwaarloosbaar zijn.

2.1.3 Lokale en totale stabiliteit

In deze handleiding wordt onderscheid gemaakt tussen lokale en totale stabiliteit.

De term "lokale stabiliteit" heeft betrekking op de stabiliteit van een klein gedeelte van de bekleding. Er wordt onder verstaan dat bij dit deel in het potentiële glijvlak zoveel wrijvingsweerstand kan worden ontwikkeld dat het niet zal afschuiven. Een lokaal stabiel gedeelte ontleent zijn stabiliteit dus niet aan steun van aanliggende gedeelten. bladnummer : - 5 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

De term "totale stabiliteit" heeft betrekking op de stabiliteit van de bekleding als geheel. Bij een totaal stabiele bekleding kunnen dus delen van de bekleding lokaal instabiel zijn, mits daarbij afschuiven wordt verhinderd door reserve in de lokaal stabiele gedeelten. Bij een steenzetting zijn dit de stabiele gedeelten die lager liggen dan het instabiele gedeelte. Bij een flexibele mat moet deze weerstand worden geleverd door de hoger op het talud gelegen stabiele gedeelten. Als de mat zodanig is geconstrueerd dat deze drukkrachten evenwijdig aan het talud kan opnemen, dan kan ook de reserve in de lager gelegen gedeelten van de bekleding worden gemobiliseerd.

2.2 <u>Schematisaties</u>

2.2.1 Schematisatie potentiële glijvlakken

Voor het bepalen van de stabiliteit worden de potentiële glijvlakken geschematiseerd tot een aantal rechte glijvlakken evenwijdig aan het talud.

Afhankelijk van de constructie zijn de mogelijke glijvlakken:

- tussen toplaag en het granulair filter of geotextiel
- tussen granulair filter of geotextiel en de ondergrond
 in de ondergrond.

Bij afschuiving ten gevolge van een golfklap wordt uitgegaan van een gekromd glijvlak.

2.2.2 Dwarsprofiel taludbekleding

In figuur 2.2 is een doorsnede over een taludbekleding gegeven en worden de diverse onderdelen benoemd. Het potentiële glijvlak is hier in de ondergrond getekend maar kan ook elders liggen.

bladnummer : - 6 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991



Figuur 2.2. Doorsnede taludbekleding

In deze figuur is de betekenis van de symbolen:

^z 2	:	internal set-up
s	:	hoogte bovenwatertalud
z,	:	hoogte onderwatertalud
D	:	dikte toplaag (in sectie 2 wordt het symbool d, gebruikt)
Ъ	:	dikte filterlaag (indien aanwezig)
DL	:	dikte afschuivende laag (in sectie 2 wordt het symbool D
S.W.L.	:	stilwaterlijn gebruikt)
α		
-	•	caracherttik'

Onder internal set-up wordt verstaan het verschijnsel dat er bij golfaanval een verhoging van de grondwaterstand direct achter de bekleding plaatsvindt.

In plaats van een granulair filter kan er ook een geotextiel aanwezig zijn.

In de figuur is een eventuele teenconstructie onderaan de toplaag of verankering (bij een blokkenmat) bovenaan de toplaag niet aangegeven. bladnummer : - 7 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

2.2.3 Schematisatie externe belasting bij windgolven (zie bijlage A)

Bij een windgolf verandert de belastingsituatie op ieder moment. Twee momenten tijdens een golfcyclus kunnen worden aangemerkt als mogelijk maatgevend. Dit zijn het moment vlak voor breken en het moment waarop de externe stijghoogte aan de teen minimaal is. In de figuren 2.3 en 2.4 zijn de geschematiseerde belastingsituaties (externe stijghoogten) voor deze momenten getekend.



Figuur 2.3. Schematisatie externe stijghoogte op moment vlak voor breken golf



Figuur 2.4. Schematisatie externe stijghoogte op het moment minimum stijghoogte aan de teen

R_d wordt hier gebruikt voor de extreme *stijghoogte*daling en wordt ten ontechte ook wel "run-down" genoemd. Bij de echte "run-down" gaat het om de extreme waterspiegeldaling. Die is soms niet meer dan de helft van de extreme stijghoogtedaling. Om verwarring te voorkomen wordt elders veelal het symbool d_s gebruikt voor de stijghoogtedaling. bladnummer : - 8 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Bij een golfklap wordt de externe belasting geschematiseerd tot een strokenbelasting. Hierop wordt verder niet ingegaan.





Van de interne belasting is alleen het niveau van het freatisch vlak getekend. Dit vlak kan hoger liggen dan de stilwaterlijn. Dit wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld internal set-up. Het verdere verloop van de waterdruk langs het potentiële glijvlak wordt impliciet verwerkt in de stabiliteitsformules. Dat verloop zal meestal niet hydrostatisch zijn!

2.2.4 Schematisatie externe belasting bij een scheepvaartgolf

Bij een scheepvaartgolf wordt alleen het moment waarop de waterspiegeldaling maximaal is als maatgevend aangemerkt. In figuur 2.6 is de schematisatie van de externe stijghoogte voor dit moment weergegeven.



Figuur 2.6. Schematisatie maatgevende externe stijghoogte bij een scheepvaartgolf

bladnummer : - 9 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

2.3 <u>Basisvergelijking evenwicht voor afschuiving evenwijdig aan het</u> <u>talud</u>

In figuur 2.7 zijn alle op de bekleding werkende krachten getekend.



Figuur 2.7. Krachten op taludbekleding

In deze figuur is:

:	eigen gewicht bekleding
:	gesommeerde waterdruk op de bovenkant van het talud
:	gesommeerde waterdruk in het beschouwde potentiële glijvlak
:	gesommeerde waterdruk tegen kopse zijde bekleding bovenaan
:	gesommeerde waterdruk tegen kopse zijde bekleding onderaan \mathbb{W}^{\ast}
:	gesommeerde korreldruk ter plaatse van het potentiële glij-
	vlak ($F_k = G \cos \alpha + W_1 - W_2$)
:	gemobiliseerde wrijvingskracht
:	kracht op verankering (indien aanwezig)
:	kracht op teenconstructie (indien aanwezig)
:	taludhelling wrijvingshoek in beschouwd glijvlak.
	:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

De evenwichtsvergelijkingen in de richting evenwijdig aan en loodrecht op het talud laten zich nu eenvoudig afleiden. De maximaal te mobiliseren wrijvingskracht is:

 $F_w = F_k \tan \delta$

- - - - ----

```
bladnummer : - 10 -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

Invullen van de evenwichtsvergelijkingen in deze uitdrukking geeft als algemene uitdrukking voor een stabiele bekleding:

$$F_t + F_a = G \sin \alpha (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + (W_3 - W_4) + (W_2 - W_1) \tan \delta$$

Dezelfde vergelijking geldt voor ieder willekeurig deel van de bekleding. Als geldt $F_t + F_a < 0$ is (het beschouwde deel van) de bekleding totaal stabiel.

In het voorgaande is gewerkt met het werkelijk gewicht van de bekleding en de werkelijke waterdrukken op de bekleding. Dit is gedaan omdat bij een taludbekleding de stijghoogte niet overal gelijk is, maar sterk varieert van plaats tot plaats. Hierdoor is het riskant om met het "onderwatergewicht" te rekenen.

2.4 <u>Rekenwaarden</u>

In deze paragraaf worden een aantal richtwaarden gegeven voor: het volume-gewicht van de toplaag, de wrijvingshoek tussen verschillende materialen, de leklengte en de diepte van het glijvlak in zand bij elastische berging. Hiervan kan gebruik worden gemaakt als voor een specifieke constructie hiervan verder niets bekend is.

2.4.1 Volume-gewicht toplaag

Als de toplaag uit dichte betonblokken bestaat kan worden gerekend met: $y_{+} = y_{c} = 23 \text{ kN/m}^3$.

Als de toplaag uit open betonblokken of uit betonzuilen bestaat is er verschil in het volume-gewicht van de toplaag boven en onder het punt van maximale golfoploop. Onder dit punt wordt aangenomen dat de open ruimten tussen de blokken vol staan met water. Hier is:

$$y_{+} = (1 - n) y_{c} + n \cdot y_{w}$$

Boven dit punt staat er geen water in de poriën en geldt er:

$$y_{t} = (1 - n) y_{c}$$

Voor een bekleding uit stortsteen geldt voor het volume-gewicht onder het punt van maximale golfoploop:

$$y_{t} = (1 - n) y_{s} + n \cdot y_{w}$$

Boven dit punt geldt: $\gamma_t = (1 - n) \gamma_s$ bladnummer : - 11 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

In de voorgaande formules is:

n	:	percentage open ruimten
^у с	:	soortelijk gewicht beton (y _c = 23 kN/m³)
γ _s	:	soortelijk gewicht stortsteen (bijvoorbeeld $\gamma_s = 16 \text{ kN/m}^3$)
γ _w	:	soortelijk gewicht water (y _w = 10 kN/m³)
^y t	:	volume-gewicht toplaag.

Voor losgestort materiaal kan worden genomen n = 0, 4.

Als wordt gerekend met een glijvlak dat direct onder de toplaag ligt, geldt voor het volumegewicht van de afschuivende laag $y_b = y_t$. Anders moet voor y_b het gewogen gemiddelde van de verschillende volumegewichten boven het potentiële glijvlak worden genomen.

2.4.2 Wrijvingshoeken

In hoofdstuk 5 van [1] wordt een aantal richtwaarden voor de schuifsterkte gegeven. Voor zand wordt als richtlijn een verband tussen de inwendige wrijvingshoek ϕ en de relatieve dichtheid van het zand D r gegeven.

Dr	=	30%	¢.	≤	33°
D _r	=	50%	ф	≤	37°
D	=	70%	ф	≦	40°

Bij klei kan van de volgende relatie gebruik worden gemaakt:

$$\tan \phi_{u} = \frac{C_{u}}{\sigma_{v}} = (0,23 \pm 0,04) \cdot \text{OCR}^{0,8}.$$

Hierin is:

с _ц	: ongedraineerde schuifsterkte	
ຈ໌	: effectieve normaalspanning	
OCR	: overconsolidatie ratio: OCR = $\sigma_{vo}^{\prime}/\sigma_{v}^{\prime}$	
ຈົ້ນວ	: maximaal eerder opgetreden σ_v (consolidatiespanning).	•

Voor σ'_v moet de effectieve normaalspanning in het beschouwde glijvlak worden genomen. Als schatting voor de waarde van σ'_{vo} kan de gemiddelde effectieve verticale spanning zoals deze voor ontgraven in

bladnummer : - 12 ons kenmerk: CO-311480/6 : april 1990/maart 1991 datum de klei aanwezig was worden genomen. Hiermee is de OCR en dus tan ϕ_{ii} te bepalen. Voorbeeld: De klei wordt gewonnen in een kleiput op een gemiddelde diepte van maaiveld - 5 m. Als wordt aangenomen dat de klei in de kleiput normaal geconsolideerd is (dat wil zeggen de klei heeft niet eerder een hogere boven belasting gehad) en een volumegewicht heeft van 16 kN/m^2 is: $\sigma'_{\rm NO} = 5. \pm 16-10$ = 30 kN/m². In het talud gebracht verandert de effectieve normaalspanning. Onder een betonnen bekleding van 0,20 m dik op een talud 1 : 4 is deze waarde in de golfzone: $\sigma_{\rm r} = 0,2$. (24-10). $\cos \alpha = 2,7$ kN/m² Hiermee wordt OCR = 11. De onder- en bovengrens voor $tan \Phi_{11}$ zijn hiermee respectievelijk 1,29 en 1,83. De onder- en bovengrens voor C_{ii} zijn respectievelijk 3,5 kN/m² en 4,9 kN/m^2 . De wrijvingscoëfficiënt tussen geotextiel en zand hangt af van de ruwheid van het geotextiel en de wrijvingshoek van het zand. In de volgende tabel staan voor verschillende situaties de wrijvingscoëfficiënten uitgedrukt in de ratio $E_a = \tan \delta/\tan \phi$). geotextiel Ea

non-woven 0,9 geweven, ruw oppervlak 0,9 geweven, glad oppervlak 0,6

Voor de adhesie tussen beton en geotextiel kan worden gerekend met tan $\delta = 0,3$ bij glad beton op glad geotextiel en tan $\delta = 0,6$ bij ruw beton op een ruw geotextiel. Voor de adhesie tussen beton en zand, grind of iets dergelijks kan worden gerekend met $E_a = 2/3$.

bladnummer : - 13 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Indien de ondergrond uit klei bestaat, is de ongedraineerde adhesieschuifsterkte C bij snelle belastingveranderingen, zoals hier, in dezelfde orde van grootte als de ongedraineerde schuifsterkte C van klei.

2.4.3 Leklengte bekleding

De leklengte of lekhoogte is een maat voor de ondoorlatendheid van de toplaag. Deze is afhankelijk van de volgende factoren:

- breedte spleten
- afmetingen elementen toplaag
- doorlatendheid filtermateriaal
- dikte filter.

De leklengte is gedefinieerd als de lengte van de bekleding waarvan de doorlaatbaarheid van de toplaag even groot is als die van het overeenkomstige stuk filterlaag. In formulevorm is dit:

.....

• 2 •

- leklengte: $\Lambda = \sqrt{(k \ b \ D/k')}$ - lekhoogte: $\lambda = \Lambda.sin\alpha$.

Hierin is:

α : taludhelling
b : dikte filterlaag
D : dikte toplaag
k₁ : doorlatendheid filterlaag
k : doorlatendheid toplaag.

Voor iedere bekleding zal de leklengte anders zijn. De waarden in de volgende tabel dienen alleen als ruwe indicatie. Deze waarden zijn berekend voor de proeven in het Hartelkanaal.

constructie	lekhoogte λ (m)
Haringmanblokken op mijnsteen	1
betontegels op fijn grind	0,2
betonzuilen op middelgrof grind	0,2

bladnummer : - 14 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

2.4.4 Diepte glijvlak in zand bij elastische berging

Als de ondergrond uit zand (of silt) bestaat, volgt de stijghoogte in het zand de stijghoogte wijziging tengevolge van de golfbelasting in beperkte mate. De stijghoogte wijziging die op het grensvlak bekleding/zand ontstaat, dempt uit met de diepte. In sectie 2, paragraaf 6.3.5 is de volgende karakteristieke lengte voor die uitdemping gegeven:

$$\sqrt{T_E c_v}$$
 of $\sqrt{T_E c_v}/\pi$

Hierin is:

T_E: karakteristieke peiode van de externe belasting; bij windgolven kan hiervoor de golfperiode (piekperiode) genomen worden; voor scheepvaartgolven de tijdsperiode van de waterspiegeldaling bij de frontgolf gedeeld door π of door 2. c_v: consolidatie coëfficiënt c_v k_z.K_w/(n.y_w) k_z: doorlatendheid zand K_w: stijfheid poriënwater; K_w ≈ 100 kN/m²/luchtgehalte

 \approx 2000 kN/m² (luchtgehalte = 5%)

In paragraaf 6.4.4 van sectie 2 wordt de relevantie van elastische berging besproken. In bijlage II (paragraaf II-2; de gevallen met $K_{W} \ll K + \frac{4}{3} G$) worden enige voorbeelden gegeven van de stijghoogteverdeling in de zand ondergrond.

In Bezuijen e.a. 1990 (deel XXIV uit deze serie) is aangetoond dat deze verdeling als volgt kan worden benaderd: op een diepte groter dan 0,5 $\sqrt{(\pi T_E c_v)}$ onder de grens bekleding/zand verandert de stijghoogte niet; daar tussen verloopt hij lineair. Tijdens de golfhoogte daalt de stijghoogte t.p.v. de grens bekleding/zand en heerst daaronder dus een overdruk.

De ligging van het potentiële glijvlak kan nu genomen worden op die diepte van 0,5 $\sqrt{(\pi T_F c_v)}$ onder de grens bekleding/zand. Dus:

 D_{I} (elastische berging) = D + b + 0,5 $\sqrt{(\pi T_{E}c_{v})}$

bladnummer : - 15 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3. DIJKVERDEDIGING

3.1 <u>Stortsteen op geotextiel op zand</u>

3.1.1 Algemeen

Deze paragraaf heeft betrekking op losse stortsteen. Stortsteen kan ook worden aangebracht in de vorm van gabions. Onder voorwaarden kunnen gabions trekkrachten opnemen, zodat ze qua berekening gelijk zijn te stellen met een doorlatende mat.

Bij stortsteen zijn er de volgende potentiële glijvlakken:

- afschuiven van de toplaag over het geotextiel
- afschuiven van toplaag en geotextiel samen over de ondergrond: in deze situatie kan het geotextiel krachten naar hoger gelegen delen van de bekleding overdragen. Dit glijvlak zal daarom niet maatgevend zijn als de wrijvingshoek tussen geotextiel en ondergrond minstens even groot is als die tussen stortsteen en geotextiel
- afschuiven langs een glijvlak in de ondergrond
- afschuiven langs een min of meer cirkelvormig glijvlak als gevolg van een golfklap.

In figuur 3.1. zijn de vier potentiële glijvlakken geschetst.



Figuur 3.1. Potentiële glijvlakken bekleding

bladnummer : - 16 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Vanwege de grote doorlatendheid van stortsteen kan voor de eerste twee glijvlakken worden aangenomen dat de interne stijghoogte de externe stijghoogte vrijwel volgt.

De waterdruk in de ondergrond wordt bepaald door de volgende componenten:

- externe waterdruk
- elastische berging in het grondwater: als het poriënwater in de golfzone veel lucht bevat zal de interne waterdruk gedempt reageren op de externe waterdruk; op geringe diepte onder de zetting zal de waterdruk al constant blijven
- cyclische belasting: door de periodieke drukvariaties op het talud kan er een zone ontstaan met wateroverspanningen.
- 3.1.2 Afschuiven langs rechte glijvlakken

Door de vorm van de stortsteen zal de toplaag weinig krachten evenwijdig aan het talud kunnen opnemen. Dit betekent dat praktisch gesproken voldaan moet worden aan de eis voor lokale stabiliteit. Voor het glijvlak toplaag-geotextiel luidt deze eis:

$$\tan \delta > \frac{\gamma_b}{\gamma_b - \gamma_w} \tan \alpha$$

Bij deze eis speelt het moment van de belasting geen rol.

Als de dikte van de toplaag niet verwaarloosbaar is ten opzichte van de taludlengte en als de teen van de toplaag rust op de kanaalbodem of een teenconstructie kan een normaalkracht in de bekleding de stabiliteit wel verhogen. Dit kan in rekening worden gebracht door glijvlakberekeningen uit te voeren. De vorm van het glijvlak zal, gezien de lage waarde van de wrijvingshoek langs het geotextiel, niet zuiver cirkelvormig zijn.

De formules waarmee de stabiliteit tegen afschuiven voor de overige twee rechte glijvlakken kan worden beoordeeld, staan vermeld in bijlage B, paragraaf 3.

Voor het glijvlak in de ondergrond moet hierbij de invloed van de cyclische belasting worden opgeteld. De methode waarop dit kan staat beschreven in paragraaf 3.1.4.

Een talud van 1 : 5 zal in de regel niet afschuiven, tenzij een extreem glad geotextiel wordt toegepast ($\delta < 22^{\circ}$). Als een ruwer geotextiel (hogere wrijvingscoëfficiënt) wordt toegepast, kan het talud steiler worden opgezet. In de regel zal het echter niet mogelijk zijn om een talud steiler dan 1 : 3 te maken. bladnummer : - 17 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Voor het glijvlak toplaag - geotextiel heeft de dikte van de toplaag geen invloed op de stabiliteit. Bij de andere glijvlakken is een dikkere toplaag wel gunstig.

Zolang de taludhelling kleiner is dan de wrijvingshoek is het gebruik van stortsteen met een hoog volumegewicht gunstig. In de praktijk is de variatie in volumegewicht van stortsteen gering. Het kiezen van zwaardere stortsteen is daarom meestal niet voldoende om een instabiele bekleding stabiel te maken.

3.1.3 Afschuiven als gevolg van een golfklap

Het oppervlak van een bekleding uit stortsteen heeft een onregelmatige vorm. Hierdoor zal de belasting als gevolg van een golfklap gering zijn.

3.1.4 Invloed cyclische belasting

Door cyclische belasting kan in de ondergrond een gebied met wateroverspanningen ontstaan. De grootte van deze wateroverspanning is een functie van de diepte onder het talud. Door deze wateroverspanningen zal in het beschouwde glijvlak het verschil tussen de interne en de externe waterdruk toenemen ten opzichte van de situatie dat er geen rekening wordt gehouden met cyclische belasting. Dit heeft tot gevolg dat de maximaal te mobiliseren wrijvingskracht in het potentiële glijvlak afneemt, waardoor de kracht die de teenconstructie en/of de verankeringen moeten leveren, toeneemt.

Als de grootte van de wateroverspanning door cyclische belasting geschreven wordt als Δp_0 is de toename van de kracht op teenconstructie en/of verankering (zie [2]):

1

 $\Delta (F_t + F_a) = \Delta p_o \frac{0.7 \text{ H}}{\sin \alpha} \cdot \tan \delta.$

Bij de constructie stortsteen op geotextiel op zand wordt verondersteld dat zich in het vlak toplaag-geotextiel geen wateroverspanning opbouwt. De manier waarop de wateroverdruk als gevolg van cyclische belasting wordt bepaald, staat beschreven in hoofdstuk 7 van [1]. bladnummer : - 18 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3.2 <u>Steenzetting op granulair filter</u>

3.2.1 Algemeen

Bij deze constructie zijn er voor het afschuiven twee potentiële glijvlakken:

- afschuiven van de bekleding over het grensvlak toplaag granulair filter
- afschuiven langs een min of meer cirkelvormig glijvlak onder invloed van een golfklap.

Afschuiven langs het vlak granulair filter - ondergrond of langs een vlak in de ondergrond zal in de regel niet maatgevend zijn. Dit is een gevolg van de grotere wrijvingscoëfficiënt en het hogere gewicht van de afschuivende laag die daar in rekening kan worden gebracht. Verificatie van de kans op een glijvlak in de ondergrond is bij een vrij dunne filterlaag niettemin aan te bevelen. Daarvoor kan men de formules (B.7) en (B.8) uit bijlage B gebruiken. Een conservatiever resultaat, gebaseerd op de eis van gedeeltelijke lokale stabiliteit, is te vinden met de formules of grafieken van paragraaf 9.2 van CUR/TAW Commissie C74 (1990).

3.2.2 Afschuiven langs het grensvlak toplaag - granulair filter

De formules waarmee de stabiliteit globaal beoordeeld kan worden staan in bijlage B, paragraaf 1.

Er is een aantal gevallen aan te geven, waarbij de bekleding in de regel stabiel zal zijn en een berekening dus achterwege kan blijven. Hieraan wordt eerst enige aandacht besteed.

Als de taludhelling flauwer is dan 1 : 6 is de bekleding in de regel stabiel. Bij een steil opgezet talud (1 : 2 of steiler) is het meestal niet mogelijk om zonder een goede teenconstructie een stabiele bekleding te krijgen. De kracht op de teenconstructie is in de orde van grootte van $y_w H_s^2$.

Voor andere taludhellingen is niet eenduidig aan te geven of deze wel of niet stabiel zijn. Kwantificering kan plaatsvinden met behulp van de betreffende formules.

Als de ruwheid aan de onderzijde van de betonblokken wordt vergroot zal de stabiliteit ook toenemen. Globaal kan worden gesteld dat de bekleding stabiel is als tan $\delta > 2,5$ tan α . Een stevige teenconstructie is altijd onmisbaar als de wrijvingshoek kleiner is dan de taludhelling.

Een doorlatende toplaag is gunstig voor de stabiliteit. Als de toplaag minder doorlatend wordt zal zich hieronder een grotere overdruk opbouwen, waardoor het gevaar voor instabiliteit toeneemt. Bij een slecht doorlatende bekleding is een slecht doorlatende teenconstructie extra gevaarlijk. Als de teen zich meer dan twee maal de leklengte onder het bladnummer : - 19 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

stilwater-niveau bevindt, is de doorlatendheid van de teenconstructie niet meer van belang. Een diep liggende teen van de taludbekleding is meestal gunstig voor de stabiliteit. In dat geval kan het instabiele gedeelte in de golfzone steunen op de dieper liggende stabiele gedeelten (dit geldt alleen als het dieper liggende gedeelte inderdaad stabiel is dus als de aanwezige wrijvingshoek groter is dan de taludhelling). Bij een extreem grote lengte van het onderwatertalud (orde $z_{h} = 10 H_{s}$)

kan worden aangneomen, dat de bekleding stabiel is. Deze waarde wordt minder naarmate de toplaag meer doorlatend wordt. De stabiliteit neemt ook toe als de toplaag zwaarder wordt. Dit kan door de toplaag dikker te maken en/of het volumegewicht van de toplaag te vergroten.

3.2.3 Afschuiven als gevolg van een golfklap

Kwantificering van afschuiving onder invloed van een golfklap is nog niet goed mogelijk. Wel is bekend dat de volgende aspecten gunstig zijn voor het vermogen van een constructie om golfklappen op te nemen:

- kleine taludhelling
- dikke toplaag
- - grote normaalkracht in de bekleding (goede klemming van de blokken)
 - goed verdichte ondergrond.

De aanwezigheid van een incidenteel los blok kan geen kwaad. De inklemming moet ook aanwezig zijn bij horizontale overgangen (opsluitbanden) als die zich in de golfzone bevinden. De inklemkrachten zijn dicht onder de bovenzijde van de zetting beperkt. Het verdient daarom aanbeveling om de bekleding uit te strekken tot 1 à 2 maal de significante golfhoogte boven de hoogste waterstand.

In de praktijk is nog nooit expliciet geconstateerd dat een bekleding als gevolg van een golfklap is bezweken. Het is echter niet onmogelijk dat het bij een aantal schadegevallen wel een rol heeft gespeeld.

3.2.4 Cyclische belasting

Door de aanwezigheid van een granulair filter onder de bekleding zijn de wateroverspanningen als gevolg van cyclische belasting beperkt. In het grensvlak toplaag - granulair filter is er zelfs in het geheel geen sprake van extra wateroverspanning.

bladnummer : - 20 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3.3 <u>Blokkenmat op geotextiel op zand</u>

3.3.1 Algemeen

Voor deze constructie zijn er vier potentiële afschuifvlakken:

- afschuiven over het geotextiel; afschuiven langs dit vlak kan alleen optreden als de mat los op het geotextiel ligt
- afschuiven van het geotextiel over het zand; de wrijvingshoek tussen geotextiel en zand is in de regel hoger dan tussen beton en geotextiel; de waterdruk kan in dit vlak echter ook hoger zijn
- afschuiven over een vlak in de ondergrond; in dit vlak zal in de regel zowel de wrijvingshoek als de waterdruk groter zijn dan in het vlak geotextiel - ondergrond
- afschuiven langs een min of meer cirkelvormig glijvlak als gevolg van een golfklap.

Voor de waterdruk in de ondergrond en de wijze waarop de wateroverspanning door cyclische belasting in rekening kan worden gebracht wordt naar paragraaf 3.5.1 verwezen.

3.3.2 Afschuiven langs rechte glijvlakken

De formules waarmee beoordeeld kan worden of afschuiven langs dit vlak zal optreden staan vermeld in bijlage B, paragraaf 2 en 3. Als de blokkenmat alleen trekkrachten kan opnemen moet gebruik worden gemaakt van bijlage B, paragraaf 3. Een gunstiger situatie treedt op als de bekleding zodanig is ontworpen dat deze ook drukkrachten kan opnemen. In dat geval kunnen de formules van bijlage B, paragraaf 2 worden gebruikt. Een methode om een blokkenmat in staat te stellen drukkrachten op te nemen is om deze in te wassen. Hierbij zal ook de stijfheid van de mat toenemen waardoor deze in theorie minder goed in staat is om vervormingen van de ondergrond te volgen. Dit wordt echter niet onoverkomelijk geacht. Schadegevallen door deze oorzaak zijn niet bekend.

Bij een taludhelling flauwer dan 1 : 5 en een niet te grote teen diepte is de bekleding in de regel stabiel. Bij een taludhelling 1 : 2 is een verankering of een teenconstructie onmisbaar om de stabiliteit te verzekeren.

De orde van grootte van de kracht op de verankering is $y_{\mu}H_{c}^{2}$.

Als de mat ver genoeg boven de stilwaterlijn wordt doorgetrokken kan deze als verankering dienen, mits de wrijvingshoek tussen geotextiel en ondergrond groter is dan de taludhelling. De benodigde lengte is vaak zodanig dat dit een oneconomische manier is om een bekleding stabiel te maken. bladnummer : - 21 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

De stabiliteit kan ook worden vergroot door de toplaag zwaarder te maken, dus door een dikkere steen en een hoger volumegewicht toe te passen. Bij kleine steendikten bestaat het gevaar dat de contactdruk tussen bekleding en ondergrond verdwijnt. Dit treedt op als de blokdikte kleiner is dan 0,25 H a 0,5 H (afhankelijk van de taludhelling). In deze situatie moet de langscomponent van het gewicht van de mat onder de stilwaterlijn worden opgenomen door de teenconstructie (als de mat drukkrachten kan opnemen), de verankering en/of de reserve in het gedeelte van de mat boven de stilwaterlijn. In deze situatie is een lichte mat gunstig voor de optredende krachten in de bekleding.

Voor de glijvlakken mat - geotextiel en geotextiel - ondergrond hangt de mate waarin de stijghoogte daar de externe stijghoogte volgt, af van de grootte van de stenen en toevallig aanwezige poriën. Bij brede stenen zal de stijghoogte midden onder de stenen praktisch niet wijzigen en moet men de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding gebruiken. Bij gebruik van smalle stenen zal de werkelijkheid ergens inliggen tussen die volgens de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding en die volgens de formules voor zeer doorlatende toplaag.

Voor het glijvlak in de ondergrond maakt het niet uit of er in de toplaag smalle of brede stenen worden gebruikt. Men dient hier de formules voor elastische berging toe te passen: (B.16)/(B.17), met $D_L = D + 0.5 \sqrt{(\pi T_E c_V)}$.

Bij voorkeur moet de constructie zodanig worden ontworpen dat er geen verankering of teenconstructie nodig is om afschuiven langs dit vlak te voorkomen. Is dit niet mogelijk dan moet de constructie zo worden ontworpen dat deze niet inclusief de verankering of teenconstructie afschuift.

2

3.

3.3.3 Normaalkracht in de bekleding

Bij gebruik van blokkenmatten moeten deze wel in staat zijn om de optredende normaalkrachten op te nemen.

Als, langs het talud gezien, de mat als een geheel wordt aangebracht behoeft aan dit aspect verder geen aandacht te worden geschonken. De in de kabels optredende krachten tijdens uitvoering zijn in de regel groter dan de krachten die hierin in de gebruikssituatie zullen optreden.

Als er op het talud wel een aantal matten boven elkaar ligt, die onderling gekoppeld worden moet hieraan wel aandacht worden besteed. De kracht in de koppeling kan worden bepaald door deze koppeling als een verankering te beschouwen en het krachtenevenwicht van de mat te beschouwen.

```
bladnummer : - 22 -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

Een bovengrens voor de kracht in de koppeling wordt gevormd door de situatie dat de hele mat hieraan hangt. De grootte van deze bovengrens is:

$$F_m = y_h D l sin a$$

Hierin is:

Fm	:	kracht in de koppeling
У _Ъ	:	volumiek gewicht van de mat
D	:	dikte van de mat
1	:	lengte van de mat onder de koppeling (langs het talud geme- ten)
α	:	taludhelling.

3.3.4 Afschuiven als gevolg van een golfklap

Kwantificering van de invloed van golfklappen is nog niet goed mogelijk. Uit de tot op heden beschikbare rekenmethodieken volgt wel dat een hoge normaalkracht in de bekleding gunstig is. De normaalkracht kan worden vergroot door het strak trekken van de kabels of het geotextiel (aanbrengen voorspanning). Gunstig is ook het inwassen van de bekleding waardoor de blokken enigszins ingeklemd worden en het vermogen van de bekleding om drukkrachten op te nemen toeneemt. Een consequentie van het inwassen is dat de mat stijf wordt, waardoor het vermogen van de bekleding om vervormingen van de ondergrond te volgen, afneemt.

3.3.5 Invloed cyclische belasting

In hoofdstuk 7 van [1] staat beschreven hoe de wateroverspanning in het talud als gevolg van cyclische belasting kan worden bepaald. De methode waarop de invloed van deze wateroverspanning op de stabiliteit in rekening kan worden gebracht is al aangegeven in paragraaf 3.1.4. bladnummer : - 23 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3.4 <u>Blokkenmat op granulair filter</u>

3.4.1 Algemeen

Bij een blokkenmat zijn er twee uitvoeringen namelijk een mat waarbij de blokken door middel van kabels met elkaar zijn verbonden (kabelmatten) en een mat waarbij een geotextiel voor de verbinding zorgt. In het laatste geval vervult het geotextiel tevens de functie van filterlaag zodat een granulair filter achterwege kan blijven. In deze paragraaf wordt daarom alleen een kabelmat beschouwd.

Bij deze constructie zijn er twee mogelijke mechanismen die afschuiven veroorzaken:

afschuiven langs het grensvlak blokkenmat - granulair filter
 afschuiven langs een min of meer cirkelvormig glijvlak als gevolg van een golfklap.

In theorie zijn er nog twee andere glijvlakken mogelijk namelijk langs het grensvlak granulair filter - ondergrond en langs een glijvlak in de ondergrond.

Het glijvlak granulair filter - ondergrond zal nooit maatgevend zijn. Niet alleen is de wrijvingscoëfficiënt hier groter dan in het vlak blokkenmat - granulair filter maar ook kan hier een grotere laagdikte in rekening worden gebracht.

Afschuiven langs het glijvlak door de ondergrond is meestal niet waarschijnlijk. Bij een dunne filterlaag is het niettemin aan te bevelen dit te verifiëren met de formules (B15)/(B.16).

3.4.2 Afschuiven langs het grensvlak blokkenmat - granulair filter

De formules waarmee beoordeeld kan worden of afschuiven langs dit vlak zal optreden staan vermeld in bijlage B, paragraaf 2 en 3. Als de blokkenmat alleen trekkrachten kan opnemen moet gebruik worden gemaakt van bijlage B, paragraaf 3. Een gunstiger situatie treedt op als de bekleding zodanig is ontworpen dat deze ook drukkrachten kan opnemen. In dat geval kunnen de formules van bijlage B, paragraaf 2 worden gebruikt. Een methode om een blokkenmat in staat te stellen drukkrachten op te nemen is door deze in te wassen. Hierbij zal ook de stijfheid van de mat toenemen waardoor deze minder goed in staat is om vervormingen van de ondergrond te volgen. bladnummer : - 24 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Bij een taludhelling van 1 : 4 of flauwer en een niet extreem lage wrijvingscoëfficiënt zal de bekleding in de regel stabiel zijn. Bij een taludhelling van 1 : 2 is een verankering van de mat aan de bovenzijde bijna altijd onmisbaar. Deze verankering kan ook worden geleverd door het bovenwatertalud van de mat langer te maken (mits de wrijvingshoek tussen mat en filter groter is dan de taludhelling). De bovenkant van de mat zal dan echter al snel 3 tot 5 maal de significante golfhoogte boven het stilwaterniveau moeten liggen. Dit maakt verlenging van de mat voor verankeringsdoeleinden in de meeste gevallen een onaantrekkelijk alternatief voor een echte verankering.

Behalve een grotere lengte van het bovenwatertalud kan, bij matten die drukkrachten kunnen opnemen, ook een grotere lengte van het onderwatertalud voor de nodige steun zorgen bij een doorlatende bekleding. Bij een slecht doorlatende bekleding is een grotere teendiepte echter nadelig voor de stabiliteit door de verminderde drainage van het filter.

Een grote wrijvingshoek tussen mat en filtermateriaal is gunstig voor de stabiliteit. Een grotere wrijvingshoek wordt verkregen door gebruik te maken van een ruwer geotextiel. Een bovengrens voor de wrijvingshoek wordt gevormd door de inwendige wrijvingshoek van het filtermateriaal.

Een grote doorlatendheid van de toplaag verkleint de verschildrukken over de bekleding. Hierdoor wordt het gevaar voor afschuiven verkleind. Dit aspect is met name gunstig als de onderkant van de mat ver onder het stilwater-niveau ligt.

De stabiliteit is meestal ook te vergroten door een zwaardere toplaag (grotere steendikte en/of hoger volumiek gewicht) toe te passen. Als de taludhelling echter groter is dan de wrijvingshoek tussen mat en granulair filter is een zware toplaag nadelig.

3.4.3 Normaalkracht in de bekleding

Hiervoor geldt hetzelfde als gesteld in paragraaf 3.3.3.

3.4.4 Afschuiven als gevolg van een golfklap

De situatie bij een blokkenmat op een granulair filter verschilt voor dit bezwijkmechanisme niet essentieel van die bij een blokkenmat op zand. Daarom wordt hiervoor naar paragraaf 3.3.4 verwezen. bladnummer : - 25 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

3.5 <u>Steenzetting op geotextiel op zand</u>

3.5.1 Algemeen

Bij deze constructie zijn er voor het afschuiven vier potentiële glijvlakken:

- afschuiven over het geotextiel; hierbij kan alleen het gedeelte
 van de zetting onder het instabiele gedeelte steun leveren aan
 dit gedeelte
- afschuiven van toplaag en geotextiel over het zand; bij dit mechanisme wordt afschuiven van de bekleding niet alleen voorkomen door drukkrachten in de zetting maar ook door trekkrachten in het geotextiel (mits het geotextiel voldoende strak is gelegd en voldoende stijfheid heeft); verder zal in de regel de wrijving tussen het geotextiel en het zand groter zijn dan tussen beton en geotextiel; dit alles maakt dat dit glijvlak in de praktijk nooit maatgevend zal zijn
- afschuiven over een vlak in de ondergrond; hoewel in dit glijvlak de wrijvingscoëfficiënt ook hoger zal zijn dan in het vlak toplaag - geotextiel kan dit glijvlak toch maatgevend zijn; dit wordt veroorzaakt door de grotere waterdrukken die in dit vlak optreden (zie hierna)
- afschuiven langs een min of meer cirkelvormig glijvlak als gevolg van een golfklap.

De waterdruk in de ondergrond wordt bepaald door de volgende componenten:

- externe waterdruk
- elastische berging in het grondwater; als het poriënwater in de golfzone veel lucht bevat zal de interne waterdruk gedempt reageren op de externe waterdruk; op geringe diepte onder de zetting zal de waterdruk al constant blijven
- cyclische belasting; door de periodieke drukvariaties op het talud kan er een zone ontstaan met wateroverspanningen.

In bijlage B worden de formules gegeven voor het berekenen van de kracht op de teenconstructie bij verwaarlozing van het effect van cyclische belasting en bij rechte glijvlakken.

De invloed van cyclische belasting moet hierbij nog worden opgeteld. De wijze waarop dit kan gebeuren staat in hoofstuk 7 van [1].

3.5.2 Afschuiven langs rechte glijvlakken

De formules waarmee de stabiliteit globaal kan worden beoordeeld, staan in bijlage B, paragraaf 1. bladnummer : - 26 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Voor het glijvlak toplaag - geotextiel hangt de mate waarin de stijghoogte daar de externe stijghoogte volgt, af van de grootte van de stenen en toevallig aanwezige poriën. Bij brede stenen zal de stijghoogte midden onder de stenen praktisch niet wijzigen en moet men de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding gebruiken. Bij gebruik van smalle stenen zal de werkelijkheid ergens inliggen tussen die volgens de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding en die volgens de formules voor zeer doorlatende toplaag. Maatgevend is hier meestal het moment waarop de stijghoogte aan de teen minimaal is.

Als de steendikte kleiner is dan 0,25 R_{d} kan de bekleding over het

onderste gedeelte worden opgelicht. In deze situatie is de constructie nooit stabiel en moet de volledige langscomponent van het eigen gewicht door de teenconstructie worden opgevangen. Door gebruik te maken van smalle stenen is de overdruk onder de stenen en daardoor het gevaar voor oplichten te beperken. Bij een grotere steendikte en een flauw talud kan de bekleding wel zonder een teenconstructie stabiel zijn. Bij een talud 1 : 6 moet de dikte van de toplaag al gauw meer zijn dan 0,4 H om afschuiven van de toplaag over het geotextiel te voorkomen. Dit betekent dat in de praktijk een stevige teenconstructie onmisbaar is. De kracht op de teenconstructie is in de orde van grootte van y_w H². Deze kracht is te beperken door te zorgen voor een grote wrijvingscoëfficiënt tussen beton en geotextiel.

Bij het diepliggende glijvlak (door de ondergrond) kan de constructie via de zetsteen krachten naar beneden en via het geotextiel krachten naar boven afdragen. Een voorwaarde is wel dat het geotextiel strak is gelegd. Dan kunnen de formules (B.15)/(B.16) worden gebruikt. Een conservatiever resultaat, gebaseerd op de eis van gedeeltelijke lokale stabiliteit, is te vinden met de formules of grafieken van paragraaf 9.2 van CUR/TAW Commissie C74 (1990). Een talud 1 : 4 of flauwer is voor dit glijvlak meestal stabiel mits de kruin minimaal 0,5 H boven de stilwaterlijn ligt en de teen maximaal H onder de stilwaterlijn. Bij een steiler talud zijn aanvullende maatregelen nodig, zoals een zwaardere toplaag, een grotere lengte van het talud boven water en een kleine lengte van het talud onder water.

Een al te grote lengte van het onderwatertalud is af te raden. Bij een grote lengte bestaat het gevaar dat er een glijvlak ontstaat dat door de taludbekleding loopt. De aanname van rechte glijvlakken is dan niet meer geldig, zeker niet waar het om het glijvlak in de ondergrond gaat. Verder is het gedeelte onder de stilwaterlijn in de meeste gevallen instabiel zodat dit gedeelte geen steun kan geven.

3.5.3 Afschuiven als gevolg van een golfklap

Voor het gedrag van de bekleding bij golfklappen geldt hetzelfde als gesteld in paragraaf 3.2.3.
bladnummer : - 27 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

4. OEVERVERDEDIGING

4.1 <u>Stortsteen op geotextiel op zand</u>

Deze paragraaf heeft betrekking op een oeververdediging van losse stortsteen. Stortsteen kan ook worden aangebracht in de vorm van gabions. Onder voorwaarden kunnen gabions trekkrachten opnemen, zodat ze qua berekening gelijk zijn te stellen met een doorlatende mat.

De grondmechanische stabiliteit van stortsteen wordt op de volgende manieren bedreigd:

- afschuiven van de toplaag over het geotextiel
- afschuiven van een deel van het geotextiel inclusief de toplaag over de ondergrond

afschuiven over een glijvlak in de ondergrond.

Gezien de grote doorlatendheid van de stortsteen kan voor de eerste twee glijvlakken worden aangenomen dat de interne stijghoogte gelijk is aan de externe stijghoogte. Bij het derde glijvlak wordt de interne stijghoogte tevens beïnvloed door de elastische berging in de ondergrond (zie hiervoor paragraaf 2.1.2).

Door de vorm van de stortsteen zal deze toplaag weinig normaalkrachten kunnen opnemen. Dit betekent dat voor het eerste glijvlak voldaan moet worden aan de eis voor lokale stabiliteit. Deze eis luidt voor een zeer doorlatende toplaag:

$$\tan \delta > \frac{\gamma_b}{\gamma_b - \gamma_w} \tan \alpha$$

Bij een relatief dikke toplaag (D/H > 0,5) kan de normaalkracht in de bekleding wel een bijdrage leveren aan de stabiliteit tegen afschuiven. Dit effect kan in rekening worden gebracht door het uitvoeren van een glijvlakberekening met gekromd glijvlak. Door de in het algemeen lage wrijvingshoek in het vlak van het geotextiel zal dit vlak meestal niet cirkelvormig zijn.

De manier waarop voor de andere twee potentiële glijvlakken de stabiliteit kan worden bepaald staan vermeld in bijlage C, paragraaf 3.

Het verdient aanbeveling de constructie zodanig te ontwerpen dat voor het laatste glijvlak de stabiliteit zonder verankering verzekerd is. Als dit niet mogelijk is moet de plaats en de vorm van de verankering zodanig worden gekozen dat er geen gevaar bestaat dat het talud inclusief de verankering zal afschuiven. bladnummer : - 28 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Factoren die de stabiliteit van een constructie verhogen zijn (afhankelijk van het maatgevende glijvlak): een flauw talud, een ruw geotextiel, een dikke toplaag, hoog volumegewicht van de toplaag en een grote lengte van het bovenwatertalud.

In de meeste gevallen zal een talud 1 : 5 stabiel zijn en een talud 1 : 2 instabiel. In veel gevallen zal wel, door de invloed van de elastische berging, onder het onderwatertalud een zone voorkomen waar het potentiaalverschil zo groot is dat de korreldruk sterk wordt gereduceerd. In dit geval is afglijden langs een dieper gelegen glijvlak alleen te voorkomen door het bovenwatertalud voldoende ver door te trekken. Afhankelijk van de taludhelling en inwendige wrijvingshoek en dikte van het maatgevende glijvlak is de benodigde hoogte van het bovenwatertalud hiervoor s = 0,5 H a 2 H.

Voor het afschuiven van het geotextiel over de ondergrond is een dikke toplaag gunstig. In iets mindere mate geldt dit ook voor het afschuiven langs een glijvlak in de ondergrond.

Het gebruik van stortsteen met een hoog volumegewicht voor de toplaag is gunstig voor de stabiliteit. In de praktijk zal de variatie in volumiek gewicht van de verschillende soorten stortsteen niet groot zijn, zodat deze grootheid in de praktijk de stabiliteit weinig beïnvloedt. bladnummer : - 29 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

4.2 <u>Steenzetting op granulair filter</u>

De grondmechanische stabiliteit van deze constructie wordt primair bedreigd door afschuiven langs het grensvlak toplaag - granulair filter. Het potentiële glijvlak granulair filter - ondergrond zal, door de hogere wrijvingscoëfficiënt, meestal niet maatgevend zijn. Bij een dunne filterlaag kan een glijvlak in de ondergrond wel maatgevend zijn. Dat kan met de formules (B.7)/(B.8) worden nagegaan.

De formules waarmee de stabiliteit van de bekleding voor het eerst genoemde grensvlak kan worden gekwantificeerd, staan in bijlage C, paragraaf 1. In het geval van een ondoorlatende bekleding geeft formule C.1 een praktische en veilige bovengrensbenadering. Een exacte berekening kan plaatsvinden volgens de methode in bijlage D van [2]. Als er sprake is van een eindige, reële waarde van de doorlatendheid van de toplaag, is een exacte bepaling van de stabiliteit tamelijk gecompliceerd. De manier waarop dit kan gebeuren staat beschreven in [3]. Formule C.3 geeft een praktische en veilige bovengrensbenadering. Bij kleine doorlatendheid van de toplaag (grote leklengte/lekhoogte) is deze benadering echter onnodig pessimistisch. Dan geeft de benadering als ondoorlatende bekleding (C.1) realistischer uitkomsten.

Factoren die de stabiliteit gunstig beïnvloeden zijn een flauw talud, een stevige teenconstructie, ruwe onderkant van de stenen, een goed doorlatende toplaag, een grote teendiepte en een zware toplaag. Vooral een combinatie hiervan is gunstig. Bij een doorlatende toplaag zal een talud l : 5 of flauwer praktisch altijd stabiel zijn. Daarentegen kan een relatief ondoorlatende toplaag bij lage δ en/of grote z_b zelfs bij

een talud 1 : 10 nog instabiel zijn zonder teenconstructie.

Een bijzondere situatie treedt op als de wrijvingshoek tussen steenzetting en filter kleiner is dan de taludhelling. In dit geval is de gehele bekleding instabiel en is een teenconstructie onmisbaar. In dat geval heeft een vergroting van de taludlengte, dikte toplaag en volumiek gewicht toplaag tot gevolg dat de kracht op de teenconstructie toeneemt. Lage waarden hiervoor zijn dan gunstig. De toplaag dient wel zo zwaar te zijn dat er geen gevaar voor oplichten bestaat. De wrijvingshoek tussen betonblokken en het granulaire filter is maximaal gelijk aan de inwendige wrijvingshoek van het filtermateriaal. De invloed van de wrijvingshoek is omgekeerd evenredig aan die van de taludhelling.

Bij een grote doorlatendheid van de toplaag neemt de verschildruk over de bekleding af. Dit heeft een gunstige invloed op de stabiliteit. Bij een zeer doorlatende toplaag is meestal geen gevaar voor instabiliteit aanwezig, bij een slecht doorlatende toplaag zal een teenconstructie echter onmisbaar zijn. Een grote teendiepte is veelal gunstig. Bij een slecht doorlatende toplaag kan een grote teendiepte echter, door de verminderde drainagemogelijkheden van het filter, ongunstig zijn. bladnummer : - 30 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

4.3 <u>Blokkenmat op geotextiel op zand</u>

Bij deze constructie zijn er drie potentiële glijvlakken aan te wijzen, namelijk:

```
    blokkenmat - geotextiel
    geotextiel - ondergrond
    in de ondergrond.
```

Het eerste glijvlak is niet aanwezig als de blokkenmat vast met het geotextiel is verbonden. Als de blokkenmat los op het geotextiel ligt, is het vlak met de laagste wrijvingscoëfficiënt maatgevend, in de regel is dit het vlak blokkenmat - geotextiel.

Voor de twee potentiële glijvlakken die overblijven moet de constructie worden getoetst op stabiliteit. De formules waarmee de stabiliteit kan worden bepaald, staan in bijlage C, paragraaf 2 en 3.

Factoren die de stabiliteit gunstig beïnvloeden zijn een flauw talud, een stevige verankering, een grote lengte van het bovenwatertalud, een grote wrijvingscoëfficiënt, smalle stenen en een zware toplaag. Inwassen van de bekleding heeft voor het diepliggende glijvlak geen invloed op de stabiliteit omdat bij instabiliteit het gehele onderwatergedeelte van de bekleding instabiel zal zijn.

Een stevige verankering is bij deze constructie meestal onmisbaar. Zelfs bij een talud 1 : 5 zal de constructie, bij niet te grote lengte van het bovenwatertalud, nog instabiel zijn. De kracht op de verankering wordt meestal bepaald door de grenssituatie dat het onderste deel van de bekleding wordt opgelicht. Het gedeelte van de bekleding boven de stilwaterlijn kan als verankering dienst doen. De benodigde hoogte(s) is echter al snel 5 à 10 maal de grootte van de waterspiegeldaling. Als de wrijvingshoek kleiner is dan de taludhelling zal de bekleding zonder verankering nooit stabiel zijn.

Door vergroting van de wrijvingscoëfficiënt in het grensvlak blokkenmat - geotextiel en geotextiel - ondergrond is de stabiliteit te verbeteren. Een vergroting is weinig zinvol als de kracht op de verankering wordt bepaald door de grenssituatie oplichten en de lengte van het bovenwatertalud beperkt is.

Voor de glijvlakken mat - geotextiel en geotextiel - ondergrond hangt de mate waarin de stijghoogte daar de externe stijghoogte volgt, af van de grootte van de stenen en toevallig aanwezige poriën. Bij brede stenen zal de stijghoogte midden onder de stenen praktisch niet wijzigen en moet men de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding gebruiken. Bij gebruik van smalle stenen zal de werkelijkheid ergens inliggen tussen die volgens de formules voor een bladnummer : - 31 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

zeer slecht doorlatende bekleding en die volgens de formules voor zeer doorlatende toplaag.

Een grote steendikte en een hoog volumegewicht van de blokken is alleen gunstig als de wrijvingshoek groter is dan de taludhelling en de kracht op de verankering niet wordt bepaald door de grenssituatie oplichten. Als dit niet het geval is, is een dunne en lichte toplaag te prefereren. bladnummer : - 32 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

4.4 <u>Blokkenmat op een granulair filter</u>

Voor het maatgevende glijvlak en de wijze waarop kan worden gecontroleerd of de constructie stabiel is geldt hetzelfde als in paragraaf 4.2 is gezegd. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen een blokkenmat die wel of niet drukkrachten in het vlak evenwijdig aan het talud kan opnemen.

Voor de eerste situatie worden de formules voor het beoordelen van de stabiliteit gegeven in bijlage C, paragraaf 2. Voor de tweede situatie worden benaderende formules gegeven in bijlage C, paragraaf 3. Een exacte bepaling van de stabiliteit kan plaatsvinden met de methode in bijlage G van [2].

Factoren die de stabiliteit gunstig beïnvloeden zijn een flauw talud, een stevige verankering, een grote lengte van het bovenwatertalud, een goed ingewassen bekleding, een grote wrijvingscoëfficiënt, een goed doorlatende toplaag, een geringe teendiepte en een zware toplaag. Vooral een combinatie van factoren is gunstig.

Als het talud flauwer wordt, neemt de kracht op de teenconstructie af; bij een talud l : 5, een niet te gladde bekleding ($\delta > 20^\circ$) en een niet te dichte toplaag ($\lambda < 0,3$ H) zal in de regel geen verankering nodig zijn; bij een talud l : 2 is een verankering bijna altijd onmisbaar.

Het gedeelte van de blokkenmat boven de stilwaterlijn kan als verankering van de blokkenmat dienen mits de wrijvingscoëfficiënt groter is dan de taludhelling. Om op deze wijze een instabiele bekleding stabiel te maken zijn in de regel grote lengten van het bovenwatertalud nodig.

Een blokkenmat die behalve trekkrachten ook drukkrachten kan opnemen zal minder snel afschuiven omdat hij op lager gelegen delen of een teenconstructie kan steunen. Als de vorm van de blokken zodanig is dat deze zelf geen drukkrachten kunnen overdragen kan dit effect toch worden bereikt door de bekleding door inwassen stijf te maken. De bekleding zal zonder verankering nooit stabiel zijn als de wrijvingshoek kleiner is dan de taludhelling. In dit geval heeft vergroting van de taludlengte of het gewicht van de bekleding een grotere kracht op de ankerconstructie tot gevolg. Door het ruwer maken van de betonblokken is de wrijvingshoek te vergroten tot maximaal de inwendige wrijvingshoek van het filtermateriaal. De invloed van de wrijvingshoek is omgekeerd evenredig aan de invloed van de taludhelling.

Bij een grotere doorlatendheid van de toplaag nemen de verschildrukken over de bekleding af. Dit heeft een gunstige invloed op de stabiliteit. bladnummer : - 33 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Bij een goed doorlatende toplaag heeft de teendiepte nauwelijks invloed op de stabiliteit. Bij een weinig doorlatende toplaag $(\lambda > d_{b})$

heeft een kleine teendiepte een positieve invloed op de stabiliteit door de grotere drainagemogelijkheden van het filter.

Een grotere steendikte of een hoger volumegewicht van de toplaag heeft een positieve invloed op de stabiliteit, mits de wrijvingshoek groter is dan de taludhelling. Als de taludhelling groter is dan de wrijvingshoek is een dunne en lichte toplaag te prefereren. Uiteraard moet de toplaag niet zo licht worden dat deze opgelicht zal worden. In dit geval is een verankering van de blokkenmat onmisbaar.

bladnummer : - 34 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

4.5 <u>Steenzetting op geotextiel op zand</u>

Bij deze constructie zijn er drie potentiële glijvlakken aan te wijzen, namelijk:

- steenzetting geotextiel
- geotextiel ondergrond

staan in bijlage C, paragraaf 1.

- in de ondergrond.

Het tweede glijvlak is niet maatgevend omdat in de regel de wrijvingscoëfficiënt tussen geotextiel en ondergrond groter is dan tussen beton en geotextiel. Bovendien is het geotextiel meestal in staat krachten naar boven af te dragen. Hiervoor is het wel nodig dat het geotextiel strak wordt gelegd. De twee potentiële glijvlakken die overblijven, moeten worden getoetst op stabiliteit. De benaderende formules waarmee dit kan gebeuren,

Voor het glijvlak toplaag - geotextiel hangt de mate waarin de stijghoogte daar de externe stijghoogte volgt, af van de grootte van de stenen en toevallig aanwezige poriën. Bij brede stenen zal de stijghoogte midden onder de stenen praktisch niet wijzigen en moet men de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding gebruiken. Bij gebruik van smalle stenen zal de werkelijkheid ergens inliggen tussen die volgens de formules voor een zeer slecht doorlatende bekleding en die volgens de formules voor zeer doorlatende toplaag. Maatgevend is hier meestal het moment waarop de stijghoogte aan de teen minimaal is.

De constructie moet bij voorkeur zo worden ontworpen, dat deze bij het glijvlak in de ondergrond zonder teenconstructie stabiel is. Als dit niet goed mogelijk is moet de teenconstructie zodanig worden ontworpen dat er geen gevaar bestaat dat de bekleding inclusief de teenconstructie zal afschuiven.

Factoren die de stabiliteit gunstig beïnvloeden zijn een stevige teenconstructie, een flauw talud, ruwe onderkant van de stenen en/of ruw geotextiel, een goed doorlatende toplaag, een kleine teendiepte en een zware toplaag.

Een stevige teenconstructie is bij deze constructie praktisch altijd nodig. Zelfs bij een talud van 1 : 5 is deze bekleding in de regel nog instabiel. De kracht op de teenconstructie wordt bepaald door de grenssituatie dat over het onderste gedeelte van de bekleding de interne waterdruk zo groot is dat de korreldruk verloren gaat. Door het ruwer maken van de onderzijde van de betonblokken en door het kiezen van een ruw geotextiel is de wrijvingshoek te vergroten. Hierdoor wordt de stabiliteit verbeterd, mits de bekleding niet in zijn geheel wordt opgelicht. bladnummer : - 35 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

Bij een grote doorlatendheid van de toplaag of, beter nog, bij gebruik van smalle stenen voor de toplaag, zal de gemiddelde waterdruk onder de bekleding minder afwijken van de waterdruk op het talud.

Door een kleine teendiepte te kiezen, wordt de lengte van het instabiele taludgedeelte beperkt. De lengte moet wel zodanig zijn dat het talud voldoende tegen golfaanval wordt beschermd.

Het hangt van de andere parameters af of een zware toplaag (grote steendikte, hoog volumegewicht) wel of niet gunstig is voor de stabiliteit. Als opdrijven maatgevend is, is een lichte toplaag te prefereren.

> . i. . j

bladnummer : - 36 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

REFERENTIES

- Graaf, H.J. van der, Groot, M.B. de Grondmechanische stabiliteit van taludbekledingen onder golfbelasting. GD CO-290730/14, WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band A, sectie 2, 1991.
- [2] Meijers, P.
 Grondmechanische stabiliteit taludbekledingen; oriënterende berekeningen. GD CO-290730/27, 1989, WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band B, sectie 7, 1990.
- [3] Meijers, P. Afschuiven van taludbekledingen over de ondergrond, GD CO-286001/2, 1988, WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band B, sectie 2, 1990.
- [4] Bezuijen, A., Burger, A.M. en Klein Breteler, M. Taludbekledingen van gezette steen; samenvatiing van onderzoeksresultaten 1980 - 1988. WL/GD/RWS M1795/H195 deel XXIV; RWS-DWW, 1990, ISBN 90-9003232-0.
- [5] CUR/TAW Commissie C74.
 Leidraad voor dimensionering van cementbetonnen dijkbekledingen, concept oktober 1990.
 De definitieve versie wordt in 1991 verwacht en zal waarschijnlijk als titel dragen: "Handboek voor dimensionering van gezette dijkbekledingen"

bladnummer : - A 1 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

BIJLAGE A

Formules voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden

surf similarity

$$\xi_{o} = \tan \alpha / \sqrt{H_{s}/L_{o}}$$
 (A.1)

extreme stijghoogte daling (elders d i.pl.v. R_d) $R_d/H_s = 0,11 (\xi_o^2 \cot \alpha)^{0,8} \text{ met } R_d/H_s \le 1,5$ (A.2)

brekerhoogte
$$h_b/H_s = 0,36 \xi_o \sqrt{\cot \alpha} \text{ met } h_b/H_s \le 2,2$$
 (A.3)

brekerhoek
tan
$$\beta = 0,17 / \sqrt{H_s/L_o}$$
 (A.4)

H_s= significante golfhoogte L_o= golflengte op diep water bladnummer : - B 2 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

BIJLAGE B

Formules voor de bepaling van de stabiliteit van dijkverdedigingen

OPMERKING: In afwijking van de rest van het rapport is in onderstaande formules steeds het symbool D gebruikt in plaats van het symbool D_L voor de dikte van de afschuivende laag

De volgende formules vormen in de meeste gevallen een praktisch bruikbare benadering voor het evenwicht van dijkbekledingen. Onderscheid wordt gemaakt in bekledingen die alleen drukkrachten kunnen opnemen (steenzettingen), die druk- en trekkrachten kunnen opnemen en die alleen trekkrachten kunnen opnemen.

1. Bekledingen die alleen drukkrachten kunnen opnemen

- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag

* moment voor breken:

$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan\delta}{\tan\alpha}) - \gamma_{w} D (h_{b} - R_{d})$$
$$+ \frac{1}{2}\gamma_{w} (z_{b}R_{d} - R_{d}^{2} - z_{b}h_{b} + 2 R_{d}h_{b} + h_{b}^{2} \tan\alpha \tan\beta) \frac{\tan\delta}{\sin\alpha} (B.1)$$

* moment minimum stijghoogte teen

$$F_{t} = (y_{b} - y_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + y_{w} D C_{4}R_{d} + 1/2 y_{w}C_{4}R_{d} (z_{b} - C_{4}R_{d}) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$$
(B.2)

```
bladnummer : - B 3 -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

- zeer doorlatende bekleding

- * moment voor breken:
 - deze situatie is niet maatgevend
- * moment minimum stijghoogte teen:

$$F_t = (y_b - y_w) D z_b (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + y_w D (C_4 R_d + 0, 4H)^\circ$$
 (B.3)

- reële waarde doorlatendheid
 - * moment voor breken:

$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + \gamma_{w} D (d_{b} - h_{b})$$
$$+ 1/2 \gamma_{w} \frac{\Delta \phi_{max}}{\sin \alpha} (d_{b} + h_{b} \tan \alpha \tan \beta) \qquad (B.4)$$

$$\Delta \phi_{\max} = \left\{ \frac{\lambda}{2 \tan \alpha \tan \beta} \left[1 - \exp \left(-h_b \frac{\tan \alpha \tan \beta}{\lambda} \right) \right] + 1/2 \lambda \right\} *$$

*{1 - exp (- 2
$$d_b/\lambda$$
)} (B.5)

,

* moment minimum stijghoogte aan de teen:

$$F_{t} = (y_{b} - y_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + y_{w} D (C_{4}R_{d} + z_{2}) + \frac{1}{2} y_{w} \lambda (\lambda + \frac{1}{2} C_{4}R_{d} + \frac{1}{2} z_{2}) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$$
(B.6)

bladnummer : - B 4 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

 schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging)

Voor de kracht op de teenconstructie is de kleinste waarde van F_t volgens de volgende formules maatgevend. In deze formules is: D : dikte beschouwde laag: zie paragraaf 2.4.4 y_b : gemiddeld nat volumegewicht afschuivende laag.

$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan\delta}{\tan\alpha}) + \gamma_{w} D d_{b} + \gamma_{w} z_{b} d_{b} \frac{\tan\delta}{\sin\alpha}$$
$$- \frac{1}{2} \gamma_{w} d_{b}^{2} \frac{\tan\delta}{\sin\alpha} \quad (B.7)$$
$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} + \gamma_{w} D d_{b} \quad (B.8)$$

- 2. Bekledingen die druk- en trekkrachten kunnen opnemen
- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag
 - * moment voor breken:

$$F_t + F_a = \gamma_b D (z_b + s)(1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha})$$

 $-y_{w} D (z_{b} - R_{d} + h_{b} + 1/2 D \cos \alpha)$

+ $\frac{1}{2} \gamma_w (z_b R_d + 2 z_b D \cos \alpha - R_d^2 - z_b h_b + 2 R_d h_b$ + $h_b^2 \tan \alpha \tan \beta) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$ (B.9) bladnummer : - B 5 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

* moment minimum stijghoogte aan de teen:

$$F_{t} + F_{a} = \gamma_{b} D (z_{b} + s)(1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha})$$

- $\gamma_{w}D (z_{b} - C_{4}R_{d} + 1/2 D \cos\alpha)$
+ $1/2 \gamma_{w}(z_{b}C_{4} R_{d} + 2 z_{b} D \cos\alpha - C_{4}^{2} R_{d}^{2}) \frac{tan\delta}{sin\alpha}$ (B.10)

- goed doorlatende bekleding
 - * moment voor breken:

•

$$F_{t} + F_{a} = y_{b} D s (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + (y_{b} - y_{w}) D z_{b} (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha})$$

- $y_{w} D (h_{b} - R_{d} - 0, 4 H)$ (B.11)

* moment minimum stijghoogte aan de teen:

$$F_{t} + F_{a} = y_{b} D s (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + (y_{b} - y_{w}) D z_{b} (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha})$$

$$+ y_{w} D (C_{4}R_{d} + 0, 4 H) \quad (B.12)$$

bladnummer : - B 6 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

- reële waarde doorlatendheid

* moment voor breken:

 $F_t + F_a = \gamma_b D s (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + (\gamma_b - \gamma_w) D z_b (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha})$

+ $y_w D (d_b - h_b)$ + $\frac{1}{2} y_w \frac{\Delta \phi_{max}}{\sin \alpha} (d_b + h_b \tan \alpha \tan \beta)$ (B.13)

* moment minimum stijghoogte aan de teen:

$$F_{t} + F_{a} = \gamma_{b} D s (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + \gamma_{w} D (C_{4}R_{d} + z_{2}) + \frac{1}{2}\gamma_{w}\lambda(\lambda + \frac{1}{2}C_{4}R_{d} + \frac{1}{2}z_{2})\frac{tan\delta}{sin\alpha}$$
(B.14)

- schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging).

De kleinste waarde van de volgende formules is maatgevend. Zie verder de opmerkingen bij formule B.7 en B.8.

$$F_{t} + F_{a} = \gamma_{b} D (z_{b} + s)(1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) - \gamma_{w} D (z_{b} - d_{b} + 1/2 D \cos\alpha)$$
$$+ \gamma_{w} z_{b} (d_{b} + D \cos\alpha) \frac{tan\delta}{sin\alpha} - \frac{1}{2} \gamma_{w} (d_{b}^{2} - D^{2} \cos^{2}\alpha) \frac{tan\delta}{sin\alpha}$$
(B.15)

$$F_t + F_a = (\gamma_b - \gamma_w) D z_b + \gamma_b D s (1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) + \gamma_w D (d_b - 1/2 D \cos\alpha)$$

(B.16)

```
bladnummer : - B 7 -
ons kenmerk: CO-311480/6
datum : april 1990/maart 1991
```

3. Bekledingen die alleen trekkrachten kunnen opnemen

- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag

- * moment voor breken:
- $F_a = \gamma_b D (s + d_b + h_b \tan \alpha \tan \beta)(1 \frac{\tan \delta}{\tan \alpha})$
 - $-y_{W} D (h_{b} + h_{b} \tan \alpha \tan \beta + 1/2 D \cos \alpha)$
 - + $\frac{1}{2}y_{w}(2d_{b}D\cos\alpha + d_{b}h_{b}\tan\alpha\tan\beta + 2Dh_{b}\tan\alpha\cos\alpha\tan\beta + d_{b}h_{b})\frac{\tan\delta}{\sin\alpha}$
 - (B.17)
- * moment met minimum stijghoogte aan de teen: in dit geval is het onderste deel van de bekleding in zijn geheel instabiel en geldt formule B.10.

- goed doorlatende bekleding

* moment voor breken:

$$F_{a} = \gamma_{b}^{D} (s + R_{d} + 0, 4H)(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + \gamma_{w}^{D} (R_{d} + 0, 4H) \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}$$
(B.18)

* moment met minimum stijghoogte aan de teen: dit moment is niet maatgevend. bladnummer : - B 8 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

reële waarde doorlatendheid toplaag

* moment voor breken:

 $F_a = y_b D (s + d_b + h_b \tan \alpha \tan \beta)(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) - y_w D h_b (1 + \tan \alpha \tan \beta)$

+
$$y_w D \left(\frac{d_b}{\tan \alpha} + h_b \tan \beta\right) \tan \delta$$
 + $\frac{y_w \Delta \phi_{max}}{2 \sin \alpha} (d_b + h_b \tan \alpha \tan \beta) \tan \delta$
(B.19)

* moment minimum stijghoogte aan de teen:

$$F_{a} = y_{b}D (s + C_{4}R_{d} + z_{2} + \lambda)(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) - y_{w}D \lambda$$

+ $y_{w}D (C_{4}R_{d} + z_{2} + \lambda)\frac{\tan \delta}{\tan \alpha} + \frac{1}{2}y_{w}\lambda (\lambda + \frac{1}{2}C_{4}R_{d} + \frac{1}{2}z_{2})\frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$
(B.20)

...

schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging). Hier zijn de formules (B.15) en (B.16) van toepassing, mits " $F_t + F_a$ " vervangen wordt door " F_a ". De kleinste van de twee waarden van F_a volgens deze formules is hier maatgevend. Zie verder de opmerkingen bij formule B.7 en B.8. bladnummer : - C 9 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

BIJLAGE C

Formules voor de bepaling van de stabiliteit van oeververdedigingen

OPMERKING: In afwijking van de rest van het rapport is in onderstaande formules steeds het symbool D gebruikt in plaats van het symbool D_L voor de dikte van de afschuivende laag

De volgende formules vormen in de meeste gevallen een praktisch bruikbare benadering voor het evenwicht van oeverbekledingen belast door een teruggetrokken golf. Onderscheid wordt gemaakt in bekledingen die alleen drukkrachten kunnen opnemen, bekledingen die zowel drukals trekkrachten kunnen opnemen en bekledingen die alleen trekkrachten kunnen opnemen.

1. Bekledingen die alleen drukkrachten kunnen opnemen

- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag

$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + \gamma_{w} D d_{b} + 1/2 \gamma_{w} d_{b} (z_{b} - d_{b}) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$$
(C.1)

- zeer doorlatende bekleding

$$F_{t} = (y_{b} - y_{w}) D z_{b} (1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + y_{w} D d_{b}$$
(C.2)

- reële waarde doorlatendheid

$$F_{t} = (\gamma_{b} - \gamma_{w})D z_{b}(1 - \frac{\tan\delta}{\tan\alpha}) + \gamma_{w}D d_{b} + \frac{1}{2}\gamma_{w}\lambda(\lambda + \frac{1}{2}d_{b})\frac{\tan\delta}{\sin\alpha}$$
(C.3)

bladnummer : - C 10 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

 schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging).
 De kleinste van de 2 waarden van F_t volgens de formules B.7 en B.8 is hier maatgevend. Zie verder de opmerkingen bij deze formules.

2. Bekledingen die druk- en trekkrachten kunnen opnemen

- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag

 $F_t + F_a = y_b D (z_b + s)(1 - \frac{tan\delta}{tan\alpha}) - y_w D (z_b - d_b + 1/2 D \cos\alpha)$

+ 1/2
$$\gamma_w(z_b d_b + 2 z_b D \cos \alpha - d_b^2) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$$
 (C.4)

- zeer doorlatende bekleding

$$F_{t} + F_{a} = \gamma_{b} D s(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b}(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + \gamma_{w} D d_{b} \quad (C.5)$$

- reële waarde doorlatendheid

$$F_{t} + F_{a} = \gamma_{b} D s \left(1 - \frac{\tan\delta}{\tan\alpha}\right) + (\gamma_{b} - \gamma_{w}) D z_{b} \left(1 - \frac{\tan\delta}{\tan\alpha}\right)$$
$$+ \gamma_{w} D d_{b} + 1/2 \gamma_{w} \lambda (\lambda + 1/2 d_{b}) \frac{\tan\delta}{\sin\alpha} \qquad (C.6)$$

 schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging).
 De kleinste van de 2 waarden van F_t+ F_a volgens de formules B.15 en B.16 is hier maatgevend. Zie verder de opmerkingen bij de formules B.7 en B.8. bladnummer : - C 11 ons kenmerk: CO-311480/6 datum : april 1990/maart 1991

- 3. Bekledingen die alleen trekkrachten kunnen opnemen
- slecht doorlatende bekleding, goede filterlaag
 Voor deze situatie is formule C.4 geldig.
- zeer doorlatende bekleding

$$F_{a} = \gamma_{b} D (s + d_{b})(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) + \gamma_{w} D d_{b} \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}$$
(C.7)

- reële waarde doorlatendheid

$$F_{a} = \gamma_{b}^{D} (s + d_{b}^{b} + \lambda)(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}) - \gamma_{w}^{D} \lambda$$

+
$$y_w D (d_b + \lambda) \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}$$
 + 1/2 $y_w \lambda (\lambda + 1/2 d_b) \frac{\tan \delta}{\sin \alpha}$ (C.8)

schuifvlak in ondergrond als de interne stijghoogte gedempt reageert op de externe stijghoogte (elastische berging). Hier zijn de formules (B.15) en (B.16) van toepassing, mits "F_t+ F_a" vervangen wordt door "F_a". De kleinste van de twee waarden van F_a volgens deze formules is hier maatgevend. Zie verder de opmerkingen bij formule B.7 en B.8. Samenvatting onderzoeksresultaten naar Grondmechanische stabiliteit van taludbekledingen onder golfaanval

> CO-290730/14 februari 1991 Gra/dGo

Opgesteld in opdracht van: Dienst Weg- en Waterbouwkunde DELFT

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES projectleiders: ir. H.J. van der Graaf ir. M.B. de Groot projectbegeleider: ir. A. Bezuijen afdelingshoofd: ir. P. Lubking bladnummer : - 4^{*}-ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

INHOUD

LIJST V	AN SYMBOLEN	<u>B1z</u>
SAMENVA	TTING	1
1.	INLEIDING	11
2.	PROCEDURE VOOR DE BEPALING VAN DE STABILITEIT	14
2.1	Systematiek	14
2.2	Bepaling externe golfbelasting (overdrachtsfunctie I-	
	hoofdstuk 3)	15
2.3	Bepaling interne waterdrukken (overdrachtsfunctie II-	
	hoofdstuk 6 en 7)	16
2.4	Bepaling stabiliteit (overdrachtsfunctie III- hoofdstuk 8	3
	en 9)	17
3.	EXTERNE GOLFBELASTING	18
3.1	Oorsprong golven	18
3.1.1	Windgolven	
3.1.2	Scheepsgeinduceerde waterbeweging	
3.2	Golf aan teen talud	19
3.2.1	Korte, brekende golf	
3.2.2	Waterspiegelvariatie of lange golf	
3.3	Externe golfbelasting op talud	20
3.3.1	Algemene kenmerken bij brekende golf	
3.3.2	Golfklapdrukken	
3.3.3	Periodieke drukvariatie	
3.3.4	Gelijkmatige drukverlaging	
4.	HYDRAULISCHE EIGENSCHAPPEN VAN BEKLEDING EN GROND	26
4.1	Doorlatendheid	26
4.2	Het begrip leklengte	28
4.3	Poròsiteit en relatieve dichtheid van zand	29
4.4	Compressibiliteit van grond en water	30
4.5	Elastische berging in zand	31

.

bladnummer : - 5[¥]ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

5.	STERKTE PARAMETERS VAN BEKLEDING EN GROND	33
5.1	De schuifsterkte van zand	33
5.2	De schuifsterkte van klei	34
5.3	De schuifsterkte tussen geotextiel en grond	37
5.4	De schuifsterkte tussen geotextiel en beton of asfalt	38
5.5	De schuifsterkte tussen beton of asfalt en grond	39
6.	INTERNE WATERDRUK	40
6.1	Belang van interne waterdruk	40
6.2	Mogelijk relevante fenomenen	41
6.3	Karakteristieke lengtes en stijfheden	42
6.3.1	Overzicht	
6.3.2	Betekenis karakteristieke lengte externe belasting	
6.3.3	Betekenis leklengte	
6.3.4	Betekenis karakteristieke lengte freatische berging	
6.3.5	Betekenis karakteristieke lengte elastische berging	
6.4	Klassificatie naar relevante fenomenen	45
6.4.1	Relevantie van turbulente stroming	
6.4.2	Relevantie van relatieve toplaag doorlatendheid	
6.4.3	Relevantie van freatische berging	
6.4.4	Relevantie van elastische berging	
6.4.5	Invloed van de voorgeschiedenis	
6.5	Karakter van interne waterdruk variatie	49
6.5.1	Amplitude demping, fase verschuiving en middenstandsafwij	king
6.5.2	Aansluiting externe en interne waterspiegel	
6.6	Twee extremen met eenvoudige oplossingen	51
6.7	Overzicht beschikbare modellen	52
6.7.1	Analytische modellen	
6.7.2	Een-dimensionaal numeriek model STEENZET/1	
6.7.3	Twee-dimensionaal eindige elementen model STEENZET/2	
6.7.4	Fysische modellen	

.

bladnummer : $-6^{\frac{4}{5}}$ -ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

<u>B1z</u>

•

.

7.	EXTRA WATERDRUK IN ZAND DOOR CYCLISCHE BELASTING	56
7.1	Algemeen	56
7.2	Procedure in vogelvlucht	58
7.3	Voorbeeld	60
7.4	Variatie externe golfbelasting	61
7.5	Variatie interne waterdruk	62
7.6	Variatie van de relatieve schuifspanning	63
7.7	Wateroverspanning gegenereerd zonder drainage	63
7.8	Water overspanning met drainage	66
7.9	Voorbelastingseffect	70
8.	STABILITEIT BIJ GOLFKLAPPEN	71
8.1	Algemeen	71
8.2	Berekeningsmethode voor zand, grind e.d.	72
8.3	Berekeningsmethode voor klei	75
9.	STABILITEIT BIJ PERIODIEKE DRUKVARIATIE EN GELIJKMATIGE	
	DRUKVERLAGING	77
9.1	Ligging afschuifvlak	77
9.1.1	Algemeen	
9.1.2	Rechte afschuifvlakken	
9.1.3	Cirkelvormige afschuifvlakken	
9.2	Locale stabiliteit	82
9.2.1	Algemeen	
9.2.2	Evenwicht elementje	
9.2.3	Definitie locale stabiliteit	
9.2.4	Locale stabiliteit bij grensvlak of in zand, grind e.d.	
9.2.5	Locale stabiliteit in klei	
9.3	Totale stabiliteit bij rechte afschuifvlakken	89
9.3.1	Algemeen	
9.3.2	Bij grensvlak of in zand, grind e.d.; absolute gewichten	en
	waterdrukken	
9.3.3	Bij grensvlak of in zand, grind e.d.; onder-water gewich	ten en
	stijghoogtes	
034	Afschuiving in of over klei	

9.3.4 Afschuiving in of over klei bladnummer : $-7^{\frac{1}{2}}$ ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

REFERENTIES

105

BIJLAGE I TOPLAAGDOORLATENDHEID

BIJLAGE IIBENADERINGEN VOOR INTERNE WATERDRUKII-1Waterdruk in filterlaagII-2Waterdruk in grond onder filterlaagII-3Waterdruk in ondergrond als er geen filterlaag is

BIJLAGE III FORMULES ANALYTISCH MODEL VAN WOLSINK

- BIJLAGE IV ANALYTISCHE OPLOSSINGEN INTERNE WATERDRUK BIJ WATERDICHTE BEKLEDINGEN
- BIJLAGE V CONCEPT-BEREKENINGSMETHODE CIRKEL-VORMIG AFSCHUIFVLAK DOOR STEENZETTING
- BIJLAGE VI VIER MANIEREN OM STABILITEIT TE FORMULEREN

bladnummer : - 8[¥]ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

LIJST VAN SYMBOLEN

.

.

a	moment arm (fig. 9.3)	m
A	doorstroomoppervlak	m²
ъ	dikte van de filterlaag	m
В	h.o.h. afstand blokken	m
c,	consolidatiecoëfficiënt	m²/s
c*	idem voor korrelskelet (par.4.5)	m²/s
c	cohesie bij σ´=O	kPa
c,	ongedraineerde cohesie	kPa
C ₁ C ₂ C,	coëfficiënten golfklap (par. 3.3.2 en 8.2)	-
C.	max.stijgh.daling teen talud gedeeld door R _d (fig.3.5)	-
d _h	verschil intern freatisch niveau en externe stijghoogte	m
dt	toplaagdikte	m
d ₁₅	korrelgrootte	m
D	dikte van de bekleding of diepte afschuifvlak	m
D	steundruk opneembaar onderaan de bekleding	kN/m
D	relatieve dichtheid (par. 4.3)	-
e	poriëngetal	-
Ea	ratio tussen adhesie en cohesie	-
f	coëfficiënt ligging freatisch vlak (par. 9.2.2)	-
F _i	resulterende kracht op te nemen door deel i van	
_	de bekleding	kN/m
Ft	kracht op een teenconstructie	kN/m
Fk	korrel drukkracht op element (par.9.2.2)	kN/m
Fwi	wrijvingskracht op vlak van element (par.9.2.2)	kN/m
g	versnelling van de zwaartekracht	m²/s
G	glijdingsmodulus van grond	kPa
G	gewicht elementje	kN/m
h	diepte talud onder stilwaterlijn	m
н	golfhoogte op diep water (inkomende golf)	m
Hs	significante golfhoogte (inkomende golf)	m
HE	globale karakteristiek ext. golfbelasting	
-	(fig. 3.3 of 3.4)	m
ΔH	stijghoogteverschil over geotextiel	m

.

.

.

bladnummer : - 9[★]_ ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

k	doorlatendheid van grond	m/s
k	golfgetal (k=2.Π/L)	m- 1
k	doorlatendheid van de bekleding	m/s
k	doorlatendheid geotextiel	m/s
k spleet	doorlatendheid van een spleet tussen blokken	m/s
K	compressiemodulus van het korrelskelet	kPa
K	compressiemodulus van zuiver water	kPa
ĸ	compressibiliteit van onverzadigd water	kPa
1	lengte elementje (par. 9.2.1)	m
L	golflengte op diep water	m
L	golflengte op ondiep water	m
LE	globale karakteristiek ext. golfbel.(fig. 3.3. of 3.4)	m
m _v	samendrukkingsconstante van grond	kPa ¹
n	porositeit	-
n in	initiële porositeit	-
n min	minimale porositeit	-
n max	maximale porositeit	-
N	aantal belastingwisselingen (par. 7.1 of 3.4)	m
N _i	normaalkracht tussen elementen bekleding (par.9.2.2)	kN/m
OCR	overconsolidatie ratio	-
Þ	amplitude van de waterdruk op het talud	kPa
р	waterdruk	kPa
Δp	extra waterdrukverandering door cyclisch verweking	kPa
Δp´	$= \Delta p / \sigma_0$	-
Δp _o	stijghoogteverschil afschuifvlak-talud (par.6.1)	m
P _{EX}	absolute waterdruk op het talud	kPa
q	coëfficiënt golfklapdruk (par. 3.3.2)	-
q	specifiek debiet	m/s
Q	totaal debiet	m³/s
r	straal cirkel (fig. 9.3)	m
R	grootte van het toestromingsgebied rond spleet	m
R _d	extreme stijghoogtedaling (fig. 3.5; elders wordt d_s	
	als symbool gebruikt)	m
R _D	relatieve dichtheid (par. 4.3)	-
s	spleetbreedte	m
s _r	verzadigingsgraad	-
tg	dikte van geotextiel	m

bladnummer : - 10^{*}ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

.

Т	golfperiode	S
T _E	globale karakteristiek ext. golfbelasting	
-	(fig. 3.3 of 3.4)	s
Ть	trekkracht opneembaar bovenaan de bekleding	kN/m
ver	volume grond	m ³
v	volume water per eenheidsvolume grond	m 3
v	volume poriën per eenheidsvolumen grond	m ³
Wi	kracht t.g.v. waterdruk op vlak van element (par.9.2.2)	kN/m
у	coördinaat langs talud naar boven	m
z	diepte onder taludoppervlak (loodrecht op talud)	m
z,	diepte van onderzijde van de bekleding t.o.v.	
-	stilwaterlijn (verticaal)	m

α	taludhelling	grad
β	steilheid golffront (fig. 3.5)	grad
β	hoek afschuifvlak golfklap (alleen hfdst. 8)	grad
У _w	volumegewicht water	kN/m³
У _В	volumegewicht elementje	kN/m³
γ _g	volumegewicht verzadigde grond	kN/m³
^y t	volumegewicht toplaag	kN/m³
δ	adhesiewrijvingshoek	grad
Δ	relatieve massadichtheid $\Delta = (\gamma_{g} - \gamma_{w})/\gamma_{w}$	- .
λ	lekhoogte (par. 4.2)	m
٨	leklengte (par. 4.2)	m
μ	dynamische viscositeit	kPas
v	kinematische viscositeit	m²/s
v	dwarscontractie coëfficiënt (par. 4.4)	-
ρ	soortelijke massa van water	kg/m³
σ	totaalspanning	kPa
σ	korrelspanning	kPa
σ	vertikale consolidatie spanning	kPa
σνο	vroegere vertikale consolidatie spanning	kPa
σ	drukverschil over de bekleding	kPa
Δσ	totaalspanningsverandering	kPa
Δσ΄	korrelspanningsverandering	kPa

bladnummer : - 11 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

τ	schuifspanning	kPa
τ max	maximum schuifsterkte	kPa
φ	hoek van inwendige wrijving	grad
₫ _Ъ	karakteristiek golffront (fig. 3.5)	m
φ _f	inwendige wrijvingshoek van een filterlaag	grad
φ _u	inwendige wrijvingshoek bij ongedraineerd bezwijken	grad
φ _{ub}	inwendige wrijvingshoek bij ongedraineerd bezwijken	
	van onverzadigde grond	grad

bladnummer : - 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

SAMENVATTING

<u>Kader en doel</u>

In dit rapport wordt één van de mogelijke faalmechanismen van een taludbekleding onder invloed van golfbelasting behandeld: het afschuiven langs een vlak in de bekleding of langs een vlak in de grond dicht onder de bekleding. Enige mogelijke afschuifvlakken zijn in onderstaande schets met een streep-stip-lijn aangegeven.



Het rapport maakt deel uit van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen. De relevante resultaten uit de banden B en C worden hier weergegeven, terwijl ze in sectie 1 worden uitgewerkt tot een praktische handleiding voor een aantal veel voorkomende situaties. Een uitwerking is ook te vinden in de leidraad (of handboek of handleiding) van CUR/TAW Comissie C74, zij het alleen voor steenzettingen [CUR/TAW, 1990]. De inhoud van dit rapport is ook bruikbaar voor andere soorten taludbekleding. Zowel wind- als scheepsgolven worden als belasting beschouwd. Ook wordt de invloed van waterspanningsgeneratie of zelfs verweking van zand door cyclische belasting meegenomen.

Het is in 1988 rapport geschreven door H.J. van der Graaf en M.B. de Groot. Begin 1991 zijn enige correcties en aanvullingen aangebracht. bladnummer : - 2 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Procedure stabiliteitsbepaling, invloedsfactoren en indeling rapport (hoofdstuk 2)

Het rapport is ingedeeld overeenkomstig het schema van figuur 2.1, dat ook hieronder is weergegeven. De stabiliteit wordt beheerst door drie elementen: het open water, het grondwater en de mechanische sterkte van bekleding en ondergrond. De interactie tussen de drie elementen wordt beschreven door drie overdrachtsfuncties:

- I Overdrachtsfunctie van diep water golfkarakteristiek en vooroever- en taludgeometrie naar de externe golfbelasting op het talud.
- II Overdrachtsfunctie van externe golfbelasting en hydraulische eigenschappen van bekleding en ondergrond naar de interne waterdrukverandering in en onder de bekleding.
- III Overdrachtsfunctie van de interne waterdrukverandering en de sterkte parameters van bekleding en grond naar de stabiliteit van bekleding en ondergrond.





bladnummer : - 3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Overdrachtsfunctie I wordt behandeld in hoofdstuk 3, overdrachtsfunctie II in de hoofdstukken 6 en 7, overdrachtsfunctie III in de hoofdstukken 8 en 9. De nadruk valt hier op overdrachtsfunctie III, omdat de andere overdrachtsfuncties elders reeds uitgebreid aan de orde komen. In hoofdstuk 4 komen de hydraulische eigenschappen van bekleding en grond ter sprake; in hoofdstuk 5 de sterkte parameters.

De overdrachtsfuncties kunnen bepaald worden met empirische formules, wiskundige modellen, modelproeven of metingen buiten. Soms worden meerdere overdrachtsfuncties tegelijk in één model bepaald, soms wordt een overdrachtsfunctie gesplitst en wordt iedere deeloverdrachtsfunctie in een apart model bepaald. De manieren waarop de randvoorwaarden, de materiaal-eigenschappen en grootheden als de uitwendige golfbelasting beschreven worden, hangen nauw samen met de keuze van de modellen. Die keuze wordt onder meer beïnvloed door de volgende factoren:

- de oorsprong van de golf (wind of schip)
- de uitingsvorm van de uitwendige golfbelasting (golfklap of periodieke drukvariatie of drukverlaging)
- de mate waarin bepaalde vereenvoudigende benaderingen toelaatbaar zijn, in verband met belastingduur, toplaagdoorlatendheid, stijfheid van het korrelskelet e.d.
- de bijdrage van eventuele wateroverspanning door cyclische belasting
- de grondsoort (zand/grind of klei)
- het onderscheid in locale stabiliteit en totale stabiliteit in verband met het niet of wel rekening houden met krachtsoverdracht door bekleding en/of grond evenwijdig aan het talud.

Deze factoren zijn als richtlijn gebruikt voor de onderverdeling van de verschillende hoofdstukken en voor de nadere detaillering van bovengegeven stroomschema zoals weergegeven in de figuren 2.2 - 2.5 en toegelicht in hoofdstuk 2. In onderstaande conclusies wordt op bijna elk van die factoren ingegaan. bladnummer : - 4 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

<u>Schematisatie externe golfbelasting op talud (hoofdstuk 3)</u>

Windgolven en secundaire scheepsgolven manifesteren zich op het talud in drie vormen: in de vorm van golfklappen, in de vorm van een min of meer periodieke drukvariatie en in de vorm van een gelijkmatige drukverlaging. De primaire waterbeweging (lange golf) rondom een schip uit zich op het talud in de vorm van een gelijkmatige drukverlaging.

De golfklap kan ten behoeve van de stabiliteit geschematiseerd worden als een quasi-stationaire stroken belasting waarvan de breedte en de maximale druk gelijkgesteld kunnen worden aan de extreme waarden gevonden in grootschalige modelproeven. Ten behoeve van de bepaling van de wateroverspanning door cyclische belasting kan de golfklap geschematiseerd worden tot een sinusvormig in de tijd en ruimte variërende druk waarvan amplitude, golflengte en golfperiode volgen uit de bij grootschalige modelproeven gemeten drukken bij een gemiddelde golfklap.

De periodieke drukvariatie door windgolven of secundaire scheepsgolven kan ten behoeve van de stabiliteit geschematiseerd worden als een quasi-stationaire drukverdeling. Die kan op het kritieke moment (vlak voor breken) gekarakteriseerd worden door drie parameters: zie fig. 3.5. Ten behoeve van de bepaling van de wateroverspanning door cyclische belasting kan de periodieke golfbelasting geschematiseerd worden tot een sinusvormig in de tijd en in de ruimte variërende druk, waarvan amplitude, golflengte en golfperiode volgen uit de waarden horend bij de hoogste golf van een golftrein.

De gelijkmatige drukverlaging kan worden geschematiseerd tot een quasi-stationaire stijghoogte verlaging die gekarakteriseerd kan worden door één parameter: zie fig. 3.5. bladnummer : - 5 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Interne waterdruk in en onder de bekleding (hoofdstukken 4 en 6)

De waterdruk in en onder de bekleding fluctueert voortdurend min of meer mee met die op het talud.

In veel gevallen kan de stijghoogte in het talud onder de toplaag benaderd worden óf als een stijghoogte die constant blijft (op stil water niveau) óf als een stijghoogte die op ieder moment gelijk is aan die ter plaatse van het dichtsbijzijnde punt op het talud. In de overige gevallen zal de stijghoogte in en onder de bekleding een waarde bezitten ergens tussen die twee extremen in. Er zijn rekenmodellen beschikbaar om die stijghoogte te bepalen. Of een van die twee benaderingen toelaatbaar is, volgt uit de orde van grootte van de volgende parameters. De parameters zijn ook bepalend voor de keuze van eventuele rekenmodellen:

de karakteristieke lengte van de uitwendige golfbelasting L_E
 de karakteristieke periode van de uitwendige golfbelasting T_E
 de lek-lengte Λ, maat voor de verhouding van de doorlatendheden van toplaag en tussenlagen of ondergrond
 de stijfheid van het poriënwater K_w en de stijfheid van het korrelskelet van de grond (K + ⁴/₃ G)
 de consolidatiecoëfficiënt van de grond c_v, een functie van die stijfheden en van de doorlatendheid
 de karakteristieke lengte voor elastische berging √ T_E c_v.

Extra interne waterdruk door cyclische belasting (verweking, hoofdstuk 7)

Als de ondergrond uit (vrij) los gepakt zand bestaat, kan de herhaalde ("cyclische") belasting van golfklappen en/of periodieke drukvariatie leiden tot de generatie van wateroverspanning. In tegenstelling tot boven aangeduide fluctuerende waterdruk, variëert deze slechts langzaam en kan daarom als stationair beschouwd worden. Beide waterdrukken moeten bij elkaar opgeteld worden. Samen vormen ze de "interne waterdruk".

De grootte van die wateroverspanning kan bij benadering berekend worden. Zie hoofdstuk 7. Bij die berekening wordt eerst de relatieve schuifspanningsvariatie van het zand globaal in een paar raaien afgeleid uit de uitwendige belasting en de fluctuerende waterdruk in het zand. Daarna wordt het aantal cycli bepaald dat bij een ongedraineerd zandmonster met de gegeven dichtheid bij die relatieve schuifspanningsvariatie complete verweking veroorzaakt. Tenslotte wordt het gunstige effect van drainage (consolidatie) in de berekening verwerkt en/of het beperkt aantal golven om de uiteindelijke wateroverspanning te berekenen.

OPMERKING: Als de ondergrond uit vast gepakt zand bestaat, kan het omgekeerde plaatsvinden. Door (positieve) dilantantie kan extra water ONDERspanning ontstaan. In de hier behandelde berekeningsmethode wordt dit (gunstige) effect niet meegenomen.
bladnummer : - 7 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Invloed grondsoorten en bekledingsmateriaal op schuifweerstand (hoofdstuk 5)

De invloed van de grondsoort op de stijghoogte in het talud (overdrachtsfunctie II) is boven al aan de orde gekomen. De schuifweerstand van de grond kan als het om zand en grind gaat het beste in de wrijvingshoek \$\u03c6 worden uitgedrukt. De poriënwaterdruk t.p.v. het potentiële afschuifvlak moet dan expliciet in de berekening worden meegenomen. Als het om klei gaat kan de schuifweerstand het beste in de ongedraineerde schuifspanning C_u worden uitgedrukt. De poriënwaterdruk wordt dan niet expliciet in de berekening meegenomen. In de gevallen waarin de stijghoogte in en onder de bekleding gelijk is aan die ter plaatse van het dichtsbijzijnde punt op het talud, gedraagt zand zich overigens ongeveer net als klei, althans voorzover het zand geen dilatantie vertoont. Dan doet het er in principe niet toe welke benadering men kiest, wrijvingshoek met poriënwaterdruk of ongedraineerde schuifspanning zonder poriënwaterdruk.

De adhesiesterkte op het grensvlak geotextiel/grond, geotextiel/beton of asfalt en beton of asfalt/grond kan aanzienlijk kleiner zijn dan die van zand. De kans op een afschuifvlak op die grens is dan relatief groot.

Stabiliteit bij golfklappen (hoofdstuk 8)

Een golfklap zorgt voor een hoge maar zeer locale belasting. Een eventueel glijvlak zal daarom een sterk gekromde vorm hebben. Daarom kan de stabiliteit benaderd worden als die onder een strokenbelasting. Over de invloed van golfklappen is weinig zekerheid. Het is mogelijk dat golfklappen een wezenlijke bedreiging voor de stabiliteit vormen als:

- de toplaag zeer doorlatend is
- de toplaag vrij slap en vrij dun is
- de ondergrond uit losgepakt zand of uit slappe klei bestaat.

bladnummer : - 8 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Locale en totale stabiliteit bij periodieke drukvariatie of bij gelijkmatige drukverlaging (hoofdstuk 9)

Het deel van de bekleding met eventuele ondergrond dat af dreigt te schuiven (zie eerste schets van de samenvatting) kan men opgedeeld denken in elementjes die behalve door taludoppervlak en afschuifvlak begrensd worden door vlakken loodrecht op het talud. Als zo'n elementje op zich, d.w.z. zonder de steun van buur-elementjes, stabiel is, spreekt men van "locale stabiliteit".

De locale stabiliteit is betrekkelijk makkelijk te bepalen (paragraaf 9.2). Het is veelal aan te raden na te gaan of deze verzekerd is ter plaatse van het zwaarst aangevallen deel van het talud. Als dat zo is, is ook de totale stabiliteit verzekerd.

Als het gaat om taludbekledingen van loskorrelig materiaal in betrekkelijk dunne lagen (dun t.o.v. de golfhoogte), dan is de totale stabiliteit niet veel groter dan de locale. Bij andere taludbekledingen kan dat verschil echter groot zijn, vooral als de bekledingen in staat zijn een grote kracht evenwijdig aan het talud naar boven en/of naar beneden over te dragen vanuit de zwaar belaste zone van het talud naar minder belaste zones en/of een teenconstructie of verankering.

Bij taludbekledingen van loskorrelig materiaal (in betrekkelijk dikke lagen) is de totale stabiliteit te bepalen met behulp van glijcirkelberekeningen op min of meer traditionele wijze (paragraaf 9.1.3) Dat geldt ook voor klei-bekledingen, doch daar zal een min of meer recht afschuifvlak evenwijdig aan het talud direct onder de kleilaag veelal maatgevend zijn, zodat men zich dan kan beperken tot berekeningen voor die situatie. bladnummer : - 9 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Bij steenzettingen en constructies met geotextielen en/of andere trekelementen die langskrachten kunnen opnemen (bijvoorbeeld blokkenmatten met staalkabels) zullen min of meer rechte afschuifvlakken evenwijdig aan het talud vaak maatgevend zijn. Voor die situatie zijn hier praktische rekenmodellen gegeven (paragrafen 9.1.2 en 9.3). Daarmee zijn ondermeer de vereiste sterktes van trek-elementen, verankeringen en teenconstructies te berekenen. Het is echter niet uitgesloten dat in sommige gevallen cirkelvormige afschuifvlakken met vrij kleine straal maatgevend zijn. Voor die situatie zijn in principe rekenmodellen beschikbaar, maar de ervaring ermee is nog gering (paragraaf 9.1.3).

Aanbevelingen

- Het analyseren van het ruimtelijke verloop van de externe druk tijdens golfklappen zoals gemeten bij grootschalig modelonderzoek en aan de kust (par. 3.3.2)
- Verbetering van de schematisatie van de periodieke drukvariatie voor waterspanningsgeneratie door cyclische belasting (par. 3.3.3)
- Het uitvoeren van een studie naar cirkelvormige afschuifvlakken bij steenzettingen en constructies met geotextielen en/of andere trekelementen (par. 9.1.3).

bladnummer : - 11 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

1. INLEIDING

1.1 Kader van deze studie

De studie die hier gerapporteerd wordt, maakt deel uit van het onderzoek naar de stabiliteit van taludbekledingen van gezette steen, onder verantwoording van de projectgroep TAW-A2 (Steenzettingen). Het onderzoek is en wordt gerapporteerd in 26 verslagen, waarvan dit behoort tot nummer XXII.

Het verslag M1795/M1881 deel XXII bestaat uit elf secties gebundeld in de banden A,B en C. Band C bevat drie secties waarin de studies naar verweking van zand onder een bekleding door golfaanval gerapporteerd worden. Band B bevat zes secties waarin overige aspecten van grondmechanische stabiliteit belicht worden. Deze band, band A, bevat twee secties.

In deze sectie zijn de relevante resultaten van de overige secties verwerkt tot een beschrijving van hoe de grondmechanische stabiliteit van een taludbekleding bepaald kan worden. In sectie 1 is dit voor een aantal veel voorkomende situaties uitgewerkt tot een praktische handleiding. Iets soortgelijks is gedaan in de leidraad (of handboek of handleiding) van CUR/TAW Comissie C74, zij het alleen voor steenzettingen [CUR/TAW, 1990].

De resultaten van dit rapport zijn niet alleen bruikbaar voor steenzettingen en niet alleen voor dijkbekledingen belast door windgolven. Ze zijn ook bruikbaar voor andere soorten taludbekledingen, voor oeverbeschermingen en voor taluds belast door scheepsgolven. bladnummer : - 12 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

1.2 <u>Onderwerp van studie</u>

Deze studie richt zich op één van de mogelijke faalmechanismen van een taludbekleding onder invloed van golfbelasting: het afschuiven langs een vlak in de bekleding of langs een vlak in de grond dicht onder de bekleding. Enige mogelijke afschuifvlakken zijn met streep-stip lijnen aangegeven in de eerste schets van de samenvatting. Uiteraard zijn ook diepere afschuifvlakken mogelijk. Of daar afschuivingen zullen optreden wordt echter niet zozeer door de bekleding bepaald. En ook de rol van golfbelasting is daar veelal beperkt, zeker die van de wat ingewikkelder windgolven of secundaire scheepsgolven, die slechts een locaal effect hebben. Afschuivingen langs diepere schuifvlakken kunnen daarom op traditionele wijze berekend worden en komen hier niet ter sprake.

In de schets van de samenvatting is tevens aangegeven dat de "bekleding" kan bestaan uit meerdere lagen: een toplaag met daaronder één of meerdere tussenlagen. Een tussenlaag kan bestaan uit granulair materiaal (grind, steenslag, slakken, mijnsteen e.d.,) maar ook uit klei of geotextiel. bladnummer : - 13 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

1.3 Indeling van het rapport

In het volgende hoofdstuk wordt de procedure beschreven voor de stabiliteitsbepaling. Dat wordt gedaan aan de hand van een schema. De eenvoudige versie van dat schema (fig. 2.1) laat zien dat de bepaling bestaat uit drie stappen. Ieder van die stappen wordt beschreven in een of twee hoofdstukken:

- De bepaling van de externe golfbelasting op het talud met behulp van overdrachtsfunctie I wordt behandeld in hoofdstuk 3.
- De bepaling van de interne waterdruk in en onder de bekleding met behulp van overdrachtsfunctie II wordt behandeld in de hoofdstukken 6 en 7. In hoofdstuk 7 wordt de waterspanningsgeneratie in zand onder invloed van cyclische belasting besproken, in hoofdstuk 6 de overige aspecten van de interne belasting.
- De bepaling van de stabiliteit met behulp van overdrachtsfunctie III wordt behandeld in hoofdstuk 8 voor golfklappen en in hoofdstuk 9 voor periodieke drukvariatie en gelijkmatige drukverlaging.

Het schema van figuur 2.1 laat ook zien dat, naast hydraulische en geometrische randvoorwaarden, de hydraulische eigenschappen en de sterkte parameters van bekleding en grond van belang zijn. Die worden behandeld in respectievelijk hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5.

2. PROCEDURE VOOR DE BEPALING VAN DE STABILITEIT

2.1 Systematiek

In figuur 2.1 wordt de algemene vorm van de procedure weergegeven. In het algemeen wordt de stabiliteit beheerst door drie elementen: het open water, het grondwater en de mechanische sterkte van bekleding en ondergrond. De interactie tussen de drie elementen kan worden beschreven door de drie overdrachtsfuncties I, II en III. De overdrachtsfunctie I, bepaalt de externe hydraulische golfbelasting op het talud op basis van de diep water golf karakteristiek, de vooroevervorm en de taludgeometrie (paragraaf 2.2 en hoofdstuk 3). Overdrachtsfunctie II beschrijft de overdracht van de externe golfbelasting naar de interne waterspanningsverandering in het talud, dus in en onder de bekleding (paragraaf 2.3 en de hoofdstukken 6 en 7). De hydraulische eigenschappen van de grond en de bekleding zijn hierbij van groot belang (hoofdstuk 4).

De stabiliteit van de bekleding en mogelijk een deel van de grond bij de gegeven externe en interne belasting wordt beschreven door de overdrachtsfunctie III (paragraaf 2.4 en de hoofdstukken 8 en 9). Daarbij zijn de sterkteparameters van de bekleding en de grond van belang (hoofdstuk 5).

De procedure voor de bepaling van de stabiliteit van oeverbeschermingen is sterk afhankelijk van het type golfbelasting en het type oeverbescherming, het soort ondergrond en het beschouwde soort afschuiving. Daarom wordt het schema van figuur 2.1 nader gedetailleerd om tot een praktisch bruikbare procedure te komen. bladnummer : - 15 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

2.2 <u>Bepaling externe golfbelasting</u> (overdrachtsfunctie I - hoofdstuk 3)

De golf aan de teen van het talud, is in de regel het resultaat van een opgewekte windgolf of scheepsgolf, welke van vorm verandert indien de golf van diep water in ondiep water en vervolgens op het talud aankomt (stap Ia). Aan de teen van het talud zijn van de windgolven meestal alleen de korte, brekende golven van belang. Van de scheepsgolven kunnen zowel de korte brekende "secundaire" golven van belang zijn als de lange(re) golven die als waterspiegelvariatie geschematiseerd kunnen worden.

Daar waar mogelijk wordt in het schema verwezen naar de paragrafen van dit rapport waarin de desbetreffende berekeningsprocedure wordt behandeld. Omdat het berekenen van het ontstaan van scheepsgolven en windgolven en de vervorming tot aan de teen van het talud niet tot dit rapport behoort wordt in dat geval verwezen naar de literatuurlijst. De golfkarakteristieken aan de teen van het talud worden hier dus bekend verondersteld. Wel wordt in dit rapport aangegeven hoe hieruit de externe belasting bepaald kan worden: stap Ib. Voor de grondmechanische stabiliteit is van de externe belasting alleen de druk op het talud van belang. De belasting door korte brekende golven kan het beste gesplitst worden in enerzijds de 1 golfklap-druk, anderzijds de periodieke drukvariatie of een gelijkmatige drukverlaging. Alle drie zullen op een bepaalde manier gekarakteriseerd worden, afhankelijk van de toepassing . De waterspiegelvariatie door schepen uit zich op het talud als een gelijkmatige drukverlaging.

2.3 <u>Bepaling interne waterdrukken</u> (overdrachtsfunctie II - hoofdstukken 6 en 7.

In figuur 2.3 wordt voor de golfklap meer uitgebreid ingegaan op de overdrachtsfunctie II. Deze wordt in sterke mate beinvloed door de combinatie van karakteristieke golf- en taludeigenschappen welke kunnen worden uitgedrukt in lengte eenheden als golflengte, leklengte, lengte van elastische berging, en compressiestijfheden van water en korrelskelet. Voor 6 extreme combinaties van lengten en stijfheden kan het verloop van de interne waterdrukken eenvoudig worden geschematiseerd. In de overige gevallen dient dit verloop meer uitgebreid te worden berekend. Hierbij kan gedacht worden aan berekeningen met een één-dimensionaal analytisch rekenmodel, een ééndimensionaal numeriek model of een twee-dimensionaal eindige elementen model.

Ten gevolge van herhaalde ("cyclische") golf(klap)belasting kan bij (vrij) losgepakt zand een extra waterspanning gegenereerd worden welke relatief langdurig aanwezig blijft. Deze bijdrage aan de interne waterdruk moet worden opgeteld bij de plotselinge interne waterdrukverandering door de golfklap.

Voor de externe golfbelasting in de vorm van periodieke drukvariatie of van gelijkmatige drukverlaging ziet het schema voor overdrachtsfunctie II er precies zo uit.

2.4 <u>Bepaling stabiliteit</u> (overdrachtsfunctie III- hoofdstukken 8 en 9

Hier wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds de stabiliteit bij een golfklap (fig. 2.4), anderzijds die bij periodieke drukvariatie of gelijkmatige drukverlaging (fig. 2.5). Overdrachtsfunctie III wordt in twee of vier stappen opgesplitst.

De eerste stap bij de golfklap wordt aangeduid met IIIc. Het gaat om de bepaling van het kritieke afschuifvlak of glijvlak waarlangs de stabiliteit verloren kan gaan. Bij golfklappen wordt dit glijvlak geschematiseerd tot een cirkelvormig of driehoekig glijvlak. De golfklap wordt geschematiseerd tot een zgn. strokenbelasting.

y;

In figuur 2.5 wordt op de zelfde wijze het stroomschema gegeven voor een periodieke drukvariatie of een gelijkmatige drukverlaging op het talud. De stabiliteitsbeschouwing is meer uitgebreid omdat eerst de locale stabiliteit van een blok of deel van de bekleding, moet worden onderzocht. Daarbij kan worden aangenomen dat, indien lokale stabiliteit van het meest kritieke deel van de bekleding (met eventueel stuk ondergrond) gewaarborgd is, tevens de totale stabiliteit is gewaarborgd. Is de locale stabiliteit niet overal verzekerd, dan moet ook de totale stabiliteit voor een glijvlak evenwijdig aan het talud of voor een gekromd glijvlak worden onderzocht.

Naast het onderscheid tussen enerzijds golfklap, anderzijds periodieke drukvariatie of gelijkmatige drukverlaging, is er dus het onderscheid tussen locale en totale stabiliteit. Er is bij overdrachtsfunctie III tenslotte nog een onderscheid, dat aan de orde komt bij de keuze van de ligging van het afschuifvlak. Dat vlak kan (grotendeels) samenvallen met het grensvlak tussen twee materialen, maar het kan ook midden door de toplaag, een tussenlaag of de ondergrond gaan. Vaak is niet zondermeer duidelijk welk vlak gezien de verschillen in wrijvingseigenschappen maatgevend zal zijn. bladnummer : - 18 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

3. EXTERNE GOLFBELASTING

3.1 Oorsprong golven

3.1.1 Windgolven op diep water

Een windgolf kan op diep water gekarakteriseerd worden door golfhoogte H_o en golfperiode T of door H_o en golflengte L_o . Een windgolfveld kan gekarakteriseerd worden door het golfspectrum of door bijvoorbeeld twee parameters uit dat spectrum: de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p .

Voor de bepaling van deze karakteristieken wordt verwezen naar handboeken of collegedictaten over windgolven en kustwaterbouwkunde, bijvoorbeeld Bijker, "Coastal Engineering", TUD of US Coastal Eng. Res. Center, "Shore Protection Manual".

3.1.2 Scheepsgeinduceerde waterbeweging

De golfbewegingen welke op rivieren en kanalen door schepen worden geproduceerd, kunnen worden beschreven in termen van stromingen, golven en spiegeldalingen. De grootte van elk van deze termen is afhankelijk van grootte en snelheid van het schip en de geometrie van de vaarweg.

Bij de beschrijving van die waterbeweging wordt vaak onderscheid gemaakt in:

- schroefstraal
- primaire waterbeweging (boeggolf, spiegeldaling, haalgolf, talud-volg stroom en retourstroom)
- secundaire waterbeweging (transversale golf, divergerende golf en interferentiepieken)

bladnummer : - 19 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Beschrijving en berekeningsmethoden zijn te vinden in [v.d. Knaap, 1986]. Ook is veel informatie te vinden in [Verhey en v.d.Wal, 1983]. Een samenvatting is beschreven in [PIANC, 1987]. Voor het hier beschouwde faalmechanisme is de schroefstraal van geen betekenis. Van de primaire waterbeweging is vooral de spiegeldaling van belang. Als de secundaire waterbeweging van belang is (niet vaak), dan zijn de interferentiepieken maatgevend. Deze golven zijn kort. Zij breken meestal op het talud. De primaire golf is relatief lang. Van een soort breken is alleen soms sprake bij de (hier niet zo belangrijke) haalgolf.

3.2 Golf aan teen talud

3.2.1 Korte, brekende golf

Een windgolf die een talud nadert transformeert onder invloed van refractie, breking en reflectie: overdrachtsfunctie Ia. Dit proces wordt in grote mate bepaald door de vooroever-geometrie. Voor de resulterende karakteristieken van de golf aan de teen van het talud wordt verwezen naar literatuur over windgolven en kustwaterbouwkunde.

÷,

Een belangrijke parameter voor de drukken die de golf op het talud veroorzaakt is de brekingsparameter ξ waarin ook de taludhelling a voorkomt:

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\int H_0/L_0} = \tan\alpha \int \frac{2\pi T^2}{g H_0} \qquad \qquad \xi_p = \tan\alpha \int \frac{2\pi T_p^2}{g H_s}$$

De secundaire scheepsgolf transformeert bij nadering van het talud in principe op dezelfde wijze als een windgolf. In de praktijk kan de secundaire scheepsgolf echter alleen van belang zijn als het schip dicht langs het talud vaart, zodat van transformatie nauwelijks sprake is. De golfkarakteristieken aan de teen van het talud volgen dan ook direct uit de formules vermeld in de literatuur genoemd in paragraaf 3.1.2. bladnummer : - 20 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

3.2.2. Waterspiegelvariatie of lange golf

De grootte van de spiegeldaling aan de teen van het talud direct uit de formules vermeld in de literatuur genoemd in paragraaf 3.1.2. Overdrachtsfunctie Ia hoeft dus niet expliciet bepaald te worden.

3.3 <u>Externe golfbelasting op het talud</u> (meer informatie in M1795/M1881, deel XXII, band B, sectie 5)

3.3.1 Algemene kenmerken drukverloop op het talud.

De golfdruk op het talud varieërt in plaats en tijd. De variatie in de x-richting, d.w.z. de richting van de as van de dijk of de vaarweg, is zelden van belang. Bij de variatie in plaats gaat het om de yrichting, loodrecht op die as, langs het talud. In de figuren 3.1 en 3.2 zijn voorbeelden gegeven van de variatie in plaats en tijd voor respectievelijke een korte, brekende golf en een waterspiegelvariatie door een schip. In figuur 3.1 staan twee schetsen die dezelfde variatie presenteren. De presentatie wijze is verschillend. Voor figuur 3.2 geldt hetzelfde.

Bij een eerste aanblik ziet het beeld er grillig uit, vooral in figuur 3.1 t.p.v. y₂ en op tijdstip t₃. Toch is er wel een zodanige systematiek in te ontdekken dat schematisering van het drukverloop MOGELIJK is. In hoeverre schematisering TOELAATBAAR is hangt in de eerste plaats af van de vraag waarvoor het drukverloop van belang is: a) voor de bepaling van de interne waterdruk (overdrachtsfunctie II)

 b) als randvoorwaarde voor de bepaling van eventuele generatie van wateroverspanning door cyclische belasting

c) voor de bepaling van de stabiliteit (overdrachtsfunctie III)

bladnummer : - 21 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Ad.a) Voor de bepaling van de interne waterdruk zoals in hoofdstuk 6 zal blijken zijn allereerst de karakteristieke lengte L_E, de karakteristieke tijdsduur T_E en de karakteristieke drukvariatie pg H_E nodig. Met die parameters kan men de externe golfdruk op het talud globaal karakteriseren. Zie figuur 3.3 en 3.4. Of een bepaalde schematisering t.b.v. de bepaling van de interne waterdruk toelaatbaar is, hangt van deze parameters af en van een aantal parameters waarmee de hydraulische eigenschappen van bekleding en grond gekarakteriseerd kunnen worden. Een en ander wordt in de hoofdstukken 4 en 6 behandeld.

Daar zal aannemelijk worden gemaakt dat in vele gevallen de respons van het water in en onder de bekleding ôf zeer snel is ôf zeer gering is, zodat de externe belasting als quasistationair beschouwd mag worden en alleen het voor de stabiliteit meest ongunstige moment van belang is. Zie daarvoor ad.c)

Voor de gevallen waarbij de externe belasting niet als quasistationair beschouwd mag worden, zijn schematisaties van het drukverloop niet of nauwelijks toelaatbaar. Dan zullen complete drukregistraties als functie van tijd en plaats moeten worden gebruikt als randvoorwaarde om de interne waterdruk te bepalen, zelfs al is voor de stabiliteit uiteindelijk slechts een moment van belang.

Ad.b) Als het gaat om de bepaling van de mate van waterspanningsgeneratie door cyclische belasting van (vrij) losgepakt zand, zoals behandeld in hoofdstuk 7, is zowel de variatie in tijd als in plaats (y-richting) van belang. Gezien het zeer globale karakter van de methode is het echter toelaatbaar om de externe belasting voor dat doel te schematiseren tot een sinusvorming in tijd en plaats variërend drukverloop als bij een eenvoudige staande golf. Ad.c) Voor de bepaling van de stabiliteit tegen afschuiven is alleen het meest ongunstige moment van belang, omdat, zelfs bij golfklappen, dat "moment" nog lang genoeg duurt om de invloed van traagheid verwaarloosbaar klein te maken.

Bij een korte golf is het ongunstigste moment óf het ogenblik waarop de golfklap maximaal is (zie par. 3.3.2) óf het ogenblik vlak voor het breken (zie periodieke drukvariatie par.3.3.3) óf het ogenblik waarop de stijghoogte aan de teen minimaal is (zie gelijkmatige drukverlaging par. 3.3.4).

Bij een waterspiegelvariatie is dat het ogenblik van de laagste waterspiegel (zie gelijkmatige drukverlaging par. 3.3.4).

3.3.2 Golfklapdrukken

a.) Voor de bepaling van de interne waterdruk (overdrachtsfunctie II) zijn in de eerste plaats de globale karakteristieken van belang, daarvoor kan genomen worden (vgl. figuur 3.3): $L_E = 2.C_3 H \text{ of } 2.C_3.H_s \text{ met } C_3 = 0,6$ $H_E = q.H \text{ of } q.H_s \text{ met } q = 2 \text{ á } 8 \text{ (zie hieronder)}$ $T_E = 0,05 T \text{ of } 0,05 T_p$

b.) Voor de bepaling van waterspanningsgeneratie door cyclische belasting van (vrij) losgepakt zand, kan de golfklapdruk geschematiseerd worden tot: $P_{EX} = \frac{1}{2} q_{50} \rho g H (1 + \cos \frac{2\pi}{T} t \cos \frac{2\pi}{L_E} y)$ of idem met T_p en H_s i.p.v. T en H

met $q_{50} = 8 \text{ tga}$ (95% betrouwbaarheidsinterval 5 tga < q_{50} < 12 tga)

bladnummer : - 23 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

c.) Voor de bepaling van de stabiliteit (overdrachtsfunctie III) kan de golfklap benaderd worden door een strokenbelasting (zie fig. 3.5) met de volgende twee karakteristieken:

de waarde van de golfdruk die eenmaal per 1000 klappen overschreden wordt = q_{0,i} . pg H_s met q_{0,i} = 16 tga (95% betrouwbaarheid 10 tga < q_{0,i} < 24 tga)

-

de breedte waarover deze optreedt = $C_3 \cdot H_s$ met C_3 = 0,6 (95% betrouwbaarheid geschat op 0,3 < C_3 < 1,2)

3.3.3. Periodieke drukvariatie

a.) Voor de bepaling van de interne waterdruk (overdrachtsfunctie II)zijn in de eerste plaats de globale karakteristieken van belang.Daarvoor kan genomen worden (vgl. figuur 3.3):

$$\begin{split} L_E &= \frac{\pi \ H \ tg\beta}{\cos \alpha} \quad \text{of} \quad \frac{\pi \ H_s}{\cos \alpha} \ \text{met} \ tg\beta = 0,5 \ \text{a} \ 1,5 \\ H_E &= 0,6 \ \text{a} \ 2,2 \ \text{H} \quad \text{of} \quad 0,6 \ \text{a} \ 2,2 \ \text{H} \\ T_E &= T \ \text{of} \ T_p \\ \text{Hierin is } \beta \ \text{de steilheid van het golffront, zie onder c.} \end{split}$$

b.) Voor de bepaling van de waterspanningsgeneratie door cyclische belasting van (vrij) losgepakt zand, kan de periodieke waterdruk voor regelmatige golven geschematiseerd worden tot: $P_{EX} = \hat{p} \cos \frac{2\pi t}{T} \cos \frac{2\pi}{L} y$

 $\hat{p}(h) = \frac{\rho g H}{2 \cosh (2\pi h/L)} \text{ en } \hat{p}(h) = \frac{\rho g L \tanh (2\pi h/L)}{14 \cosh (2\pi h/L)}$

L = L(h) = L tanh $(2\pi h/L)$ met $L = gT^2/2\pi$

Waarden van deze grootheden zijn te vinden in tabel 7.1. Voor onregelmatige golven moet men H vervangen door H_s en T door T_p . bladnummer : - 24 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

OPMERKING: De formules voor p en L zijn ontleend aan de golftheorie voor flauw oplopende bodem, onderworpen aan "shoaling" en breken. Uiteraard is toepassing van deze theorie op een talud in strijd met de uitgangspunten van de theorie. Voor een eerste benadering blijkt hij echter toch geschikt, althans voor h < 0,5 H. Zie Best e.a. 1988, par. 3.2. Geadviseerd wordt om hier een betere benadering voor te vinden

c.) Voor de bepaling van de stabiliteit (overdrachtsfunctie III) kan de periodieke waterdruk op het moment vlak voor breken geschematiseerd worden als geschetst in figuur 3.5: onderaan het talud een constante stijghoogte; bovenaan een stijghoogte gelijk aan het taludoppervlak (of daar iets boven, maar in ieder geval evenwijdig aan het taludoppervlak); daartussenin een golffront. Deze schematisatie kan met drie parameters beschreven worden: $\overline{\Phi}_b$, β en R_d . Volgens [Banach en Klein Breteler 1989] geldt voor regelmatige golven: $\overline{\Phi}_b/H = 0,36.\xi.\sqrt{\cot\alpha} \text{ met } \overline{\Phi}_b/H \leq 2,2$ $tg\beta = \frac{0.17}{\sqrt{H/L_o}}$ $R_d/H = 0,11 (\xi^2 \cot\alpha)^{0,8} \text{ met } R_d/H \leq 1,5$

Hieruit volgt: $\Phi_{b} = 0,6 \text{ á } 2,2 \text{ H}$ tg $\beta = 0,5 \text{ á } 1,5$ $R_{d} = 0,3 \text{ á } 1,5 \text{ H}$

Deze formules gelden mits:

2 $\leq \cot \alpha \leq 4$ 0,01 $\leq H/L_0 / \leq 0,07$ 0,05 $\leq h_0 / L_0 \leq 0,2$ $h_0 - waterdiepte teen talud$ $2,5 <math>\leq h_0 / H \leq 10$

OPMERKING: De parameter R_d lijkt op de "run-down". Toch is dat een andere grootheid. Deze parameter heeft betrekking op het stijghoogte niveau ter plaatse van het taludoppervlak; de "run-down" echter op het niveau van de waterspiegel, ergens daarboven. R_d kan een factor 2 of 3 groter zijn dan de "run-down". Om verwarring te voorkomen wordt elders meestal in plaats van R_d het symbool de gebruikt.

bladnummer : - 25 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Voor onregelmatige golven wordt aangeraden H door H $_{\rm S}$ en T door T te vervangen.

Het 95% betrouwbaarheidsinterval van de formules voor Φ_b wordt geschat op een factor 1,2; die voor tg β op een factor 1,5.

3.3.4 Gelijkmatige drukverlaging

a.) Voor de bepaling van de interne waterdruk (overdrachtsfunctie II)
zijn in de eerste plaats de globale karakteristieken van belang.
Daarvoor kan genomen worden (vgl. figuur 3.4):

 $\begin{array}{l} L_{E} = \pi \ H_{E} \ / \sin \alpha \\ H_{E} = C_{4} R_{d} = \max \text{imum stijghoogtedaling bij de teen van het talud} \\ T_{E} = \frac{\pi H_{E}}{\delta H / \delta t} \ (\text{primaire scheepsgolf}) \qquad \text{dan wel} = T \ \text{of } T_{p} \ (\text{windgolf}) \\ \delta H / \delta t = \text{snelheid spiegeldaling tijdens boeggolf} \end{array}$

c.) Voor de bepaling van de stabiliteit (voordrachtsfunctie III) kan de gelijkmatige drukverlaging geschematiseerd worden als aangegeven in figuur 3.5: beneden het niveau van de gedaalde spiegel een constante stijghoogte; daarboven (tot het stilwaterniveau) een stijghoogte gelijk aan het taludoppervlak of, als de toplaag bestaat uit breuksteen, gelijk aan de onderkant van de toplaag. Slechts één parameter is van belang: de maximum stijghoogtedaling bij de teen van het talud. Deze wordt hier uitgedrukt als het produkt C_4 . R_d .

Bij een korte golf wordt C₄ gedefiniëerd als de coëfficiënt waarmee R_d vermenigvuldigd moet worden om de maximum stijghoogtedaling bij de teen van het talud te krijgen. Waarschijnlijk geldt: C₄= 0,4 á 0,8.

Bij een waterspiegelvariatie t.g.v. een primaire scheepsgolf of een lange golf kan gesteld worden:

C₄.R_d = (per definitie) de maximum stijghoogtedaling bij de teen van het talud = ca maximum waterspiegeldaling.

4. HYDRAULISCHE EIGENSCHAPPEN VAN BEKLEDING EN GROND

4.1 <u>Doorlatendheid</u>

De doorlatendheid van loskorrelig materiaal kan algemeen beschreven worden met de vergelijking van Forchheimer [den Adel, 1987]:

i = aq + bq²
q = filter snelheid
met laminaire term: a =
$$c_0 \frac{v}{g} \frac{(1-n)^2}{n^3 d_{15}^2}$$
 (s/m)
turbulente term: b = $\frac{c_7}{2}$

turbulente term:
$$b = \frac{1}{g n^2 d_{1s}}$$
 (s'/m')

$$c_{0} = 0.9 \pm 5.3$$

De gelinealiseerde doorlatendheid k_1 bij een verhang i_1 wordt:

$$k_{1} = \frac{-a + \sqrt{(a^{2} + 4bi_{1})}}{2bi_{1}}$$

De gelinealiseerde doorlatendheid k_1 bij een filtersnelheid q_1 wordt:

$$k_1 = \frac{1}{a + b q_1}$$

bladnummer : - 27 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

4.1.3 Klei

De doorlatendheid van klei is in het algemeen zeer gering. De doorlatendheid kan worden bepaald aan de hand van de samendrukkingsproef ofwel oedometertest. In deze test wordt bij een gegeven consolidatieniveau de samendrukkingsconstante m_v , de consolidatiecoëfficiënt c_v en de doorlatendheid k bepaald.

4.1.4 Geotextiel

Geotextielen zijn in het algemeen zeer doorlatend. Toch mag de hydraulische weerstand bepaald niet altijd verwaarloosd worden. Bij directe golfbelasting onder een zeer open bekleding kan de stroming door het geotextiel turbulent zijn. Indien het geotextiel ingesloten zit tussen filtermateriaal en ondergrond is de stroming doorgaans laminair. Om rekening te kunnen houden met beide vormen van stroming is de vergelijking van Forchheimer weer het meest geschikt. Deze vergelijking is geïntroduceerd in de formule voor de doorlatendheid van een toplaag met geotextiel die te vinden is in bijlage 1. De doorlatendheid van geotextielen kan worden bepaald aan de hand van een doorstroomproef.

4.1.5 Steenzettingen, blokkenmatten e.d.

De doorlatendheid van een steenzetting wordt bepaald door de afmeting van de blokken en spleten en de doorlatendheid van de ondergrond. Een en ander wordt behandeld in [Klein Breteler, 1986] waarvan de resultaten hier zijn overgenomen in bijlage I. De (gelineariseerde toplaagdoorlatendheid wordt aangeduid met k'. bladnummer : - 28 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

4.2 <u>Het begrip leklengte of lekhoogte</u>

OPMERKING: in vorige rapporten en ook in eerdere versies van dit rapport werd alleen de term "lek*lengte*" met symbool " λ " gebruikt. Daarmee werd de grootheid bedoeld die hier met "lek*hoogte* λ " wordt aangeduid.

De waterdruk direct onder de toplaag (eventueel inclusief geotextiel) wordt veelal in hoge mate bepaald door de verhouding tussen de doorlatendheid van de toplaag loodrecht op het talud en de doorlatendheid van de lagen eronder evenwijdig aan het talud. Die verhouding kan uitgedrukt worden in een karakteristieke lengte, de leklengte A, of in de lekhoogte λ .



De leklengte Λ is goed gedefinieerd als er zich een niet al te dikke filterlaag onder de toplaag bevindt. Λ is de lengte waarover het stuk toplaag een even grote "doorlaatbaarheid" heeft als het overeenkomstige stuk filterlaag. "Doorlaatbaarheid" van het stuk toplaag met lengte Λ wordt hier gedefinieerd als de verhouding tussen debiet door het stuk toplaag en het stijghoogteverschil over dat stuk, dus als k['] Λ /D. De "doorlaatbaarheid" van het stuk filterlaag is overeenkomstig kb/ Λ . Hieruit is af te leiden: $\Lambda = \sqrt{-\frac{k \ b \ D}{k'}}$ en $\lambda = \sin \alpha \sqrt{-\frac{k \ b \ D}{k'}}$ bladnummer : - 29 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Bij een toplaag direct op zand of klei is de leklengte niet zo goed te definiëren, tenzij er ruimte onder de toplaag aanwezig is door een gebrekkige aansluiting. In dat geval kan die ruimte theoretisch als een soort filterlaag worden beschouwd.

In paragraaf 6.3 zal aannemelijk worden gemaakt dat de leklengte een maat is, die het gebied aangeeft waarin een lokale wijziging van de waterspanning in een filterlaag merkbaar is. Een golfaanval geeft lokaal op het talud een drukverandering in het filter. Bij een kleine leklengte, bijv. door een zeer doorlatende zetting, neemt de drukverandering in het filter op geringe afstand van de drukverandering snel af doordat water gemakkelijk tussen de stenen weg kan stromen. Indien de doorlatendheid van de bekleding zeer laag is, bijv. door verstopte spleten tussen de blokken, dan is het invloedsgebied groot tot onbeperkt en kan een lokale wijziging in de waterspanning in het filter overal in het filter merkbaar zijn.

4.3 <u>Porositeit en relatieve dichtheid van zand</u>

De porositeit van de grond is afhankelijk van de korrelvorm, korrelverdeling en belastingsgeschiedenis. De porositeit is van belang bij de bepaling van doorlatendheden, relatieve dichtheden en stijfheden.

De porositeit n en het poriëngetal e worden bepaald door het volumeaandeel poriën per eenheidsvolume grond

 $n = \frac{v_{po}}{v_{gr}} \qquad e = \frac{v_{po}}{v_{gr} v_{po}} = \frac{n}{1 - n}$

Voor het gedrag tijdens belastingsveranderingen van niet cohesieve materialen zoals zand en grind is de relatieve dichtheid van belang De relatieve dichtheid geeft aan hoe een dichtheid van een materiaal zich verhoudt tot de minimaal en maximaal mogelijke dichtheid van het materiaal. Er zijn twee definities, vaak aangeduid met Dr respectievelijk R_D. Beide zijn gebaseerd op volume percentages.

$$Dr = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}} \qquad R_{D} = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} = Dr \frac{1 - n_{\min}}{1 - n_{\min}}$$

met

4.4 Compressibiliteit van grond en water

De compressibiliteit van water wordt in sterke mate bepaald door het luchtgehalte. Zuiver water zonder lucht heeft een compressie modulus van Kw_o = 2.1 10⁶ kN/m². Toename van het luchtgehalte is gelijk aan een afname van de verzadigingsgraad Sr

Sr =
$$\frac{Vw}{Vpor}$$

Vw = volume water per volume eenheid grond
Vpor = poriënvolume per eenheid grond

De compressie modulus Kw voor onverzadigd water volgt uit [Verruyt, 1969]

$$\frac{1}{Kw} = \frac{1}{Kw0} + \frac{1-Sr}{P_0}$$

 P_0 = absolute waterdruk

bladnummer : - 31 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De stijfheid van het korrelskelet wordt uitgedrukt in de compressie modulus K en de glijdingsmodulus G. In plaats van K en G kan men ook de elasticiteitsmodulus E en de dwarscontractiecoëfficiënt v toepassen. Deze kunnen in elkaar omgerekend worden. Er geldt:

$$K = \frac{1}{3} \frac{E}{1 - 2\nu}$$
 en $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$

$$E = \frac{3 KG}{K + \frac{1}{2} G} en v = \frac{1}{2} \frac{K - \frac{2}{3} G}{K + \frac{1}{3} G}$$

4.5 Elastische berging

Door het belasten van grond treedt volumeverandering op van zowel het korrelskelet als het poriënwater. De extra hoeveelheid water die daardoor per tijdseenheid "geborgen" kan worden is in algemene zin afhankelijk van de consolidatie coëfficiënt c_v. Deze is als volgt gedefiniëerd:

÷

ŕ

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{1}{n/K_w + 1/(K+4G/3)}$$

Als het poriënwater relatief stijf is, gaat de consolidatiecoëfficiënt over in die voor het korrelskelet. Die zal hier met c_v^* worden aangeduid:

$$c_v^* = \frac{k}{\gamma_w m_v} \text{ met } m_v = 1/(K + 4 G/3)$$

Het is van groot belang dat men de waarden van K en G kiest die thuishoren bij elastische vervorming en niet bij plastische vervorming. Verhoging van de belasting op grond tot een niveau σ_{ig}' waarop de grond nog niet belast is leidt tot niet omkeerbare plastische vervorming en omkeerbare elastische vervormingen. Verhoging van de belasting op grond tot een reeds eerder bereikt niveau σ_i' leidt tot elastische vervormingen. Na ontlasting zijn deze vervormingen opgeheven.

In het algemeen heeft golfbelasting slechts elastische vervormingen tot gevolg. De consolidatiecoëfficiënt c,* voor elastische berging kan bladnummer : - 32 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

worden bepaald aan de hand van de waarde k en m $_{\rm V}$ van een ontlastende tak in een oedometer test.



bladnummer : - 33 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

5. STERKTE PARAMETERS VAN BEKLEDING EN GROND

5.1 De schuifsterkte van zand

De maximaal te mobiliseren schuifsterkte τ_{max} in zand wordt volledig bepaald door de heersende korrelspanningen σ' en de hoek van inwendige wrijving ϕ . Indien de ligging van het glijvlak bekend is, is de schuifsterkte τ_{max} te bepalen door

$$\tau_{\max} = \sigma' \tan \Phi$$

Bij een verandering van de totaalspanningen σ met $\Delta \sigma$ en/of waterspanningsverandering Δp in een punt verandert direct de maximale schuifsterkte, immers

$$\sigma = \sigma' + p$$

dus

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma' + \Delta p$$

Voor de duidelijkheid is het raadzaam altijd met effectieve ofwel korrelspanningen te rekenen.

De inwendige wrijvingshoek \blacklozenge voor zand is afhankelijk van de dichtheid van zand, de korrelvorm en de korrelverdeling. Ook is het spanningsniveau σ' enigszins van invloed. De inwendige wrijvingshoek kan worden bepaald door middel van triaxiaal testen.

Door [Lindenberg, 1989] is als richtlijn een verband afgeleid tussen de inwendige wrijvingshoek ϕ en de relatieve dichtheid van zand D_r

> $D_{r} = 30 \% ; \phi \le 33 °$ $D_{r} = 50 \% ; \phi \le 37 °$ $D_{r} = 70 \% ; \phi \le 40 °$

bladnummer : - 34 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Volgens de Danish code of practise geldt voor kwarts-zanden het volgende verband:

 $\Phi = 30^{\circ} - \frac{3}{UR} + (14 - \frac{4}{UR}) RD$

met UR = d_{60}/d_{10} uniformity ratio

zodat:

Zeer goed gegradeerd (UR $\rightarrow \infty$) : 30° < ϕ < 44°/ Zeer uniform (UR = 1) : 27° < ϕ < 37°

5.2 <u>De schuifsterkte van klei</u>

In zijn algemeenheid is de maximaal te mobiliseren schuifsterkte van klei τ_{max} geen vast gegeven. Door schuifspanningsveranderingen zal het kleikorrelskelet van volume willen veranderen. Deze volumeverandering kan slechts optreden indien de doorlatendheid dusdanig groot is dat water tijdig kan toestromen. In klei is de doorlatendheid zeer gering en is bovendien de skeletdeformatie relatief groot. De schuifsterkte wordt dus in sterke mate bepaald door de snelheid waarmee een bepaalde belastingsverandering wordt aangebracht. In het geval van golfbelasting op een talud vinden belastingwisselingen doorgaans snel plaats.

In dat geval is de schuifsterkte van klei gelijk aan de ongedraineerde schuifsterkte C

$$\tau_{max} = C_{u}$$

bladnummer : - 35 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De ongedraineerde schuifspanning is afhankelijk van de consolidatiespanning σ'_V . De consolidatiespanning is de effectieve vertikale bovenbelasting waarop klei op een zekere diepte geconsolideerd is.

De relatie tussen de ongedraineerde schuifsterkte C_u en de consolidatiespanning σ'_V kan bepaald worden aan de hand van een serie triaxiaalproeven. Hierbij wordt op een drietal monster verschillende consolidatiespanningen aangebracht rond de te verwachte consolidatiespanning en vervolgens ongedraineerd tot bezwijken gebracht. Het resultaat van de testen is een relatie tussen C_u en σ'_V welke kan worden uitgedrukt in C (bij $\sigma'_V=0$) en de ongedraineerde wrijvingshoek ϕ_u .

 $C_u = C + \sigma'_v \cdot \tan \phi_u$

Deze C en ϕ_u waarden zijn slechts geldig voor het consolidatiespanningsniveau waarbij zij bepaald zijn. Extrapolatie naar een veel lagere consolidatiespanning kan een overschatting van de ongedraineerde schuifsterkte geven en mag zeker niet worden toegepast. Doorgaans zal C een reële waarde hebben. Echter, het consolidatiespanningsniveau direct onder de bekleding is zo gering dat C reduceert tot nul. In dat geval resteert

 $C_u = \sigma'_v \cdot \tan \phi_u$ voor beperkte diepte z onder de bekleding geldt voor de consolidatiespanning

 $\sigma'_v = z \cdot (\gamma_g - \gamma_w)$

bladnummer : - 36 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Een andere methode ter bepaling van de ongedraineerde schuifsterkte C_u is door gebruik making van in de literatuur geaccepteerde relatie tussen C_u en σ'_v . Volgens [Ladd, 1985] geldt in het algemeen voor normaal geconsolideerde klei:

$$\frac{c}{\sigma'_{v}} = (0,23 \pm 0,04)$$

De spreiding 0.04 geeft de afhankelijkheid weer voor kleikarakteristieken zoals mineraalsoort, korrelverdeling e.d. Bij kleien welke eerder een hogere consolidatiespanning o' hebben gehad, zoals bij dijkbekledingen over het algemeen het geval is, wordt bovenstaande betrekking uitgebreid met de overconsolidatie ratio OCR

$$\frac{C_u}{\sigma'_v} = (0,23 \pm 0,04) - 0 \text{ OCR}^{0.8}$$

met

$$OCR = \frac{\sigma'_{VC}}{\sigma'_{VC}}$$

Boven de grondwaterstand wordt de schuifsterkte van klei extra beinvloed door de mate van verzadiging en de kapilaire werking in klei. Een slechte verzadiging van overgeconsolideerde klei leidt tot een vermindering van de wateronderspanning en dus tot een afname van de schuifsterkte. Daarentegen kan door de kapilaire werking juist een grote wateronderspanning ontstaan waardoor juist een toename van de schuifsterkte kan worden verwacht. Beide effecten tegelijk kan aanleiding zijn tot een gescheurde harde klei welke zich kan gedragen als een granulair materiaal.

De schuifsterkte kan onder deze condities slechts d.m.v. proeven worden bepaald. bladnummer : - 37 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

5.3 De schuifsterkte tussen geotextiel en grond

De stabiliteit tegen afschuiving van een bekleding op een geotextiel wordt in sterke mate bepaald door de adhesiesterkte (=schuifsterkte) tussen geotextiel en ondergrond en die tussen geotextiel en bekleding. Deze kan als volgt geformuleerd worden:

 $\tau_{max} = \sigma' \tan \delta_a$ (voor zand, grind e.d.) of $\tau_{max} = C_a$ (voor klei)

De mate van adhesiewrijving δ_a van een geotextiel is bovendien afhankelijk van het type geotextiel dat wordt toegepast. Geweven geotextielen met een glad oppervlak hebben een lagere adhesie dan geweven geotextielen met een ruw oppervlak en nietgeweven geotextielen.

De wrijving tussen geotextiel en ondergrond kan worden uitgedrukt in een percentage van de inwendige wrijvingshoek van de ondergrond. De adhesiewrijving kan worden bepaald door middel van een zg. directshear test.

In [Veldhuijzen van Zanten, 1986] wordt gesteld dat voor zand de ratio E_a tussen de wrijvingshoeken van adhesie en het zand zelf, uitgedrukt in

 $E_a = tan \delta_a / tan \phi$

kan variëren tussen

 $E_a = 0,58$ voor gladde PE $E_a = 0,88$ voor PVC met ruw oppervlak bladnummer : - 38 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Uit onderzoek van Ingold [Verhey en v.d.Wal, 1983] naar de adhesie tussen geotextielen op zand bleek dat voor niet geweven geotextielen geldt

 $E_a = 0,90$ en voor geweven geotextielen $E_a = 0,90$ bij ruwe oppervlakken $E_a = 0,60$ bij gladde oppervlakken

Voor verzadigde klei is de grootte van de ongedraineerde adhesieschuifsterkte C_a bij de snelle belastingveranderingen die hier van belang zijn, in de zelfde orde als de ongedraineerde schuifsterkte C_a van klei.

 $C_a = C_u$

5.4 <u>De schuifsterkte tussen geotextiel en beton of asfalt</u>

De adhesiewrijving tussen bekleding en geotextielen is afhankelijk van de zg. oppervlakteruwheden van zowel geotextiel als bekleding. Voor blokken met een ruw oppervlak mag gerekend worden met de waarde zoals voor de adhesie tussen geotextiel en zand is gegeven. In geval van blokken met een glad oppervlak dient de adhesiewrijving δ_{a} extra gereduceerd te worden met een factor 2/3. bladnummer : - 39 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

5.5 De schuifsterkte tussen beton of asfalt en grond

De adhesie tussen blokken uit de bekleding en zand, grind e.d. wordt in sterke mate bepaald door de oppervlakteruwheid van de blokken in verhouding met de korrelgrootte van de grond. Indien de oppervlakteruwheid zo groot is dat zoveel korrels in het oppervlak kunnen dringen dat afschuiving in een volledig grondoppervlak optreedt dan mag worden aangenomen dat de adhesieschuifsterkte overeen komt met de cohesieve schuifsterkte van de grond. In het geval van gladde oppervlakken dient met een reductie te worden gerekend. Dan geldt maximaal

$$E_{a} = 0,67$$

Voor verzadigde klei is de grootte van de ongedraineerde adhesieschuifsterkte C_a, bij de snelle belastingveranderingen die hier van belang zijn, in dezelfde orde als die van de ongedraineerde schuifsterkte C_u van klei. bladnummer : - 40 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

6. INTERNE WATERDRUK

6.1 Belang van interne waterdruk

Het is van groot belang inzicht te hebben in de wijze waarop de interne waterdrukken, d.w.z. de waterdrukken in en onder bekleding veranderen bij een wijziging in de externe golfbelasting. Het gaat er met name om Δp_0 te kennen d.w.z. het verschil tussen de interne stijghoogte ter plaatse van elk punt van het potentiële afschuifvlak en de externe stijghoogte op het dichtsbijzijnde punt op het talud. De stabiliteit van bekledingen is er in hoge mate afhankelijk van. De verandering van de interne waterdruk en het patroon waarmee het zich in de grond voortzet zijn afhankelijk van de combinatie van het soort golfbelasting, de eigenschappen van de bekleding en de toegepaste materialen in filters en ondergrond.

Die combinatie bepaalt welke fenomenen een rol spelen. In 6.2 wordt uiteengezet welke fenomenen relevant kunnen zijn. Daarvan kunnen sommige gekarakteriseerd worden met behulp van een aantal karakteristieke lengtes en stijfheden, zie paragraaf 6.3. In 6.4 wordt uiteengezet hoe een concrete situatie met behulp van die karakteristieke lengtes en stijfheden geklassificeerd kan worden overeenkomstig de relevante fenomenen. Het is aan te tonen dat de interne waterdruk praktisch altijd ligt tussen twee extreme waarden. Elk van beide waarden kan gevonden worden uit een eenvoudige oplossing, zie 6.6. Een fenomeen wordt in dit hoofdstuk steeds buiten beschouwing gelaten: de extra interne waterdruk die in (losgepakt) zand kan ontstaan door cyclische belasting. Dat wordt behandeld in hoofdstuk 7. Het fenomeen van vermindering van de interne waterdruk door dilatantie van vastgepakt zand wordt in dit rapport nergens expliciet in rekening gebracht. bladnummer : - 41 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

6.2 Mogelijk relevante fenomenen

Het proces dat bepaalt welke waterdrukken in en onder de bekleding ontstaan is in principe erg gecompliceerd. De volgende fenomenen kunnen relevant zijn.

- Fenomenen betreffende de geometrie:
 - stroming door de toplaag alleen loodrecht op het talud, zoals bij een steenzetting of ook evenwijdig eraan zoals bij stortsteen
 - één-dimensionale stroming onder toplaag (met eventueel geotextiel) door vrij dunne filterlaag of twee-dimensionale door dikke filterlaag of ondergrond
- Fenomenen betreffende de stromingskrachten:
 - turbulente of laminaire stroming (of overgang)
 - relatief grote of relatief kleine doorlatendheid van de toplaag (loodrecht op het talud) t.o.v. die van de grond er onder (evenwijdig aan het talud)
- Fenomenen betreffende de continuîteit:
 - freatische berging (variatie grondwater spiegel)
 - elastische berging (elastische volume verandering van korrelskelet en/of poriënwater t.g.v. belasten of ontlasten).

Zoals vermeld aan het eind van paragraaf 6.1, worden twee fenomenen hier niet behandeld. Beide hebben betrekking op de continuîteit. Het in hoofdstuk 7 te behandelen fenomeen zou als "(negatieve) plastische berging" betiteld kunnen worden. Het andere betreft berging t.g.v. schuifvervorming (dilatantie).

Alvorens een model (formule, rekenmodel, fysisch model) te kiezen voor de bepaling van de interne waterdruk, dient men na te gaan welke van bovengenoemde zes fenomenen in de beschouwde situatie relevant zijn. Van de eerste twee fenomenen is dat makkelijk te zien aan de constructie. De relevantie van de overige vier wordt besproken in paragraaf 6.4. Voor de bepaling ervan zijn een aantal karakteristieke lengtes en stijfheden van belang. bladnummer : - 42 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

6.3 Karakteristieke lengtes en stijfheden

6.3.1 Overzicht

Voor de beoordeling van de relevantie van een aantal van bovengenoemde fenomenen zijn de volgende vier karakteristieke lengtes van belang:

- karakteristieke lengte van de externe golfbelasting $L_{_{\rm F}}$
- leklengte Λ
- karakteristieke lengte van de freatische berging $kT_F \sin^2 \alpha/n$
- karakteristieke lengte van de elastische berging $\sqrt{(T_F c_v)}$

alsmede de volgende twee karakteristieke stijfheden:

- stijfheid van het grondwater Kw
- stijfheid van het korrelskelet K + 4G/3

NB. Bij een of meerdere filterlagen zijn er meerdere karakteristieke lengtes voor freatische en elastische berging: één voor elke filterlaag en één voor de ondergrond.

Enige voorbeelden van karakteristieke lengtes en stijfheden zijn te vinden in de tabellen 6.1, 6.2 en 6.3.

De karakteristieke lengtes hebben in veel situaties een aanwijsbare fysische betekenis voor de interne waterdruk. Hier wordt een voorbeeld gegeven voor elk van de de vier karakteristieke lengtes. bladnummer : - 43 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

6.3.2 Betekenis karakteristieke lengte externe belasting L_E

Voorbeeld: golffront van periodieke drukvariatie bij doorlatende bekleding ($\Lambda \ll L_E$) op relatief doorlatende en stijve ondergrond. Het verhang in de ondergrond bij het grensvlak met het filter wordt bepaald door de drukval H_E en de karakteristieke indringdiepte $L_E^{2\pi}$.





Voorbeeld: gelijkmatige drukverlaging bij steenzetting op filterlaag Hier is het maximum verschil tussen interne en externe stijghoogte gelijk aan $\lambda/2$.


```
bladnummer : - 44 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum : februari 1991
```

6.3.4 Betekenis karakt. lengte freatische berging k $T_E \sin^2 \alpha/n$

Voorbeeld: gelijkmatige drukverlaging bij doorlatende toplaag ($\Lambda << L_E$) op filterlaag.





Voorbeeld: gelijkmatige drukverlaging bij doorlatende bekleding ($\Lambda << L_E$) op relatief ondoorlatende ondergrond met relatief compressibel poriënwater (\checkmark ($T_E c_v$) << L_E ; K_w << K + 4G/3). Het verhang in de ondergrond bij het grensvlak met het filter wordt bepaald door de drukval H_E en de karakteristieke indringdiepte \checkmark ($T_E c_v/\pi$).



bladnummer : - 45 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

6.4 Klassificatie naar relevante fenomenen

6.4.1 Relevantie van turbulente stroming

Zowel in granulaire filters, in geotextiel filters als in spleten van een toplaag met betonblokken treedt nogal eens turbulente stroming op naast laminaire. Daarom is de toepassing van de Forchheimer vergelijking (par.4.1) bij berekening in het algemeen aan te bevelen. Als de doorlatendheid gelinealiseerd wordt, moet de waarde van i_1 of q_1 met zorg gekozen worden.

6.4.2 Relevantie van relatieve toplaag doorlatendheid

Bepalend voor de relevantie van dit fenomeen is de verhouding Λ/L_{r} .

Als $\Lambda/L_E \ll 1$, dan is de toplaag (eventueel inclusief geotextiel) zeer doorlatend en zal de stijghoogte direct er onder nauwelijks afwijken van die er boven. In hoeverre dat ook geldt dieper onder de toplaag, hangt af van elastische berging. Zie 6.4.4.

Als $\Lambda/L_E >>1$, dan is de toplaag (eventueel inclusief geotextiel) zeer ondoorlatend en zal de stijghoogte eronder niet direct beïnvloed worden door de stijghoogte er boven. Of van indirecte beïnvloeding sprake is hangt af van elastische berging. Zie 6.4.4.

6.4.3 Relevantie van freatische berging

Freatische berging is niet relevant, d.w.z. speelt alleen een triviale rol als

- of de interne waterspiegel de externe praktisch helemaal volgt (zoals in een toplaag van grove stortsteen)
- óf de interne waterspiegel variatie veel kleiner is dan de externe, dus veel kleiner dan H_{r} .

bladnummer : - 46 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Voor de grondmechanische stabiliteit is vooral de stijghoogte ONDER de toplaag van belang en is daarom alleen het laatste geval interessant. Bij kleine leklengte is de interne waterspiegel variatie ongeveer gelijk aan de karakteristieke lengte voor de freatische berging. Zie het voorbeeld van paragraaf 6.3.4. In andere gevallen is die variatie nog kleiner. Dus freatische berging is in ieder geval NIET RELEVANT als:

$$\frac{k T_E \sin^2 \alpha}{n H_E} << 1$$

Bij taludbekledingen onder golfaanval wordt meestal aan deze voorwaarde voldaan.

OPMERKING: men kan de dimensieloze parameter aan de linkerzijde van de ongelijkheid beschouwen als het quotient van twee lengtes, maar ook als het quotient van T_E en de "karakteristieke tijdsperiode voor freatische berging" $nH_E/ksin^2\alpha$, d.w.z. de tijd nodig om de waterspiegel te laten dalen over hoogte H_E bij een verhang sin α . Aan de ongelijkheid wordt voldaan als de externe belasting zo snel varieërt dat de interne waterspiegel die niet kan volgen.

OPMERKING: Alhoewel freatische BERGING meestal geen rol speelt, dus het freatisch NIVEAU constant verondersteld mag worden, kan de ligging van dat niveau belangrijk zijn. Bij windgolven kan het interne freatisch niveau dank zij die golven terecht komen flink boven het stil water niveau. Zie 6.5.1. bladnummer : - 47 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

6.4.4. Relevantie van elastische berging

Net als bij freatische berging kan men bij elastische berging in principe ook die twee gevallen onderscheiden waarbij elastische berging niet relevant is. Nu is echter alleen het eerste geval interessant: Elastische berging is niet relevant als de interne stijghoogte de externe praktisch helemaal volgt. Daaruit is af te leiden (zie appendix G van [Hoogeveen en de Groot, 1987]) dat elastische berging alleen relevant kan zijn als de karakteristieke lengte van de elastische berging veel kleiner is dan die van de externe belasting. Dit is aan te voelen als men het voorbeeld van paragraaf 6.3.2 vergelijkt met dat van paragraaf 6.3.5.

De diepte waarover de externe drukvariatie uitdempt wordt in beide gevallen bepaald door de kleinste van beide karakteristieke lengtes. In het eerste geval is dat die van de externe belasting, L_E , in het tweede die van de elastische berging, $\int (T_E c_v)$. Dus elastische berging is in ieder geval NIET RELEVANT als:

$$\frac{\int \left(\begin{array}{c} T_{E} c_{v} \right)}{L_{E}} >> 1$$

Opmerking: men kan dit quotiënt beschouwen als de verhouding tussen twee lengtes, maar ook als de wortel uit de verhouding van de karakteristieke periode van de externe belasting T_E en de "karakteristieke tijdsperiode voor elastische berging" L_e^2/c_v . Aan de ongelijkheid wordt voldaan als de externe belasting zo langzaam varieërt dat de interne stijghoogte die zonder noemenswaardig verschil volgt. bladnummer : - 48 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Bovengenoemde voorwaarde is voldoende, maar niet altijd nodig. Als niet aan de ongelijkheid wordt voldaan, kan elastische berging toch OOK NIET RELEVANT zijn als tevens geldt:

$$\frac{\Lambda}{L_E} << 1 \quad EN \quad \frac{K_w}{K + 4 G/3} >> 1$$

 $\frac{\Lambda}{L_{p}} >> 1 \quad \text{EN} \quad \frac{K_{w}}{K + 4 \text{ G/3}} << 1$

OF

Dit hangt samen met het feit dat elastische berging kan optreden zowel door compressie van het poriënwater, mits het korrelskelet niet veel compressibeler is dan het poriënwater, als door compressie van het korrelskelet, mits het poriënwater niet veel compressibeler is dan het korrelskelet.

Als $\Lambda/L_E \ll 1$, dan volgt de interne waterdruk direct onder de toplaag (eventueel inclusief geotextiel) de externe (par.6.4.2) zodat de korrelspanning niet wijzigt. Er is dan geen aanleiding tot compressie van het korrelskelet.

Maar als tevens $K_w /(K + 4G/3) >> 1$ is het korrelskelet veel compressibeler dan het poriënwater en treedt dus ook geen elastische berging in het poriënwater op. Het resultaat is dat de externe waterdruk variatie ongehinderd doordringt in de ondergrond, slechts afnemend met de lengteschaal L_E , net als bijvoorbeeld in paragraaf 6.3.2. Deze situatie treedt op bij een bekleding op klei.

Als $\Lambda/L_E >> 1$, dan varieërt de interne waterdruk vlak onder de toplaag (eventueel inclusief geotextiel) niet (par. 6.4.2) en treedt er dus geen berging in het poriënwater op. Als tevens $K_w/(K + 4 G/3) << 1$, kan er ook geen berging optreden door de samendrukking van het korrelskelet. Het resultaat is dat de interne waterdruk nergens varieërt. Deze situatie treedt bijvoorbeeld op bij een asfalt bekleding op fijn, maar vastgepakt zand waarbij veel lucht in de poriën zit. bladnummer : - 49 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : november 1988

6.4.5 Invloed van de voorgeschiedenis

De voorgeschiedenis kan op drie manieren invloed hebben op de interne waterdrukken:

- via de ligging van de interne waterspiegel

- via elastische berging

- via plastische deformatie van het korrelskelet

Als we laatste invloedsfactor buiten beschouwing laten (zie par. 6.1 en 6.2) dan geldt het volgende.

Als freatische berging niet relevant is, omdat overeenkomstig de in 6.4.3 genoemde ongelijkheid, de externe golfbelasting zo snel gaat dat de interne waterspiegel die niet kan volgen, dan kan de ligging van die waterspiegel als constant worden beschouwd gedurende een golf. De voorgeschiedenis speelt alleen een rol waar het gaat om de waterspiegelvariaties met een veel langere periode, bijvoorbeeld onder invloed van getijbeweging, neerslag en soortgelijke factoren.

Als de elastische berging niet relevant is omdat een van de in 6.4.4 genoemde ongelijkheden geldt, dan is de voorgeschiedenis niet van belang (behalve voorzover de waterspiegel daardoor bepaald wordt). Alleen de momentane golfbelasting op het kritieke moment telt. De situatie is quasi-stationair.

6.5 Karakter van de interne waterdruk variatie

6.5.1 Amplitude demping, fase-verschuiving en middenstandsafwijking.

Beschouwt men het stijghoogte verloop in één punt van de bekleding of de grond eronder dan zal men in het algemeen zien dat deze fluctueert. Die fluctuatie volgt min of meer de fluctuatie van de externe stijghoogte in het dichtsbijzijnde punt van het talud en in iets mindere mate van iets verder gelegen punten van het talud. Het amplitude zal min of meer gedempt zijn en er kan ook een fase verschil optreden (als freatisch of elastische berging relevant is). bladnummer : - 50 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Bij windgolf belasting kan men spreken over de middenstand, dat wil zeggen de stijghoogte die volgt als men middelt over een aanzienlijke langere periode dan de golfperiode. Een verhoogde middenstand is in het algemeen ongunstig voor de stabiliteit; een verlaagde gunstig. Die middenstand kan afwijken van de stil waterniveau door een of meer van de volgende drie oorzaken:

- De gemiddelde externe stijghoogte op het talud wijkt af: vlak beneden de stil-water-lijn ligt die stijghoogte meestal iets lager;boven de stil-water-lijn ligt dit meestal hoger door golfoploop. Dit laatste zorgt ervoor, vooral bij kleine leklengte, dat het freatisch vlak dicht onder de toplaag aanzienlijk boven het stil water niveau terecht komt. Dit wordt wel "interne set-up" genoemd. Zie bijvoorbeeld [Bezuijen en de Boer, 1984] Fig. 3.4 en 3.5.
- Variaties in de randvoorwaarden met een veel langere periode (getijbeweging) en/of aanvoer van grondwater vanuit het grondmassief (regen), danwel afvoer daar naar toe.
- Generatie van wateroverspanning als gevolg van cyclische belasting. Daarover meer in hoofdstuk 7.

6.5.2 Aansluiting externe en interne waterspiegel

In 6.4.3 is gemeld dat de waterspiegel onder de toplaag meestal niet of slechts weinig fluctueert. In 6.4.4 en 6.5.1 is gemeld dat de interne stijghoogte vrij sterk kan variëren (met de externe) onder invloed van fenomenen als toplaag doorlatendheid en elastische berging, die een heel andere wetmatigheid hebben dan freatische berging. Dit lijkt met elkaar in tegenspraak, maar is het niet. Want de externe stijghoogte op de betreffende plaats op het talud wordt mede bepaald door de freatische berging (althans voor de hier relevante externe stijghoogte variaties beneden het niveau van de oorspronkelijke interne waterspiegel). bladnummer : - 51 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Daar waar de interne waterspiegel het talud snijdt verandert de externe stijghoogte even weinig (of veel) als de interne waterspiegel. Zie onderstaande schetsen.



-

6.6 <u>Twee extremen met eenvoudige oplossingen</u>

Er is aan te tonen dat er twee extreme situaties denkbaar zijn: een situatie waarbij de interne waterdruk niet verandert onder invloed van de externe golfbelasting en een situatie waarbij de interne stijghoogte de externe helemaal volgt. In de werkelijkheid zal de interne waterdruk zich tussen deze twee extremen in bevinden. In de praktijk zal het echter vaak voorkomen dat een van beide extreme situaties zeer dicht benaderd wordt. Dan is een eenvoudige benadering voor de interne waterdruk bruikbaar. Zie bijlage II. In het schema van fig. 2.3 is aangegeven welke stap men dan vervolgens moet nemen. De extreem waarbij de interne waterdruk CONSTANT blijft, wordt benaderd als aan een van de volgende drie voorwaarden wordt voldaan:

$$OF \ \sqrt{T_E c_v} \gg L_E \qquad EN \ \Lambda \gg L_E$$

OF
$$\Lambda \gg L_{\rm E}$$
 EN K_L << K + 4 G/3

OF $K_{w} << K + 4 G/3 EN \sqrt{T_{E}c_{v}} << L_{E}$

bladnummer : - 52 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Als bij de periodieke drukvariatie of gelijkmatige drukverlaging de stijghoogte benaderd kan worden als in figuur 3.5, is de maximale waarde van Δp_0 gelijk aan R_d .

De extreem waarbij de interne stijghoogte de externe VOLGT, wordt benaderd als aan een van de volgende drie voorwaarden wordt voldaan:

OF $\int T_E c_v \gg L_E$ EN $\wedge \ll L_E$ OF $\wedge \ll L_E$ EN $K_w \gg K + 4 G/3$ OF $K_w \gg K + 4 G/3$ EN $\int T_E c_v \ll L_E$

6.7 Overzicht beschikbare modellen

Als niet een van de boven aangeduide extremen gehanteerd kan worden, kan men thans kiezen uit de volgende modellen voor de bepaling van de interne waterdruk. Bij elk is aangegeven in hoeverre ze in staat zijn de verschillende fenomenen te modelleren.

6.7.1 Analytische modellen

Er zijn verschillende analytische modellen. Voor steenzettingen op een filterlaag heeft Wolsink een model ontwikkeld.

bladnummer : - 53 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Dit model is geschikt voor:

- Of golffront van periodieke drukvariatie, geschematiseerd als in figuur 3.5 met drie parameters of gelijkmatige drukverlaging.
- Stroming door de toplaag alleen loodrecht op talud.
- Bekleding met filterlaag op waterdichte ondergrond; ééndimensionale stroming.
- Laminaire stroming of gelinealiseerde doorlatendheden.
- Freatische en elastische berging niet relevant: quasistationaire stroming.
- Ligging freatisch niveau in filterlaag moet bekend zijn of moet apart berekend worden bijvoorbeeld m.b.v. figuur 3.4 en 3.5 van [Bezuijen en de Boer, 1984].

Dit model is beschreven in [Wolsink, 1985]. De formules zijn ook te vinden in bijlage III.

Verder zijn er een aantal modellen voor waterdichte bekledingen beschreven in bijlage IV. Deze modellen zijn geschikt voor:

- Gelijkmatige drukverlaging
- Waterdichte bekleding over beperkte diepte
- Filterlaag op waterdichte ondergrond of twee-dimensionale stroming
- Laminaire stroming bij twee-dimensionale stroming
- Freatische en elastische berging niet relevant; quasi-stationair.

bladnummer : - 54 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

6.7.2 Een-dimensionaal numeriek model STEENZET/1

Dit model is geschikt voor:

- In tijd en ruimte (y-richting) variërende externe golfdruk, zoals bijvoorbeeld volgt uit drukregistratie bij proeven; maar ook elke andere golfbelasting kan worden ingevoerd.
- Stroming door de toplaag alleen loodrecht op talud.
- Bekleding met filterlaag op waterdichte ondergrond; ééndimensionale stroming.
- Laminaire stroming of gelineariseerde doorlatendheden.
- Freatische berging mag relevant zijn; de ligging van het freatisch niveau in filter wordt berekend.
- Elastische berging niet relevant.

6.7.3 Twee-dimensionaal eindige elementen model STEENZET/2

Dit model is geschikt voor:

- In de tijd en ruimte (y-richting) variërende externe golfdruk.
- Stroming door de toplaag alleen loodrecht op het talud.
- Wel of geen filterlagen; twee-dimensionale stroming.
- Turbulente en laminaire stroming.
- Freatische berging mag relevant zijn; het freatisch vlak wordt berekend.
- Elastische berging mag relevant zijn voorzover het de samendrukbaarheid van het poriënwater betreft; het korrelskelet wordt onsamendrukbaar verondersteld.

bladnummer : - 55 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

6.7.4 Fysische modellen.

Fysische modellen kunnen ook goed gebruikt worden. De bekleding en de ondergrond moeten zorgvuldig worden nagebouwd zeker tot een golfhoogte diep in het talud, een golfhoogte boven het stil water niveau en 1½ golfhoogte daaronder. Verschaling is slechts beperkt mogelijk (niet kleiner dan 1:3?) i.v.m. moeilijk te verschalen niet-lineaire hydraulische weerstand (vooral als het om spleten tussen blokken gaat en/of om geotextielen). Eventuele elastische berging is ook erg moeilijk te verschalen. Het simultaan meten van externe en interne drukken en de analyse ervan, eisen veel zorg.

Z

7. EXTRA WATERDRUK IN ZAND DOOR CYCLISCHE BELASTING

7.1 Algemeen

Onder invloed van herhaalde ("cyclische") schuifspanningswisselingen kan met water verzadigd zand in ongedraineerde omstandigheden tot verweking worden gebracht. De verwekingsgevoeligheid hangt in sterke mate af van de pakking, hier weergegeven door de relatieve dichtheid D_r . In de praktijk is dit fenomeen alleen belangrijk bij losgepakt zand. Het aantal schuifspanningswisselingen N nodig om verweking te bereiken hangt, behalve van de pakkingsdichtheid ook af van de variatie van de relatieve schuifspanning \land (τ/σ'_0) die van buitenaf wordt aangebracht.

Het aantal schuifspanningswisselingen veroorzaakt door golfaanval op een talud is altijd beperkt.

Als het aantal schuifspanningswisselingen minder is dan N, treedt slechts gedeeltelijke verweking op, d.w.z. er wordt een extra blijvende waterdruk gegenereerd kleiner dan de initiële korrelspanning. De extra waterdruk die wordt gegenereerd bij de eerste wisseling is doorgaans groter dan bij de tweede; die weer iets groter dan bij bij de derde enzovoort. Toch wordt in de berekeningen aangenomen dat de extra waterdruk bij elke wisseling, telkens even groot is.

Bij volledig gedraineerd zand, zal bij elke wisseling een zeer kleine hoeveelheid water afstromen en wordt het korrelskelet telkens iets kleiner.

Bij gedeeltelijk gedraineerd zand kan telkens zowel enige extra waterdruk ontstaan als wat water afstromen. In het begin is die extra waterdruk gelijk aan die bij ongedraineerd zand, maar na een aantal wisselingen treedt een evenwichts-situatie op: de extra waterdruk neemt dan niet meer toe en er stroomt alleen maar water af. Bij een talud belast door golven zal meestal instabiliteit optreden voordat verweking bereikt wordt. Het is van belang uit te rekenen hoeveel extra waterdruk optreedt. bladnummer : - 57 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Deze moet opgeteld worden bij de waterdruk zoals beschreven in hoofdstuk 6. De extra interne waterdruk door cyclische belasting is min of meer stationair. Hij groeit in orde 10 golfperioden tot een maximum en blijft dan orde 10 golfperioden min of meer constant. Dit in tegenstelling tot de belangrijkste componenten van de in hoofdstuk 6 behandelde interne waterdruk, die op ieder moment gedurende een golf fluctueert.

De extra interne waterdruk door cyclische belasting is uitgebreid bestudeerd. De resultaten zijn beschreven in de drie rapporten die in band C van dit deel gebundeld zijn. In het oudste rapport, sectie 1 van [Lindenberg, 1988] is een voorlopige berekeningsmethode beschreven. In het tweede (sectie 2) wordt een uitgebreide serie proeven in de Deltagoot beschreven. Extra interne waterdruk bleek inderdaad op te treden; de orde van grootte kwam goed overeen met die voorspeld in sectie 1. In het derde [Best, 1988] zijn de proeven nader geanalyseerd mede met behulp van STEENZET/2 berekeningen. De analyse: bevestigde de bruikbaarheid van de in [Lindenberg, 1988] beschreven methode. Tevens worden enige aanpassingen van de methode aanbevolen. In dit hoofdstuk van dit rapport is de aangepaste methode beschreven.

Vermoedelijk is het hier besproken fenomeen alleen interessant bij windgolven. Het aantal scheepsgolven dat bij passage van een schip optreedt is erg beperkt. Tussen de passage van twee schepen zal het kleine beetje extra waterspanning weer verdwijnen door drainage.

In hoeverre men bij bij windgolven uit moet gaan van golfklappen of van periodieke drukvariatie, is niet helemaal duidelijk. Bij asfaltbekledingen [Ebbens e.a. 1988] gaat men er van uit dat golfklappen maatgevend zijn. Verweking is daar nooit echt geconstateerd. Hier wordt voorlopig aangenomen dat golfklappen van enige omvang bij onregelmatige golven zelden achter elkaar op één plek terecht komen en dat er altijd enige drainage optreedt (meer dan bij asfaltbekledingen), zodat golfklappen geen cummulatief effect opleveren. Daarom wordt alleen gerekend met periodieke drukvariatie. De proeven in de Deltagoot lijken dit uitgangspunt te bevestigen. bladnummer : - 58 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

7.2 Procedure in vogelvlucht

De methode om de extra waterdruk te bepalen is vrij gecompliceerd. Daarom hier eerst een korte, schetsmatige beschrijving van de procedure. De procedure geldt voor één raai (één y-waarde, bijvoorbeeld y_o, met één waterdiepte h, voor vele z-waarden), maar moet in een paar raaien worden toegepast.

 Variatie externe golfbelasting (par. 7.4)
 Deze wordt sterk geschematiseerd. Vooral het maximum en het minimum van de drukgradient ∂P_{EX}/∂y is van belang.



Variatie interne waterdruk (par. 7.5) Deze wijkt weinig af van hydrostatisch drukverloop.



bladnummer : - 59 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Schuifspanningsvariatie (par.7.6)

Uit de minimum en maximum drukgradienten en de zwaartekracht, volgen de minimum en maximum schuifspanning op elke diepte $\tau(z, t_1)$ en $\tau(z, t_2)$. Uit het verschil tussen die twee, $\Delta \tau(z)$, is het relatieve schuifspanningsniveau $\Delta \tau / \sigma'_{O}$ af te leiden.



Water overspanning gegenereerd zonder drainage (par.7.7)





7.3 <u>Voorbeeld</u>

Aan de bepaling van verweking ligt een uitgebreide berekeningsmethodiek ten grondslag. Teneinde deze methodiek zo duidelijk mogelijk te kunnen volgen wordt tegelijkertijd een rekenvoorbeeld uitgewerkt. Het gaat om een steenzetting op geotextiel op zand:

- blokbreedte: B = 0,20 m
- spleetbreedte: s = 0,01 m
- filterlaagdikte: b = 0
- inkomende golfhoogte: $H_s = 1 m$
- de golfperiode: $T_p = 3$ sec.
- de relatieve dichtheid van zandpakket: R_d= 0.50
- inwendige wrijvingshoek zand = 37 graden
- de consolidatiecoëfficiënt: $c_v = 0.01, 0.02, 0.05 \text{ m}^2/\text{sec}$.
- waterdiepte op talud waar berekend wordt: h=1, 2 en 3 m
- rekendiepte onder talud: z=0.20, 0.40, 0.60, 1 en 2 m
- volumegewicht blokken: Y_b= 24kN/m³
- volumegewicht grond: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- volumegewicht water: γ_{u} = 10 kN/m³

```
bladnummer : - 61 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum : november 1988
```

7.4 Variatie externe golfbelasting.

Het golfdrukverloop op een talud kan benaderd worden volgens de methode welke is beschreven in par. 3.3.3. Een betere benadering is wenselijk, maar nog niet beschikbaar. Voor diep water geldt:

$$L_0 = \frac{g T^2 p}{2 \pi}$$

Op het talud wordt gerekend met:

$$L = L_0 \quad \tanh (kh)$$
$$k = 2 \pi/L$$

h = locale waterdiepte

	P _{EX} = f	$cos \frac{2\pi t}{T}$	cos ky			۹ • •						
$\begin{array}{ccc} p & & \rho g H \\ met \hat{p} \text{ is de kleinste waarde van} & & \frac{\rho g H}{2 \cosh (kh)} & en \frac{\rho g L \tanh (kh)}{14 \cosh (kh)} \end{array}$												
Voor het voorbeeld van par. 7.3 geldt (zie ook figuur 7.1):												
h	h/L _O	tanh(kh)	cosh(kh)	kh	k	p̂(amplitude)						
(m)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m-1)	(kN/m²)						
1	0.070	0.614	1.27	0.716	0.716	3.82						
2	0.140	0.800	1.67	1.10	0.55	2.74						
3 0.209		0.898	2.27	1.46	0.49	2.03						

bladnummer : - 62 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

7.5 Variatie interne waterdruk

Hier wordt uitgegaan van de extreem (zie paragraaf 6.6) waarbij de externe waterdruk sterk en diep doordringt in de ondergrond. Dit leidt tot de grootste schuifspanningsvariatie (τ) en tot de geringste wijziging in de korrel-normaalspanning (σ'_{0}). Het leidt tot een vrij grote relatieve schuifspanningsvariatie Δ (τ/σ'_{0}) tot op grote diepte, dus tot een dikke laag waarin wateroverspanning gegenereerd kan worden. Waarschijnlijk is dat ongunstiger dan bij de andere extreem waarbij weliswaar vlak onder de bekleding hogere waarden van Δ (τ/σ'_{0}) bereikt worden (door sterke variatie van σ'_{0} bij gelijkblijvende τ), maar op iets grotere diepte veel kleinere waarden. Overigens is dit niet geverifieërd.

In de berekeningen wordt overeenkomstig het uitgangspunt uitgegaan van de kleinst mogelijke demping met de diepte van de externe stijghoogte: demping met de lengteschaal $L_E = L$. Gezien de randvoorwaarde in de vorm van een sinusvormig in tijd en ruimte variërende externe stijghoogte is de analytische oplossing van Yamamoto e.a. [Yamamoto e.a. 1978] van toepassing.

Bij de berekening van het aantal cycli om tot verweking te komen wordt uitgegaan van een ongedraineerde situatie. De belangrijkste factor in het verwekingsgedrag is volgens [Lindenberg, 1988] het schuifspanningsniveau uitgedrukt in de ratio

$$\frac{\Delta \tau}{\sigma_0'}$$

met

- Δτ = schuifspanningsvariatie ten gevolge van de belasting op het talud.
- σ'_{O} = isotrope korrelspanning in het talud.

bladnummer : - 63 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

7.6 Variatie van de relatieve schuifspanning

Het verloop van de korrelspanningen en schuifspanningen kan net als die van de interne waterdruk worden beschreven met de theorie van Yamamoto e.a. [1978]. Hun analytische oplossing geldt voor een horizontale bodem en een homogene ondergrond met een belasting door een sinusvormige golf. Volgens die theorie geldt op diepte z onder het talud voor de schuifspanningsvariatie

$$\Delta \tau = \hat{p} \cdot k.z. \exp(-k.z)$$

De initiële korrelspanning, σ'_{O} , variëert praktisch niet gedurende een golf. Daarom geldt: $\Delta(\tau/\sigma'_{O}) \approx \Delta\tau/\sigma'_{O}$. Voor σ'_{O} geldt:

′`. ...7

$$\sigma_0' = [(\gamma_b - \gamma_w) \cdot (d_t + b) + (\gamma_g - \gamma_w) \cdot (z - d_t - b)] \cdot \cos \alpha$$

Bij berekeningen met SPONS werden voor een dergelijke situatie 1,4 maal zo hoge schuifspanningen gevonden. Zie bijlage III van [Best, 1988]. Hoewel de representativiteit van die factor vermoedelijk klein is (Zie par. 6.3 van [Best, 1988], wordt hier ook een factor 1.4 toegepast i.v.m. de vele veronderstellingen die hier gedaan zijn.

7.7 Water overspanning gegenereerd zonder drainage

Door Lindenberg [Lindenberg, 1988] is op basis van praktijkproeven een tabel samengesteld waarin het aantal cycli N_{verw}, nodig voor verweking onder ongedraineerde condities, is uitgezet als functie van het schuifspanningsniveau $\Delta \tau / \sigma'_0$ en de relatieve dichtheid van zand **D**_r (zie tabel 7.2 en fig.7.2). Hierbij kan worden aangenomen dat door elke wisseling een evenredige bijdrage aan de verweking wordt geleverd. Bij tussenliggende schuifspanningsratio's kan lineair worden geinterpoleerd. bladnummer : - 64 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De gegenereerde wateroverspanning bij verweking is gelijk aan de initiële korrelspanning σ'_0 . Dus: per golf gegenereerde wateroverspanning = σ'_0 / N_{verw} Voorts wordt gedefinieerd:

Ap_{lim} - na N_{lim} golven gegenereerde wateroverspanning zonder drainage
N_{lim} - het minimum aantal golven nodig om ergens in het talud
verweking te veroorzaken als er geen drainage zou zijn. Dus
N_{lim} = kleinste waarde van N_{verw}. In het voorbeeld (zie de
tabel op de volgende bladzijde) treedt die kleinste waarde op
in de raai met diepte h = 1,0 m op de dieptes z = 0,2 m en z =
0,4 m. Daar geldt N_{verw} = 11, zodat overal N_{lim} = 11.

 $\Delta p' - \Delta p/\sigma'_{O}$, het waterspanningsniveau (dimensieloos; het maximum van 100% komt overeen met volledige verweking)

Nu volgt:

 $\Delta p_{\lim} = \frac{N_{\lim}}{N_{verw}} \cdot \sigma'_{o} \quad \text{en } \Delta p'_{\lim} = \frac{N_{\lim}}{N_{verw}}$

bladnummer : - 65 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

voorbeeld:

ĝ	k	h	z	σ'0	kz	1,4 <u>4</u> 1	N verw	∆p¦ lim	∆p _{lim}
(kPa)	(m-1)	(m)	(m)	(kPa)	(-)	(-)	(-)	(%)	(kPa)
3.82	0.716	1.0	0.2	2.66	0.143	0.249	11	100	2.66
			0.4	4.55	0.286	0.252	11	100	4.55
			0.6	6.45	0.430	0.232	15	73	4.71
			1.0	10.25	0.716	0.182	29	38	3.90
	_		2.0	19.73	1.432	0.092	>1000	<1	< 0.20
2.74	0.55	2.0	0.2	2.66	0.110	0.143	95	12	0.32
			0.4	4.55	0.220	0.148	80	14	0.64
			0.6	6.45	0.330	0.141	100	11	0.71
			1.0	10.25	0.550	0.119	>1000	<1	< 0.10
			2.0	19.73	1.10	0.071	>1000	<1	< 0.20
2.03	0.49	3.0	0.2	2.66	0.098	0.095	>1000	<1	< 0,03
	, •		0.4	4.55	0.196	0.101	>1000	<1	< 0,05
			0.6	6.45	0.294	0.097	>1000	<1	< 0,06
			1.0	10.25	0.490	0.083		<1	< 0,10
:			2.0	19.73	0/980	0.053		<1	< 0,20
								1	

Volgens [Lindenberg, 1988] is bij een onregelmatige golf met een zelfde significante golfhoogte het aantal golven om tot verweking te komen worden tweemaal zo groot als bij een onregelmatige golf. Men zou kunnen stellen dat de helft van de golven te klein is om als belasting cyclus mee te tellen. Verweking zou dus in het voorbeeld na $2.N_{lim}.T_p = 66$ s optreden bovenin de raai met h = 1,0 m, als er geen drainage was. bladnummer : - 66 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

7.8 <u>Water overspanning met drainage</u>.

Tegelijk met de generatie van waterspanning door cyclische belasting zal drainage plaatsvinden. Voor de kritieke raai langs het talud waar als eerste verweking optreedt wordt de mate van drainage tijdens het gegeven aantal wisselingen bepaald. In het voorbeeld is dat de raai waar h = 1 m. Om de mate van drainage te kunnen berekenen moet eerst de ongedraineerde situatie nader beschouwd worden. In de kritieke raai zou volgens de tabel van par. 7.7 de volgende water overdruk heersen als er geen drainage was:



Uit bovenstaande figuur kan voor het voorbeeld de diepte z_c bepaald worden waarop de gegenereerde wateroverspanning zonder drainage maximaal is: $z_c = ca. 0,7 m$. Om de nu volgende berekening te vereenvoudigen wordt de wateroverdruk als volgt geschematiseerd: $\Delta P = 1. \nabla_o'$

• 11,

schematisering

berekend

 $z < z_{c} \qquad \Delta p'_{1im} = 1$ $\Delta p_{1im} = 1.\sigma'_{o} = (\gamma_{g} - \gamma_{w}) z \cos \alpha$ $z > z_{c} \qquad \Delta p_{1im} = (\gamma_{g} - \gamma_{w}) z_{c} \cos \alpha$

Verder wordt aangenomen dat de diepte z_c tijdens het hele proces onveranderd blijft.

bladnummer : - 67 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

De ongedraineerde situatie kan beschouwd worden als het resultaat van twee simultaan optredende processen: een bruto volume verkleining van het korrelskelet onder invloed van de wisselende schuifspanning en een elastische volumevergroting van het korrelskelet onder invloed van de vermindering van de isotrope korrelspanning die optreedt als gevolg van de wateroverspanning. De vermindering van de isotrope korrelspanning is gelijk aan de hierboven berekende wateroverspanning. De tijdsduur is ook bekend (2 N_{lim}. T_p). Het water wordt onsamendrukbaar verondersteld. Met bekende elasticiteit van het korrelskelet, volgt dan de volume verkleining die per tijdseenheid door de schuifspanning teweeg gebracht wordt. In het gebied d_t + b < z <z_c van de kritieke raai geldt:

Bruto volume verkleining p.e.v. tijd = $\frac{(y_g - y_w) z}{2. N_{1im}. T_p. (K + 4 G/3)}$

Met deze formule kunnen nu berekeningen worden uitgevoerd voor de gedeeltelijk gedraineerde situatie. De bruto volumeverkleining wordt immers niet beïnvloed door eventuele drainage. Bij de gedeeltelijk gedraineerde situatie zal na een aantal golven de bruto volume verkleining van het korrelskelet onder invloed van de wisselende schuifspanning gelijk zijn aan de hoeveelheid water die uit dat stuk grond verdwijnt onder invloed van de opgebouwde drukgradiënt. Dat is de interessante situatie met de hoogst mogelijke wateroverspanningen (zie echter opmerking aan einde par. 7.8)

Nu wordt verondersteld dat voor $z < z_c$ alleen opwaartse stroming plaats vindt, voor $z = z_c$ géén stroming en voor $z > z_c$ stroming naar onder (voor ons niet van belang).

```
bladnummer : - 68 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum : februari 1991
```

Voor $d_t + b < z \leq z_c$ geldt dan:

hoeveelheid afstromend water = volume verkleining p.e.v. tijd

$$-\frac{\partial}{\partial z} \left\{ k \cdot \frac{\partial(\Delta p)}{\partial z} \right\} = \frac{(\gamma_g - \gamma_w) z}{2 \cdot N_{1 \text{ im}} \cdot T_p \cdot (K + 4 \text{ G/3})}$$

Hieruit is af te leiden (zie ook de definitie van c_v^* in par. 4.5): $\frac{\partial^2(\Delta p)}{\partial z^2} = - \frac{(\gamma_g - \gamma_w)}{2 c_v^* T_p N_{1im}} \cdot z \quad \text{en met} \quad \frac{\partial(\Delta p)}{\partial z} (zc) = 0$

$$\frac{\partial(\Delta p)}{\partial z} = \frac{(\gamma_{g} - \gamma_{w})}{4 c \star_{v} T_{p} N_{lim}} \cdot (z_{c}^{2} - z^{2})$$

Nu zijn er twee gevallen te onderscheiden:

a). Er is een filterlaag, zodat
$$\Delta p (d_t + b) = 0$$

Dan volgt:
$$\Delta p(z) = \frac{\gamma_g - \gamma_w}{4 c_w^* T_p N_{lim}} \left\{ z_c^2 (z - d_t - b) - \frac{1}{3} z^3 + \frac{1}{3} (d_t + b)^3 \right\}$$
(7.1)

b). Er is géén filterlaag (b = 0). Dan volgt uit de randvoorwaarde dat het
debiet door de toplaag (dikte d_t, doorlatendheid k´) gelijk moet zijn aan
dat door het zand (doorlatendheid k):

$$\Delta p(d_{t}) = \frac{k d_{t}}{k^{\prime}} \cdot \frac{\partial(\Delta p)}{\partial z} \cdot (d_{t})$$

$$\Delta p(z) = \frac{y_{g} - y_{w}}{4 c^{\star}_{v} T_{p} N_{lim}} \cdot \{z_{c}^{2} \cdot z - \frac{1}{3} z^{3} - z_{c}^{2} d_{t} + \frac{1}{3} d_{t}^{3} + (z_{c}^{2} - d_{t}^{2}) \frac{k d_{t}}{k^{\prime}}\} \quad (7.2)$$

De grootte van k kan berekend worden volgens bijlage I. Daarbij kan aangenomen worden dat $k/k = a'/a_f$, terwijl alleen de tweede term van formule 99 van belang is. Dus voor vierkante blokken:

$$k/k' = a'/a_f = \frac{B}{2\pi dt} \ln(\frac{B}{2\pi . e.0, 4.s})$$

Aangetoond kan worden dat voor blokken (op geotextiel) op zand geldt: 0,5 < k/k' < 1,5

bladnummer : - 69 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

In het voorbeeld is formule (7.2) van toepassing. Er geldt k/k' = 0.86. De maximum relatieve wateroverspanning treedt op direct onder de toplaag, dus bij $z = d_t$. Daar geldt dan:

$$\Delta p(d_t) = \frac{\gamma - \gamma_w}{4 \cdot c^* \cdot 3s \cdot 11} \cdot (0,7 \text{ m}^2 - 0,2 \text{ m}^2) \cdot 0,86 d_t$$
$$= \frac{0,0029 \text{ m}^2/s}{c^*} (\gamma_g - \gamma_w) d_t$$

Als $c_v^* = 0.01 \text{ m}^2/\text{s en } (\gamma_b - \gamma_w)/\gamma_g - \gamma_w) = 1.5 \text{ dan volgt:}$ $\Delta p' (d_t) = \frac{\Delta p (d_t)}{(\gamma_b - \gamma_w) d_t} = 0.20$

Dit betekent dat in het voorbeeld de maximaal gegenereerde wateroverspanning bij c^{*} = 0.01 m²/s 20 % bedraagt van de initiële korrelspanning.

OPMERKING: Als de toplaag erg ondoorlatend is (k/k' >> 1), zou de zo berekende wateroverspanning groter kunnen worden dan die berekend zonder drainage. Uiteraard kan dat niet. De relatieve wateroverspanning kan niet groter worden dan 100%, maar ook niet groter dan het quotient van het aantal optredende belastingwisselingen en N_{lim}. Aangezien er altijd wel enige drainage is zou men voor het aantal optredende belastingwisselingen kunnen nemen het aantal golven dat gedurende de piek van een storm optreedt (gedeeld door 2 volgens het eind van par. 7.7) of misschien het aantal golven tijdens de hoogste golftrein. bladnummer : - 70 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

7.9 <u>Voorbelastingseffect</u>

Zoals vermeld in [Lindenberg, 1988] is bekend dat zand minder verwekingsgevoelig is als het in het verleden al eens eerder cyclisch belast is geweest tot hetzelfde niveau. Vergelijk ook de plastische vervorming genoemd aan het einde van paragraaf 4.5. Uit de deltagoot proeven is dat ook duidelijk gebleken. Zie hoofdstuk 6 van sectie 2 van [Lindenberg, 1988]. In de praktijk hoeft alleen water overspanningsgeneratie verwacht te worden tijdens een storm die zwaarder is dan elke vorige en dan misschien zelfs alleen tijdens de eerste golftrein van hoge golven die het betreffende deel van het talud aanvalt. bladnummer : - 71 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

8. STABIILITEIT BIJ GOLFKLAPPEN

8.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe men zou kunnen berekenen of een afschuiving zou kunnen optreden onder invloed van een golfklap. Wel dient men zich te realiseren dat, voorzover bekend, nooit expliciet is waargenomen dat een afschuiving of taludvervorming aan golfklap belasting te wijten is.

In par. 3.3.2 is uiteengezet hoe de waterdruk-belasting op het talud geschematiseerd kan worden als een gofklap optreedt. In par. 6.6 en bijlage II is aangegeven hoe de waterdrukverdeling in het grind of zand onder de toplaag er ongeveer uitziet.

Ondanks de korte duur van de belasting is uit diverse studies gebleken dat de traagheid geen rol speelt [5,par. 2.4.5]. Daardoor vertoont de belasting van de grond grote gelijkenis met een stroken-belasting en is een soortgelijk afschuifvlak te verwachten. De gebruikelijke formules voor strokenbelasting kunnen niet zondermeer worden toegepast omdat de situatie hier op twee of drie punten afwijkt:

- de tegelijk optredende zwaartekrachtbelasting t.g.v. de helling van het talud
- de extra hoge en van plaats tot plaats varierende waterspanning in het potentiele afschuifvlak
- de sterkte van de bekleding

Om die redenen is in [5,par.3.2] een aangepaste berekeningsmethode ontwikkeld, waarbij het afschuifvlak benaderd is door twee zijden van een driehoek. Dit levert bruikbare formules op (zie hieronder). Het is ook goed mogelijk de stabiliteit te berekenen van een cirkelvormig afschuifvlak [5,appendix E]. De resultaten verschillen niet sterk. De onnauwkeurigheid wordt meer bepaald door de nauwkeurigheid waarbij de waterdruk op en in het talud kan worden bepaald. bladnummer : - 72 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Bij de afleiding van de formules zijn de evenwichtsvergelijkingen steeds opgesteld voor stukken grond (en bekleding), dus niet voor stukken korrelskelet. Bij de driehoeken is steeds de absolute waterdruk ingevoerd, bij de cirkels de stijghoogte. De relevantie hiervan wordt besproken in paragraaf 9.2.1 en bijlage IV.

8.2 <u>Berekeningsmethode voor zand, grind e.d.</u>

In band B, sectie 3 [Hoogeveen, 1987, formule (4.67*)] is de volgende voorwaarde voor stabiliteit gevonden volgens de methode met het driehoekig afschuifvlak:

 $\begin{bmatrix} \frac{\gamma_{t}}{\gamma_{w}} \cdot \frac{d_{t}}{H_{s}} + \frac{1}{2} \cdot C_{s} \cdot \frac{\gamma_{g}}{\gamma_{w}} \end{bmatrix} \cdot \left[\{ \frac{\tan(\phi + \beta)}{\tan(\beta)} - \tan(45^{\circ} - \phi) \} \cdot \cos \alpha + \frac{1}{\sqrt{1 + 1}} - \frac{1}{\sqrt{1 + 1}} + 1 \} \cdot \sin \alpha \right] + \frac{1}{\sqrt{1 + 1}} \cdot \frac{N}{\sqrt{1 + 1}} >$ $f_{s} q \cdot \tan(45^{\circ} - \phi) + C_{1} \cdot q \cdot \tan \phi \cdot \{1 + \tan(45^{\circ} - \phi)\} + \frac{1}{\sqrt{1 + 1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1}} + \tan(\phi + \beta) \}$



```
bladnummer : - 73 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum : februari 1991
```

met:

dt = dikte toplaag
yt = soortelijk gewicht toplaag
yw = soortelijk gewicht water
yg = soortelijk gewicht natte grond
q,C₃ = golfklap coëfficiënten, behandeld in par 3.3.2
C₁,C₂ = coëfficiënten voor de waterdruk in het grind of zand
onder de toplaag (zie bijlage II-2)
fs = correctiecoëfficiënt i.v.m. de benadering van het
afschuifvlak door een driehoek; fs 0,59 (95%
betrouwbaarheidsinterval 0,5 < fs < 0,7).</pre>

β = de hoek waaronder het passieve deel van het afschuifvlak het talud snijdt; hiervoor moet de meest ongunstige waarde worden gekozen, maar minstens zo groot dat de bovenbelasting van de passieve wig (waterdruk op het talud) overal gering is, zodat tanβ ≈ 0,3 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,2 < tanβ < 0,45).</p>

N = kracht evenwijdig aan het talud die via de bekleding wordt overgedragen; als de bekleding geen enkele sterkte heeft geldt N=0; reëler is meestal N= $y_t d_t C_s H_s \{ \frac{1}{tan} - \frac{1}{\beta} + 1 \} \sin \alpha \approx 0,5 \doteq 1,0 y_t d_t H_s$. In dat geval is N de langscomponent van het eigen gewicht van de toplaag in het afschuivende deel; kan echter ook wel groter zijn (bijvoorbeeld N = 3 $y_t d_t H_s$), zeker bij een bekleding die trekkracht kan opnemen of bij een goed ingewassen zetting.

Als de toplaag weinig doorlatend is, zijn C_1 en C_2 erg klein (ca. 0,1) en is de β eveneens klein, waardoor de grootte van de golfklap (vertegenwoordigd door de coëfficiënt q) nauwelijks relevant is. Maatgevend is dan de periodieke drukvariatie, met name het golffront.

bladnummer : - 74 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Als de toplaag echter zeer doorlatend is, is bovenstaande ongelijkheid weinig gevoelig voor de grootte van β (stel bv. $\beta = 17^{\circ}$), maar wel erg gevoelig voor de grootte van q, C_1 , C_2 en C_3 .

Voorbeeld (zeer doorlatende toplaag): $y_{t} = 23 \text{ kN/m}^{3}, y_{g} = 18 \text{ kN/m}^{3}$ $C_{1} = 0,6 \quad C_{2} = 0,2 \quad C_{s} = 0,6 \quad q = 16 \text{ tan}\alpha \quad \beta = 17^{\circ}$ $\phi = 35^{\circ}, \text{ tan}\alpha = 1:3, \text{ N} = y_{t} \cdot d_{t} \cdot C_{s} \cdot \{\frac{1}{\tan \beta} + 1\} \cdot \sin \alpha$ gegeven:

dan volgt voor de ongelijkheid:

$$[2,3 \frac{d_{t}}{H_{s}} + 0,54] 2,68 + 3,10 \frac{d_{t}}{H_{s}} > 0,55 + 2,64 + 3,40$$

zodat $\frac{d_t}{H_a} > 0,55$ of wel $\frac{H_s}{\Delta d_+} < 1,4$

Uit het voorbeeld blijkt dat aan de rechterkant van de ongelijkheid vooral de tweede en de derde term bepalend zijn voor de vereiste grootte van d_{+}/H_{c} . Het zijn de termen die de waterdruk in het potentiële afschuifvlak vertegenwoordigen. De nauwkeurigheid waarmee de coëfficiënten C1 en C2 bekend zijn is beperkt (95% betrouwbaarheid factor 1,5 ?) en daarmee het uiteindelijke antwoord.

Als de bijdrage van de bekleding aan de sterkte nul is, dus als N=0 volgt:

$$\frac{d_t}{H_s} > 0,84 \qquad \text{ofwel } \frac{H_s}{\Delta d_t} < 1,4$$

Als daarentegen N = 3 $y_t d_t H_s$ (bv goed ingewassen zetting), dan volgt:

$$\frac{d_{t}}{H_{s}} > 0,29 \quad \text{ofwel} \quad \frac{H_{s}}{\Delta d_{t}} < 2,6$$

bladnummer : - 75 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Hieruit volgt dat de invloed van de sterkte van de toplaag groot is. Niettemin is de kritische waarde van $H_s/\Delta d_t$ ook bij grote N kleiner dan men op grond van praktijk ervaringen geneigd is te concluderen. Men bedenke echter dat het om een zeer extreme belasting gaat die misschien eenmaal tijdens een storm op een plaats optreedt. De korte duur van de belasting laat geen complete afschuiving toe, doch slechts een beperkte vervorming. Bovendien zal bij een goed verdichte zandondergrond dilatantie optreden waardoor de weerstand van het zand tegen kort durende belasting sterk toeneemt.

Wellicht mag men concluderen dat golfklappen mogelijk tot ernstige deformaties van het talud kunnen leiden:

- als de toplaag zeer doorlatend is;

en als tevens in een of meer van de volgende opzichten wordt afgeweken van traditionele steenzettingsconstructies:

- als de toplaag vrij licht is;

- als het zand niet goed verdicht is;

- als de toplaag niet stijf is (slecht ingewassen).

8.3 <u>Berekeningsmethode voor klei</u>

In Band B, sectie 3 [Hoogeveen, 1987, formule 4.89 van par. 4.5.4.4.] is de volgende voorwaarde voor stabiliteit gevonden door substitutie van s = q y H_e en b = C₃ H_e

$$(2 + \pi) \cdot \frac{Cu}{y_w^H} + \frac{1}{C_s y_w^H} + \frac{1}{T_s y_w^H} + \frac{1}{T_s} + C_s \cdot \frac{y_t^d}{y_w^H} + C_s \cdot \frac{y_g}{y_w} \cdot \sin \alpha$$

met

Cu - maatgevende ongedr. schuifsterkte waarvoor geldt

$$Cu(z=d_{+}) < Cu + < \overline{Cu}$$

Cu - gemiddelde ongedraineerde schuifsterkte over diepte C3.H2. bladnummer : - 76 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Voorbeeld:

gegeven
$$y_g = 18 \text{ kN/m}^3$$
, $y_t = 23 \text{ kN/m}^3$ $q = 16 \tan \alpha$ H_s = 1 m C₃ = 0,6
tan $\alpha = 1:3$ d_t = 0,2 m
en N = 2 y_t d_tC₃ H_s sin α

dan volgt voor de ongelijkheid:

$$5,14 \frac{Cu^{*}}{\gamma_{W}^{H}s} > 5,33 + 0,34$$

Dus $\frac{Cu^{*}}{\gamma_{W}^{H}s} > 1,10$ of wel Cu* > 11 kPa.

Als de bekleding geen sterkte heeft (N = 0) dan volgt in het voorbeeld:

$$5,14 \frac{Cu*}{y_wH_s} > 5,33 + 0,63$$

Dus

$$\frac{Cu^*}{\gamma_w^H}$$
 > 1,16 of wel Cu*> 11,6 kPa.

Als daarentegen N = 3 $y_t d_t H_s$ (bv goed ingewassen zetting), dan volgt:

$$5,14 \frac{Cu*}{\gamma_w^H_s} > 5,33 - 1,67$$

Dus

$$\frac{Cu^{\star}}{\gamma_{w}H_{s}} > 0,71$$
 of wel Cu^{\star} 7,1 kPa.

Hieruit blijkt dat de sterkte van de bekleding ook hier vrij veel invloed heeft op het criterium voor de sterkte in het afschuifvlak, zij het iets minder dan bij een toplaag op zand of grind. bladnummer : - 77 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

9. STABILITEIT BIJ PERIODIEKE DRUKVARIATIE EN GELIJKMATIGE DRUKVERLAGING

9.1 Ligging afschuifvlak

9.1.1 Algemeen

Afschuifvlakken kunnen bij een bekleding op verschillende niveau's onder het taludoppervlak liggen. In de eerste plaats zijn afschuifvlakken langs een grensvlak tussen twee lagen van belang. Het aanleggen van oeverbekledingen betekent dat een oever beschermd wordt door een stapeling van meerdere materialen op elkaar. Deze materialen bestaan uit een open of gesloten toplaag op een ondergrond van zand of klei. Onder de toplaag kan eventueel een geotextiel en/of een filterlaag worden aangebracht. Indien bij een verandering in de buitenwaterstand de grondwaterspanningen zich niet voldoende snel kunnen aanpassen, kan door reductie van de maximaal opneembare schuifsterkte in het grensvlak tussen twee materialen de stabiliteit in gevaar komen. Afschuiving van een of meerdere lagen van de bekleding kan dan het gevolg zijn. Bovendien dient in een grensvlak tussen twee verschillende materialen extra aandacht te worden besteed aan de grootte van de te mobiliseren wrijvingshoek. Zie hoofdstuk 5.



In de tweede plaats kan een afschuifvlak ergens door de ondergrond gaan. De diepte is dan niet direct bepaald en kan van plaats tot plaats variëren. Hetzelfde geldt voor een afschuifvlak ergens in een bekledingslaag. De behandeling daarvan gaat net zo als bij een afschuifvlak door de ondergrond.

Bij golfbeweging op het talud kan door het verschil van verandering van grondwaterspanning en verandering van totaalspanning op geringe diepte in de ondergrond nog instabiliteit optreden, als gevolg van relatief hoge waterdrukken op die diepte. (Zie hoofdstuk 6, met name par. 6.4.4).

Afschuifvlakken langs een grensvlak zijn praktisch volledig recht en ze lopen evenwijdig aan het talud. Die gegevenheden zullen gebruikt worden bij de behandeling van de stabiliteit ervan. Zie paragraaf 9.1.2.

Bij afschuifvlakken door de ondergrond is niet zonder meer duidelijk welk potentieel afschuifvlak maatgevend is.

In principe zullen alle potentiële afschuifvlakken onderzocht moeten worden. Vaak zullen die afschuifvlakken ook min of meer recht zijn en evenwijdig aan het talud lopen. Zie de gevallen A, B en C getekend in figuur 9.1. De uitwerking wordt besproken in par. 9.1.2 en 9.3. Soms zullen ze min of meer cirkelvormig zijn zoals de gevallen D en E in figuur 9.2. De uitwerking wordt besproken in par. 9.1.3.

In die figuren is tevens onderscheid gemaakt naar de wijze waarop het afschuifvlak begint of eindigt, een onderscheid dat deels ook van toepassing is op afschuifvlakken langs een grensvlak. bladnummer : - 79 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

In geval A gaat het afschuifvlak zuiver door de ondergrond of het grensvlak; bij de andere gevallen ook door de bekleding. Hoe de bekleding reageert op een potentieel afschuifvlak door de bekleding is in sommige gevallen duidelijk. Aan de bovenkant $(y = y_b)$ zal de bekleding zeker in de gevallen B, C en D, maar wellicht ook in geval E, geen kracht overbrengen, tenzij de bekleding in staat is trekkracht evenwijdig aan het talud over te brengen. In dat laatste geval staat de richting van die kracht vast en is de maximale grootte gelijk aan de treksterkte van de bekleding.

De bepaling van de reactie van de bekleding aan de onderkant $(y = y_0)$ is meestal moeilijker te bepalen. In geval C kan men voor de onderzijde de drukkracht bepalen via een damwandberekening omdat in feite het afschuifvlak niet door de bekleding gaat. Hoe de reactie in de gevallen D en E kan worden geschematiseerd, wordt in par 9.1.3 behandeld.

9.1.2 Rechte afschuifvlakken

Bij afschuifvlakken langs een grensvlak en bij de gevallen A, B en C (althans boven de damwand), zijn de afschuifvlakken min of meer recht en evenwijdig aan het talud. Het momenten evenwicht is niet maatgevend. De som van de door de grond opneembare schuifkrachten Fw₁ langs het potentiële afschuifvlak plus de eventuele trekkracht T_b aan de bovenzijde ($y = y_b$) plus de eventuele steundruk D_o aan de onderzijde ($y = y_b$) moet groter zijn dan de gewichtscomponent G.sina evenwijdig aan het talud van het beschouwde stuk bekleding plus ondergrond.

Zie de bovenste schets van figuur 9.3.

$$\sum Fw_1 + T_b + D_o > \sum G.sin\alpha$$
(9.1)
bladnummer : - 80 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De steundruk aan de onderkant ($y = y_0$) in de gevallen A en B zal veelal niet veel groter zijn dan de hydrostatische waterdruk kracht. Eventueel kan men er de passieve kracht van het driehoekig stuk grond bij rekenen. Zie de middelste schets van figuur 9.3. De stabiliteit bij rechte afschuifvlakken wordt nader uitgewerkt in par. 9.3.

9.1.3 Cirkelvormige afschuifvlakken

In de gevallen D en E kan het afschuifvlak beter door een cirkel benaderd worden. Dan is niet de som van de krachten in y-richting maatgevend, doch het moment om het middelpunt van de cirkel. De traditionele berekeningsmethoden voor cirkelvormige glijvlakken zijn toepasbaar mits:

- de waterdruk op de bekleding en, bij zand en grind, in het potentiële afschuifvlak goed worden ingevoerd.
- de reactiekracht van de bekleding kan worden geschematiseerd tot die van een grondsoort.

Aan de eerste voorwaarde zal bij de meeste methoden wel kunnen worden voldaan, al zal dat wel de nodige aandacht vergen omdat de stijghoogte t.p.v. een punt van het afschuifvlak veelal verschilt van die op de bekleding er direct boven en bovendien van de stijghoogte in een ander punt van het afschuifvlak.

Het is veelal moeilijker om aan de tweede voorwaarde te voldoen, tenzij de bekleding net zo reageert als een grondsoort. In dat geval kan aan de bekleding een wrijvingshoek \$ en een cohesie c worden toegekend. bladnummer : - 81 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

In de overige gevallen kan de volgende aanpak worden toegepast:

- eerste benadering: bekleding als grondsoort beschouwen. Zo kan men een steenzetting bijvoorbeeld in eerste instantie schematiseren als een laag loskorrelig materiaal met een wrijvingshoek gelijk aan die van beton over beton. Dat is een pessimistische benadering, omdat het afschuifvlak volgens de berekening dan schuin door de bekleding zal gaan (geval D), terwijl in werkelijkheid allen een moeilijker, dus gunstiger afschuifvlak mogelijk is.
- als de bekleding trekkracht kan opnemen, dan lijkt het redelijk om aan te nemen dat de maximaal door de bekleding en/of eventuele verankering opneembare trekkracht T_{max} gemobiliseerd wordt voordat van een afschuiving sprake is. Het moment t.g.v. deze trekkracht kan dan meegenomen worden in de berekening en een, veelal aanzienlijke, stabiliserende rol spelen. Zie onderste schets van figuur 9.3.

$$\sum \mathbf{r} \cdot \mathbf{F} \mathbf{w}_1 + \mathbf{b} \cdot \mathbf{P} + \mathbf{c} \cdot \mathbf{T}_{\max} > \mathbf{a} \cdot \mathbf{\Sigma} \mathbf{G}$$
(9.2)

- als de bekleding drukkracht kan opnemen zal daarentegen niet gauw de maximaal opneembare drukkracht worden gemobiliseerd omdat de bekleding al eerder naar buiten uitbuigt vlak bij de plaats y = yo waar het afschuifvlak uit het talud treedt (zie geval E). De weerstand van de bekleding tegen afschuiving wordt meer bepaald door het moment dat de bekleding kan opnemen. Flexibele bekledingen, zoals niet ingewassen blokkenmatten, zullen daarom aan de onderkant (y=yo) nauwelijks drukkracht opnemen; de benadering als loskorrelig materiaal is daar de beste schematisering.
- In het geval van een steenzetting met smalle spleten, of een goed ingewassen zetting, zal de bekleding behoorlijk bijdragen aan de stabiliteit. Aan de kwantificering van de bijdrage is enige studie verricht. Zie bijlage V.

bladnummer : - 82 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : november 1988

9.2 Locale stabiliteit

9.2.1 Algemeen

Het stuk bekleding of de moot grond met bekleding die af zou kunnen schuiven volgens een van de manieren A-E van fig. 9.1 en 9.2, kan men opdelen in elementjes met lengte $1 = \Delta y$ langs het talud. Als ieder elementje op zich, d.w.z. zonder de steun van de buur-elementjes stabiel is, spreekt men van locale stabiliteit. In dat geval is ook het hele stuk of de hele moot stabiel: totale stabiliteit.

Veel van de in de adviespraktijk gebruikte formules hebben alleen betrekking op locale stabiliteit. Deze is betrekkelijk makkelijk te bepalen. Het is veelal aan te raden om na te gaan of locale stabiliteit verzekerd is ter plaatse van het zwaarst aangevallen deel van het talud. Als dat zo is, is ook de totale stabiliteit verzekerd.

Alvorens te definiëren wat exact onder "locale stabiliteit" verstaan dient te worden, worden hier eerst formules afgeleid voor het evenwicht van een elementje uit het mogelijk afschuivende stuk bekleding (met eventuele grond). Bij die afleiding dient men een keuze te maken ten aanzien van de wijze waarop krachten bij grond onder water geformuleerd kunnen worden. Er zijn vier principiëel verschillende formuleringen in zwang. Alle vier zijn goed, maar ze mogen niet door elkaar gehaald worden. Bij twee formuleringen wordt het evenwicht van een stuk KORREL SKELET beschouwd, bij de twee andere het evenwicht van een stuk GROND (korrels en water). Bij elk van die twee kan men weer onderscheid maken in de wijze waarop de Archimedes kracht verwerkt wordt: ôf expliciet door te werken met absolute gewichten en absolute waterdrukken; ôf impliciet door te werken met onder-water gewichten en stijghoogtes.

In bijlage VI zijn enige voorbeelden geschetst waarbij de verschillen tussen de vier benaderingen tot uitdrukking komen.

Hier zal steeds het evenwicht van een stuk GROND beschouwd worden. Afwisselend zal zowel met absolute gewichten en absolute waterdrukken gewerkt worden als met onder-water gewichten en stijghoogtes. bladnummer : - 83 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

9.2.2. Evenwicht elementje

Het evenwicht van een elementje bekleding (met eventueel een stuk ondergrond) kan beschreven worden m.b.v. de volgende schets.



ź.

Lokale stabiliteit

Hierin is:

D	diepte potentieel afschuifvlak onder het taludoppervlak [m] ;
G	absoluut eigen gewicht van het elementje
F k	korreldrukkracht tegen de onderzijde
Fw ₁	wrijvingskracht op de onderzijde
Fw ₂	wrijvingskracht op zijkant
Fw ₃	wrijvingskracht op zijkant [N/m']
N ₁	(korrel)normaalkracht vanuit een hoger gelegen deel
Nz	idem maar nu vanuit een lager gelegen deel
W1	kracht van absolute waterdruk op de bovenkant
Wz	idem op de onderzijde
W3	idem op de taludopwaartse zijde
W.	idem op de taludafwaartse zijde

In plaats van G en W, kan men ook werken met G', het onder-water gewicht en W', de kracht recht evenredig met de stijghoogte. Hier wordt dat steeds pas in tweede instantie gedaan. bladnummer : - 84 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Voor het evenwicht in y-richting geldt: $N_2 + W_4 - N_1 - W_3 = G \sin \alpha - Fw_1$ Het linkerlid is de resultante in positieve y-richting van de grondnormaalspanning op het elementje (met name de gradient van de langskracht in de bekleding). Deze waarde is minimaal als Fw₁ maximaal is. Over deze maximale waarde en dus de minimale waarde van het linkerlid het volgende. Als niet aan het locale kriterium voor stabiliteit tegen oplichten wordt voldaan (evenwicht in z-richting alleen door mobilisering Fw₂ - Fw₃) geldt $F_k = 0$. In dat geval geldt $F_{w_1} = 0$ dus:

$$(N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} = G \sin \alpha = \gamma_b D 1 \sin \alpha$$
 (9.3)

Als wel aan het criterium tegen oplichten wordt voldaan, dus $F_k>0$. is er praktisch geen vervorming loodrecht op het talud en geldt bij benadering: $Fw_2 = Fw_3$, zodat $F_k = G \cos \alpha - W_2 + W_1$ en:

- In grensvlak met wrijvingshoek δ_a , (par. 5.3, 5.4, 5.5) $Fw_{1max} = F_k \tan \delta_a$, zodat

$$(N_{z} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{min} = \Upsilon_{b} Dl \sin \alpha$$

$$= \{\Upsilon_{b} Dl \cos \alpha - \Upsilon_{w} fDl \cos \alpha - \Upsilon_{w} \Delta p_{0} l\} \tan \delta_{a}$$

- In klei
$$Fw_{1 \max} = C_{u} l$$
 (par. 5.2), zodat
 $(N_{2} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{\min} = \gamma_{b} Dl \sin \alpha - C_{u} l$ (9.6)

bladnummer : - 85 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

In deze formules: γ_{b} - soortelijk gewicht gemiddeld voor elementje fD - afstand in z-richting van afschuifvlak onder freatisch vlak (zie schets), met o $\leq f \leq 1$.



Als men met stijghoogtes en onder-water gewichten wil werken is eerder de gradiënt in y-richting van de korrel-normaalspanningen van belang, dus $N_2 - N_1$. Dan volgt:

Waar niet aan het locale oplicht-criterium wordt voldaan:

$$(N_2 - N_1)_{\min} = G' \sin \alpha + (W'_3 - W'_4) = (\gamma_b - \gamma_w) D1 \sin \alpha + (W'_3 - W'_4)$$
 (9.3¹)

Waar wel aan het oplichtcriterium wordt voldaan:

In grensvlak

$$(N_2 - N_1)_{min} = (\Upsilon_b - f\Upsilon_w)$$
 Dl sina + (W'₃ - W'₄) (9.4¹)
 $- \{ (\Upsilon_b - f\Upsilon_w)$ Dl cosa - $\Upsilon_w \Delta p_0$ tanda

- in zand, grind e.d., als (9.4^{1}) doch met ϕ i.p.v. δ_{a} (9.5^{1})

in klei

$$(N_2 - N_1) = (\Upsilon_b - f\Upsilon_w) Dl \sin \alpha + (W'_3 - W'_4) - C_u^1$$
 (9.6¹)

bladnummer : - 86 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

9.2.3. Definitie locale stabiliteit

Met LOCALE STABILITEIT wordt bedoeld dat het talud-elementje 1 x D geen steun ontleent aan naburige talud-elementjes. Dat kan op twee manieren gedefiniëerd worden:

(1) $Fw_2 = Fw_3$ en $N_2 + W_4 - N_1 - W_3 = 0$ (gradient GROND-normaalspanning in y-richting is nul) (9.7)

(2) $Fw_2 = Fw_3$ en $N_2 - N_1 = 0$ (gradient KORREL -normaalspanning in yrichting is nul) (9.8)

9.2.4 Locale stabiliteit bij grensvlak of in zand, grind e.d.

In deze en de volgende paragraaf zullen formules worden gegeven voor de locale stabiliteit van elementjes in de golfzone, uitgaande van een geschematiseerde externe golfbelasting voor het kritieke moment van de golf.

In paragraaf 3.3.3 en 3.3.4 is onder c) aangegeven dat de externe golfbelasting veelal geschematiseerd kan worden als aangegeven in figuur 3.5. Bij de periodieke drukvariatie en de gelijkmatige drukverlaging is het ongunstigste verhang van de externe stijghoogte dan gelijk aan de taludhelling. Voor die situatie zijn hieronder formules afgeleid. Verder wordt verondersteld dat het stijghoogte verschil Δp_0 tussen interne en externe stijghoogte bepaald is op de wijze aangegeven in hoofdstuk 6 en 7.

Voor locale stabiliteit moet allereerst aan het het oplichtcriterium worden voldaan:

 $F_k \ge 0$ dus $\Delta p_0 < \frac{\gamma_b - f\gamma_w}{\gamma_w} D \cos \alpha$ bladnummer : - 87 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Uit de formules 9.4 en 9.5, alsmede uit de definitie 9.7 volgt dat ook aan het afschuifkriterium wordt voldaan als:

dus
$$\frac{\tan \alpha}{\tan \delta_{a}} \leq \frac{\gamma_{b} - f\gamma_{w}}{\gamma_{b}} - \frac{\gamma_{w}}{\gamma_{b}} \frac{\Delta p_{o}}{D\cos \alpha}$$
 c.q. idem met ϕ i.p.v. δ_{a} (9.9)

Voor het extreme geval (par. 6.6) waarbij de interne waterdruk constant blijft, geldt voor het ongunstigst gelegen elementje $Ap_0 = R_d$ (= d_b) (zie bijlage II-1.2, II-1.3, II-2.2, II-2.3). Dan volgt:

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \delta_{a}} \leq \frac{\gamma_{b} - f\gamma_{w}}{\gamma_{b}} - \frac{\gamma_{w}}{\gamma_{b}} \frac{R_{d}}{D\cos \alpha} \text{ c.q. idem met } \phi \text{ i.p.v. } \delta_{a} \qquad (9.10)$$
Voor het andere extreme geval waarbij de interne stijghoogte gelijk is

aan de externe op het dichtsbijzijnde punt op het talud, geldt $\Delta p_0 = 0$ (zie dezelfde bijlagen, doch steeds het tweede deel), zodat het afschuifkriterium overgaat in:

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \delta_{a}} \leq \frac{\gamma_{b} - f\gamma_{w}}{\gamma_{b}} \qquad \text{c.q. idem met } \phi \text{ i.p.v. } \delta_{a} \qquad (9.11)$$

Als men in plaats van definitie 9.7 die van 9.8 wil gebruiken, moet men de grootte van het stijghoogteverhang IN de bekleding kennen. In het laatste extreme geval is dat, net als het verhang langs het potentiële afschuifvlak, gelijk aan het externe verhang. Dus $W_3 = W_4$ en $W'_3 - W'_4 = \Upsilon_W$ Dl sina. Zodoende komen beide definities op hetzelfde neer en geldt ook formule 9.11. In het eerste extreme geval wordt ook vaak aangenomen dat het verhang IN de bekleding gelijk is aan het externe (waterdichte deel licht vlak boven afschuifvlak). Dan kan ook 9.10 gebruikt worden. bladnummer : - 88 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

9.2.5 Locale stabiliteit in klei

Ook hier worden formules gegeven uitgaande van het ongunstige externe stijghoogte verhang gelijk aan de taludhelling (fig. 3.5). Uit formule 9.6 en definitie 9.7 (of definitie 9.8, mits men weer aanneemt dat het verhang IN de bekleding gelijk is aan het externe verhang) volgt dat aan het afschuifcriterium wordt voldaan als:

_

$$F_{w_1} = G \sin \alpha \leq C_{u}$$

Dus r_b Dsina $\leq C_{11}$ (9.12)

Volgens par. 5.2 geldt voor de golfzone die normaal onder water ligt: als de klei zich aan de locale situatie heeft aangepast:

 $C_{u} = \sigma'_{v} \tan \phi_{u}$ en $\sigma'_{v} = z (\gamma_{b} - \gamma_{w})$ of $z (\gamma_{b} - \gamma_{w}) \cos \alpha$

zodat het afschuif kriterium, met z = D, overgaat in:

bladnummer : - 89 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

9.3 <u>Totale stabiliteit bij rechte afschuifvlakken</u>

9.3.1 Algemeen

Als niet overal langs een afschuifvlak aan de locale stabiliteit wordt voldaan, kan toch nog wel voldaan worden aan de totale stabiliteit, d.w.z. aan voorwaarde 9.2 voor cirkelvormige afschuifvlakken of 9.1 voor rechte:

$$\Sigma (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} < T_b + D_o$$
 (9.13)= (9.1)

OF $\Sigma (N_2 - N_1) < T_b' + D_o'$ (9.14) waarin T_b' en D_o' de ankertrekkracht, respectievelijk steundruk, zijn zonder de waterdruk.

De grootte van het linkerlid kan men bepalen met de formules 9.4 of 9.5 (mits men het verloop van Δp_0 langs het afschuifvlak heeft bepaald op de wijze aangegeven in hoofdstuk 6 en 7), respectievelijk 9.6.

Aan de toepasbaarheid van 9.13 of 9.14 zijn echter beperkingen verbonden. Een locaal instabiel deel van de bekleding kan alleen steun ontlenen aan een lager gedeelte van de bekleding en aan steundruk D_o als de bekleding drukkrachten kan overdragen. Evenzo moet de bekleding trekkrachten kunnen opnemen om steun te ontlenen aan een hoger gedeelte en aan ankerkracht T_b .

Goed klemmende steenzettingen op een loskorrelig filter kunnen drukkrachten opnemen, maar geen trekkrachten. Vele matconstructies zijn flexibel en kunnen daarom geen drukkrachten opnemen, maar kunnen wel trekkrachten opnemen door staaldraden of geotextielen. Sommige blokkenmatten, b.v. goed ingewassen blokkenmatten, kunnen beide opnemen. Dat geldt ook voor goed klemmende steenzettingen op een geotextiel als het gaat om een afschuiving onder het geotextiel. Een en ander is in de volgende paragrafen globaal uitgewerkt voor situaties met rechte afschuifvlakken. bladnummer : - 90 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Formule 9.13 gaat uit van absolute gewichten en absolute waterdrukken; terwijl 9.14 uitgaat van onder-water gewichten (waar van toepassing) en stijghoogtes. De formules zijn in principe identiek, maar de uitwerking verloopt verschillend. Het eindresultaat moet uiteraard weer gelijk zijn. Beide uitwerkingen zullen hier gepresenteerd worden.

9.3.2 Totale stabiliteit bij grensvlak of in zand, grind e.d.; toepassing van absolute gewichten en waterdrukken.

In paragraaf 2.3 en de bijlagen B en C van sectie 1 van deze band is de totale stabiliteit voor een aantal veel voorkomende gevallen uitgewerkt in praktisch hanteerbare formules. De afleiding van deze formules is te vinden in de bijlagen D, G, H, I, J en K van sectie 6 van band B. Bij die afleiding zijn een aantal vereenvoudigingen toegepast.

Hieronder volgt een uitwerking van de stabiliteit zonder die vereenvoudigingen. De uitwerking gaat echter veel ver.

Bij een grensvlak wordt gewerkt met wrijvingshoek δ_a ; in zand, grind e.d. met wrijvingshoek ϕ . Verder is er geen verschil. Hier zullen alleen de formules met ϕ gegeven worden.

De uitwerking in deze paragraaf gaat uit van absolute gewichten en absolute waterdrukken, dus met 9.13 als uiteindelijk criterium. Langs het talud kan het stuk bekleding (met eventueel een stuk ondergrond) opgedeeld worden in drie zones:

- Zone I geheel onder water

- Zone II waar het freatische vlak door de bekleding (met ondergrond) loopt
- Zone III geheel boven water

Zie de figuur op de volgende bladzijde.

```
bladnummer : - 91 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum : februari 1991
```



In zone II wordt aangenomen dat de stijghoogte in het potentiële afschuifvlak gelijk is aan de hoogte van het freatisch vlak, zodat Δp_0 = 0. Verder wordt aangenomen dat dit vlak recht is zodat $f = \frac{1}{2}$ en $\overline{\gamma}_b = \gamma_s (1-n) + \frac{1}{2} n \gamma_w$ (als het een steenzetting met smalle spleten betreft geldt n = 0 en blijft γ_b constant, maar bij breuksteen als toplaag neemt γ_b naar boven toe duidelijk af).

Met formule 9.4 of 9.5 volgt nu:

$$F_{I} = \int_{y^{1}}^{y^{5}} \frac{1}{1} (N_{z} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{min} dy$$

$$= [\gamma_{b} \sin \alpha - (\gamma_{b} - \gamma_{w}) \cos \alpha \tan \phi] D(y_{5} - y_{1}) + \gamma_{w} \tan \phi \int_{y^{1}}^{y^{5}} \Delta p_{0} dy$$

$$F_{II} = \int_{y^{5}}^{y^{6}} f \frac{1}{1} (N_{z} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{min} dy$$

$$= [\overline{\gamma}_{b} \sin \alpha - (\overline{\gamma}_{b} - \frac{1}{2} \gamma_{w}) \cos \alpha \tan \phi] D(y_{6} - y_{5})$$

$$FIII = \int_{y^{6}}^{y^{7}} f \frac{1}{1} (N_{z} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{min} dy$$

$$= \gamma_{b} (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi) D (y_{7} - y_{5}) \qquad (9.15)$$

Delen van de bekleding met positieve F-waarde zijn potentieël instabiel.

In bovenstaande schets geldt voor $y_3 < y < y_4$ dat de bekleding (met eventueel stuk ondergrond) locaal instabiel is volgens definitie 9.7. Voor $y < y_3$ en $y > y_4$ heeft de bekleding sterkte over, omdat daar $(N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} < 0.$ bladnummer : - 93 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Bovendien is er nog steundruk bij y_1 en soms ook nog een ankerkracht bij y_7 . Of die het gebrek aan stabiliteit in het middengedeelte kunnen compenseren hangt af van het vermogen van de bekleding om trekkrachten en/of drukkrachten op te nemen.

Als de bekleding (met eventueel stuk grond) <u>alléén drukkrachten</u> kan opnemen, dan dreigt bij een afschuiving een breuk te ontstaan bij y₄. Om de optredende drukkracht en de eventueel vereiste steundruk te berekenen moet men alleen het deel y₁ < y < y₄ beschouwen. Overeenkomstig figuur 9.1 en 9.3 geldt:

$$y_0 = y_1$$
 en $D_0 = N_2(y_1) + \gamma_w D h(y_1)$
 $y_b = y_4$

Nu volgt overeenkomstig de voorwaarde voor totale stabiliteit 9.13 voor de korrel steun-kracht onder aan bekleding $N_2(y_1)$:

$$N_{2}(y_{1}) > \frac{y_{4}}{y_{1}}f \frac{1}{1}(N_{2} + W_{4} - N_{1} - W_{3})_{min} dy$$

 $N_2(y_1) > [\gamma_b \sin \alpha - (\gamma_b - \gamma_w) \cos \alpha \tan \phi] D (y_4 - y_1) +$

$$\Upsilon_{w} \tan \phi \frac{y_{4}}{y_{1}} \int \Delta p_{0} dy - \Upsilon_{w} Dh(y_{1}) \qquad (9.16)$$

Voorts geldt:

Max. drukkr.in bekleding (bij y_3) = $\begin{array}{c} y_4 f \frac{1}{1} (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} dy \\ y_3 f \frac{1}{1} (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} dy \end{array}$ = $\left[y_b \sin \alpha - (\gamma_b - \gamma_w) \cos \alpha \tan \phi \right] D (y_4 - y_3) + \gamma_w \tan \phi \frac{y_4 f}{y_3} \Delta p_0 dy$

bladnummer : - 94 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Als de bekleding (met eventueel stuk ondergrond) <u>alléén trekkrachten</u> kan opnemen, dan dreigt een knik te ontstaan by y, Nu moet alleen het deel y, $\langle y \langle y, beschouwd worden:$ Overeenkomstig fig. 9.1 en 9.3 geldt:

$$y_0 = y_3$$

 $y_b = y_7$

Nu volgt, overeenkomstig de voorwaarde voor totale stabiliteit 9.13:

Ankerkracht $T_b = -N_1(y_7) > \frac{y_7}{y_3} \int \frac{1}{1}(N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} dy$ $T_b > [y_b \sin \alpha - (\gamma_b - \gamma_w) \cos \alpha \tan \phi] D (y_5 - y_3) + \gamma_w \tan \phi \frac{y_5}{y_3} \int \Delta p_0 dy$ $+ F_{II} + F_{III}$ (9.18)

Voorts geldt:

Max.trekkr.in bekleding (bij y₄) =
$$\frac{y_4}{y_3} \int \frac{1}{1} (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min} dy$$

= [y_b sina - (Y_b - Y_w)cosa tan¢] D(y₄ - y₃) + Y_w tan¢ $\frac{y_4}{y_3} \int \Delta p_0 dy$
(9.19)

Als de bekleding (met eventueel stuk ondergrond) <u>zowel druk- als</u> <u>trekkrachten</u> kan opnemen, doet de hele bekleding mee aan de totale stabiliteit, zodat, overeenkomstig figuur 9.1 en 9.3 geldt:

$$y_0 = y_1$$
 en $D_0 = N_2 (y_1) + \gamma_W D h(y_1)$
 $y_b = y_7$

Overeenkomstig 9.13 volgt dat totale stabiliteit verzekerd is als:

$$N_{2} (y_{1}) + T_{b} > F_{I} + F_{II} + F_{III} - \gamma_{w} D h(y_{1})$$

$$(9.20)$$

bladnummer : - 95 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De maximale drukkracht en maximale trekkracht in de bekleding zijn niet zo makkelijk te bepalen, omdat de verdeling tussen trek en druk afhangt van de stijfheid. In ieder geval geldt dat ze kleiner zijn dan de hierboven in formule 9.17 en 9.19 aangegeven maxima en dat tevens de volgende ongelijkheden gelden:

Drukkracht in bekleding
$$\langle D_{0 \text{ max}} + \frac{y_3}{y_1} \int \frac{1}{1} (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{\min} dy$$
(9.21)

Trekkracht in bekleding $\langle T_{b \max} + \frac{y_7}{y_4} f \frac{1}{1} (N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{\min} dy$ (9.22)

OPMERKING: Formeel is het onjuist om formule 9.4 of 9.5 toe te passen in de gehele zone I, zoals dat gedaan is in 9.15 om F_I te berekenen. Als voor een deel van zone I niet voldaan wordt aan het oplichtcriterium, zoals in de schets is aangegeven met een dik lijnstuk, zal locaal formule 9.3 van toepassing zijn i.p.v. formule 9.4 of 9.5. Formule 9.4 of 9.5 is daar te ongunstig. In de delen van zone I die aan het opgelichte deel grenzen geldt formule 9.4 of 9.5 evenmin, omdat daar $Fw_2 \neq Fw_3$, aangenomen dat het iets opgelichte deel wordt vastgehouden door de aangrenzende delen. Daar is formule 9.4 of 9.5 echter te gunstig. Voor de totale stabiliteit hoeven deze nuanceringen echter niet aangebracht te worden: het gunstige effect in het oplichtende deel is precies gelijk aan het ongunstige in de aangrenzende delen. Daarom wordt overal in zone I formule 9.4 of 9.5 toegepast. bladnummer : - 96 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

9.3.3. Totale stabiliteit bij grensvlak of in zand, grind, e.d.; toepassing onder-water gewichten en stijghoogtes.

Hieronder volgt de uitwerking voor de totale stabiliteit volgens het principe met onder-water gewichten en stijghoogtes. De uitwerking gaat niet zo ver dat hij direct bruikbaar is. Dat geldt wel voor het rekenmodel dat volgens dit principe is uitgewerkt voor de situatie waarin de interne stijghoogte t.p.v. het potentiële afschuifvlak beschreven kan worden met het analytisch model van Wolsink (bijlage III). Nadere details van dit rekenmodel zijn gegeven in Meijers, 1988, par. 5.2. (Band B, sectie 2, 1990).

Nu worden de formules $9.3^1 9.4^1 9.5^1 9.6^1 9.8$ en 9.14 gebruikt. Deze situatie is wat gecompliceerder omdat men de waarde van $W'_4 - W'_3$ niet kent. Net als bij het einde van paragraaf 9.2.4 wordt hier aangenomen dat de gradiënt van de interne stijghoogte in de bekleding (boven het potentiële afschuifvlak) gelijk is aan de helling van het talud, althans waar dat ook geldt voor de externe stijghoogte: overeenkomstig de schematisaties van figuur 3.5, is dat boven het run-down punt. Onder het run-down punt wordt hier aangenomen dat de gradiënt nul is, dus $W'_4 = W'_3$. Voor windgolven is dat een pessimistische veronderstelling.

Daartegenover staat dat hier, in tegenstelling tot in de vorige paragraaf, aangenomen wordt dat in die delen waar de bekleding opgelicht dreigt te worden (met dik lijnstuk aangegeven in onderstaande schets), formule 9.3¹ mag worden toegepast, terwijl in de aangrenzende delen formule 9.4¹ of 9.5¹ mag worden toegepast, alsof het opgelichte deel niet vastgehouden hoeft te worden door de aangrenzende delen. Dat is een optimistische veronderstelling. Nu kan men 8 zones onderscheiden: bladnummer : - 97 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988



ć,

bladnummer : - 98 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De resulterende kracht $(N_2 - N_1)$ per zone is door integratie te berekenen:

$$F_{I} = \Upsilon_{w} \cdot \int_{a_{zb}}^{d_{1}} [\Delta .D. (1 - \tan \phi / \tan \alpha) + \Delta P_{o} \cdot \tan \phi / \sin \alpha] \cdot \delta d$$

$$F_{II} = \Upsilon_{w} \cdot \int_{a_{1}}^{d} [\Delta .D. (1 - \tan \phi / \tan \alpha) + \Delta P_{o} \cdot \tan \phi / \sin \alpha] \cdot \delta d$$

$$F_{IIIa} = \Upsilon_{w} \cdot \Delta .D. \int_{a_{z}}^{d_{b}} \delta d$$

$$F_{IIIb} = \Upsilon_{w} \cdot D. \int_{a_{b}}^{d_{b}} (\Delta + 1) \cdot \delta d$$

$$F_{IV} = \Upsilon_{w} \cdot \int_{a_{s}}^{d} [D. (\Delta + 1 - \Delta \cdot \tan \phi / \tan \alpha) + \Delta P_{o} \cdot \tan \phi / \sin \alpha] \cdot \delta d$$

$$F_{V} = \Upsilon_{w} \cdot \int_{a_{s}}^{d_{s}} [D. (\Delta + 1 - \Delta \cdot \tan \phi / \tan \alpha) + \Delta P_{o} \cdot \tan \phi / \sin \alpha] \cdot \delta d$$

$$F_{VIa} = D^{2} \cdot \cos \alpha \cdot (\Upsilon_{b} - \Upsilon_{w} / 2) \cdot (1 - \tan \phi / \tan \alpha)$$

$$F_{VIb} = \Upsilon_{w} \cdot (\Delta + 1) \cdot D. (1 - \tan \phi / \tan \alpha) \cdot (d_{\tau} - D \cdot \cos \alpha)$$
(9.23)

met

$$d = y.sin\alpha$$

 $d_s - d_s = D cos\alpha$

Delen van de bekleding met een positieve resulterende kracht zijn instabiel. bladnummer : - 99 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Kracht in een teenconstructie als bekleding alleen drukkrachten kan overdragen:

De kracht op een teenconstructie wordt bepaald door die delen van de bekleding welke steun vinden tegen lager gelegen delen van de bekleding. Dit betekent dat stabiele delen boven aan het talud geen kracht op de teenconstructie uitoefenen. Stabiele delen aan de onderzijde van de bekleding kunnen tot bezwijken worden gebracht door bovenliggende instabiele delen.

Indien wordt aangehouden dat de nummering van de delen van onderaf oplopend is dan kan de kracht in de teenconstructie worden bepaald door

$$D_o' = N_z (d_{zb}) = \frac{N_z \overline{z}^1}{n = 1} F_n$$

met

N = nummer van het eerste stabiele deel boven het bovenste instabiele deel (in voorbeeld deel V)

Kracht in ankerconstructies als de bekleding alleen trekkrachten kan opnemen:

Bij de aanwezigheid van een ankerconstructie geldt een zelfde benadering met als verschil dat stabiele delen onder aan het talud niet bijdragen tot een vermindering van de ankerkracht.

Bij van onder af oplopende nummering van de delen volgt dan voor de ankerkracht

$$T_{b} = -N_{1}(d_{7}) = \sum_{n=N1}^{N} F_{n}$$

met

N = nummer van het bovenste deel

N1= nummer van het onderste instabiele deel (in het voorbeeld deel II)

bladnummer : ~ 100 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

De maximale ankerkracht bedraagt in het voorbeeld

$$T_{b} = F_{II} + F_{III} + F_{IV} - F_{V} - F_{VI}$$

en de maximale trekkracht = $F_{II} + F_{III} + F_{IV}$ omdat de delen V en VI in het voorbeeld stabiel zijn.

In geval van een maximaal acceptabele kracht $D'_{o max}$ in een teenconstructie kan worden afgeleid wat de minimum maat voor de diepte z_{bmin} van de bekleding moet zijn. Met behulp van een eenvoudige iteratieve oplosmethode kan met een startwaarde voor $z_{bmin} = -d_1$ een nieuwe maat voor z_{bmin} worden bepaald uit

$$z_{b} = z_{bmin} - [F_{II} + F_{III} + F_{IV} - D_{o max}] / [y_{w} \cdot \Delta \cdot D \cdot (1 - \tan\phi/\tan\alpha)]$$
$$z_{bmin} = z_{b}$$

Hiermee wordt al na 1 á 2 iteratiestappen een redelijk benadering voor z_{bmin} gevonden.

9.3.4 Totale stabiliteit bij afschuiving in of over klei

In paragraaf 2.3 en de bijlagen B en C van sectie 1 van deze band is de totale stabiliteit voor een aantal veel voorkomende gevallen uitgewerkt in praktisch hanteerbare formules. De afleiding van deze formules is te vinden in de bijlagen D, G, H, I, J en K van sectie 6 van band B. Die formules zijn hier toepasbaar mits een zeer doorlatende toplaag wordt aangenomen en een goede waarde voor $\tan \delta = \tan \phi_u$. In plaats van die formules kan men de onderstaande gebruiken. Die zijn op een iets andere wijze afgeleid, maar komen in hoofdzaak op hetzelfde neer. bladnummer : - 101 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

Zoals is toegelicht in par. 5.2 is de schuifsterkte van klei bij snelle belastingwisseling onafhankelijk van de golfbelasting. De ongedraineerde schuifsterkte kan volgens par. 5.2 worden uitgedrukt in

- onder grondwaterstand $C_u = \sigma_v'$ tan ϕ_u - boven grondwaterstand $C_u = \sigma_v'$ tan ϕ_{ub}

De waarde van ϕ_u kan afwijken van ϕ_{ub} . Bovendien is de waarde van σ'_v onder de stil waterlijn in ieder geval kleiner dan die erboven. Als het potentiële afschuifvlak niet IN de klei ligt, maar als het gaat om afschuiven OVER klei, moeten hier C_u door C_a vervangen worden, ϕ_u door δ_a en ϕ_{ub} door δ_{ab} . Zie par. 5.3, 5.4 en 5.5.

Uitgaande van <u>absolute gewichten en absolute waterdrukken</u> kan formule 9.6 toegepast worden. Hierin kan C_u boven de stilwaterlijn dus wat groter zijn dan eronder, terwijl y_b boven die lijn alleen maar kleiner kan zijn dan eronder. Daarom zal $(N_2 + W_4 - N_1 - W_3)_{min}$ boven de stilwaterlijn veelal kleiner zijn dan nul. Als de bekleding alleen <u>drukkrachten</u> op kan nemen, moet y_b (fig. 9.1 en fig. 9.3) dan bij de stilwaterstand genomen worden.

Overeenkomstig 9.13 geldt nu als criterium voor de totale stabiliteit: Korrelkracht onderaan $N_2(y_0) > (\bar{y}_b D \sin \alpha - \bar{C}_u) (y_b - y_0) - y_w D h(y_0)$ (9.24)

Hierin: $h(y_0)$ = externe stijghoogte onderaan de bekleding

Voorts geldt: Maximale drukkracht in de bekleding = $(\bar{y}_{b} D \sin \alpha - \bar{C}_{u}) (y_{b} - y_{o}) (9.25)$

Als de bekleding alleen <u>trekkrachten</u> kan opnemen zal y_o wel altijd onderaan de bekleding liggen, terwijl y_b bovenaan genomen moet worden.

Overeenkomstig 9.13 geldt nu als criterium voor de totale stabiliteit:

Ankerkracht
$$T_b > (\bar{y}_b D \sin \alpha - \bar{C}_u) (y_b - y_c) - y_w D h(y_c)$$
 (9.26)

bladnummer : - 102 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Voorts geldt: Max.trekkracht in bekleding = $(\tilde{\tau}_b D \sin a - \bar{C}_u) (y_b - y_o) - \tilde{\tau}_w D h(y_o)$ (9.27)

Als de bekleding zowel <u>druk- als trekkrachten</u> kan opnemen ligt y_0 onderaan en y_b bovenaan de bekleding en geldt voor de totale stabiliteit overeenkomstig 9.13:

$$N_{z}(y_{o}) + T_{b} > (\bar{\tau}_{b} D \sin \alpha - \bar{C}_{u})(y_{b} - y_{o}) - \tau_{w} D h(y_{o})$$
(9.28)

De maxima van drukkracht en trekkracht in de bekleding liggen lager dan volgens 9.25, respectievelijk 9.27. Bovendien geldt Maximum drukkracht < $N_2(y_0)_{max}$ Maximum trekkracht < T_b max

Uitgaande van <u>onder-water gewichten</u> en <u>stijghoogtes</u> (zie ook Meijers, 1988, par. 5.3) kan formule 9.6^1 toegepast worden. Nu wordt aangenomen net als in par. 9.3.3., dat (W, $-W_*$) = fY D l sing boven het rundown punt en W', = W', er beneden. Zie onderstaande schets. Dan zijn een viertal zones te onderscheiden waarvoor een afzonderlijk evenwichtscriterium kan worden afgeleid.



bladnummer : - 103 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

$$F_{I} = (z_{b}-d_{b}) \cdot (\gamma_{b}-\gamma_{w}) \cdot D \cdot (1-\tan \phi_{u}/\tan \alpha)$$

$$F_{II} = d_{b} \cdot D \cdot [\gamma_{b}-(\gamma_{b}-\gamma_{w}) \cdot \tan \phi_{u}/\tan \alpha]$$

$$F_{III} = D^{2} \cdot \cos \alpha \cdot (\gamma_{b}-\gamma_{w}/2) \cdot (1-\tan \phi_{u}/\tan \alpha)$$

$$F_{IV} = (s-D \cdot \cos \alpha) \cdot D \cdot \gamma_{b} \cdot (1-\tan \phi_{ub}/\tan \alpha)$$

Delen met een positieve resulterende kracht F zijn instabiel.

Kracht in een teenconstructie:

Stabiele delen boven het bovenste instabiele deel zullen de teenconstructie niet belasten. Als de delen vanaf onder oplopend worden genummerd is de kracht op de teenconstructie bepaald door

$$D'_{o} = N_{2}(y_{o}) = \sum_{i=1}^{Nib} F_{n}$$

met

Nib = nummer van het bovenste instabiele deel

Kracht in ankerconstructie:

In het geval van een verankerde bekleding wordt aangenomen dat de kabels geen drukkracht kunnen opnemen en dat de blokken vrij van elkaar blijven. Hierdoor zullen stabiele delen onder het onderste instabiele deel de ankerkracht niet reduceren.

De kracht op de ankerconstructie wordt nu bepaald door $T'_{b} = -N_{i}(y_{b}) = \sum_{Nio}^{N} F_{n}$

met

Nio = nummer van het onderste instabiele deel N = nummer van het bovenste deel bladnummer : - 104 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

De maximum trekkracht in de bekleding = $\frac{\text{Nib}}{\text{Nio}} F_n$

Bij een gegeven maximale kracht D' o max op een teenconstructie volgt als minimale aanlegdiepte z_{bmin}voor de steenzetting

 $z_{bmin} \leq d_b + (D'_o \max_{\alpha} - \sum_{n}^{Nib} F_n) / [(\gamma_b - \gamma_w).D.(1 - \tan \phi_u / \tan \alpha)]$

bladnummer : - 105 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

14. REFERENTIES

- Adel, H. den. "Heranalyse doorlatendheidsmetingen door middel van de Forchheimer relatie". Grondmechanica Delft, CO-272550/56 1987.
- [2] Adel,H . den Literatuurstudie filters CO-258901/88,LGM Delft
- [3] Banach, L. en Klein Breteler, M. "Taludbekleding van gezette steen; Waterbeweging en golfbelasting op een talud; parametrisch drukkenmodel". WL/GD/RWS M1795 deel XVII section 3, 1989.
- Best, H. e.a. "Taludbekleding van gezette steen.
 Grondmechanische stabiliteit in de golfzone. Verweking van zand onder Basalton zetting". WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band C, sectie 3, 1988.
- [5] Bezuijen, A. en Boer, K. den . Taludbekleding van gezette steen; Overzicht onderzoek 1980-1984; samenvattend verslag. WL/GD/RWS M1795/M1881 deel XV, oktober 1984.
- [6] Bröszkamp, K.H., et al.Seedeichbau Theorie und Praxis.Hamburg 1976.
- [7] CUR/TAW, Commissie C74. "Leidraad voor dimensionering van cementbetonnen dijkbekledingen", concept oktober 1990.
 De definitieve versie wordt in 1991 verwacht en zal waarschijnlijk als titel dragen "Handboek voor dimensionering van gezette dijkbekledingen" of "Handleiding ..."

- [8] Ebbens, E.H. Molenkamp, F. en Ruygrok, P.A. "Effect of wave impact on asphalt revetments of Dutch sea dikes". IAHR, ISSFME, IUTAM. Modelling Soil-Water-Structure Interactions. Balkema, Rotterdam 1988.
- [9] Führböter, A. en Sparboom, U. "Shock pressure interactions on prototype sea dykes caused by breaking waves". IAHR, ISSFME, IUTAM Modelling Soil-Water-Structure Interactions, 243-252. Balkema, Rotterdam 1988.
- [10] Grüne, J. "Anatomy of shock pressures (surface and sand core) induced by real sea state breaking waves". IAHR, ISSFME, IUTAM, Modelling Soil-Water-Structure Interactions, 261-270. Balkema, Rotterdam, 1988.
- [11] Hoogeveen, R. en de Groot, M.B. "Taludbekleding van gezette steen. Grondmechanische stabiliteit in de golfzone. De grondmechanische stabiliteit van steenzettingconstructies", 1987. WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band B, sectie 3, 1990.
- [12] Klein Breteler, M.. "Taludbekleding van gezette steen. Doorlatendheid van de toplaag". WL, M1795/M1881 deel XVIII, 1986.
- [13] Knaap, F.C.M. van der, "Externe belastingen door Scheepvaart". PATO-cursus Oever- en dijkbekleding, OD3, 1986.
- [14] Ladd, C.C. Overview of clay behaviour. MIT Special Summer Course. Cambridge, MA 02139 1985.

bladnummer : - 107 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

- [15] Lee, K. and Sills, G.C., (1981) The Consolidation of a Soil Stratum including Self-weight Effects and Large Strains. Int. Journal for Num. and Anal. Methods in Geomechanics, Vol pp. 405-428.
- [16] Lindenberg, J. "Taludbekleding van gezette steen. Grondmechanische stabiliteit in de golfzone. Verweking van zand onder steenzettingen". WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band C, sectie 1, 1988. ("Oriënterende studie") en sectie 2 ("Verslag experimenteel onderzoek")
- [17] Meijers, P. "Taludbekleding van gezette steen. Grondmechanische stabiliteit in de golfzone. Afschuiven van taludbekledingen over de ondergrond", 1988. WL/GD/RWS M1795, deel XXII, band B, sectie 2, 1990.
- [18] PIANC Report of Working Group 4 of the Permanent Technical Committee I, "Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments incorporating Geotextiles for Inland Waterways". Supplement to Bulletin No 57 (1987)
- [19] Pilarczyk, K.W., (1986) Bekleding uit loskorrelige materialen; PATO cursus oever- en dijkbekledingen, deel OD 12
- [20] Stive, R.J.H. Wave impact on Uniform Steep Slopes at approximately Prototype Scale. Symp. Scale Effects in Mod. Hydr. Struct., IAHR, Esslingen/Stuttgart (KOBUS), September 1984.
- [21] Technische adviescommissie voor de waterkeringen (T.A.W.) Leidraad voor toepassing van asfalt in de Waterbouw. s-Gravenhage, 1984.

bladnummer : - 108 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

- [22] Veer, P. van der Kwelbeperking met ondoorlatende wanden van beperkende lengte. Polytechnisch tijdschrift-Bouwkunde, 31 (1976), nr. 11, pp691-695.
- [23] Veldhuijzen van Zanten, R., (1986) Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering. Balkema, Rotterdam.
- [24] Verhey, H.J. en Wal, M. van der, "Prototypemetingen in het Hartelkanaal in 1983...Deel A, hydraulische aspecten" WL, M1115 deel XIIA, 1984.
- [25] Verruyt, A. (1969)
 Elastic storage of aquifers.
 flows Through Porous Media, chap. 8, Acedemic Press.
- [26] Wolsink, G.M. "Rekenmodel stromingen". Hoofdstuk 3.6 uit "Taludbekleding van gezette steen. Bezwijken van zettingen. Overzicht en bundeling bestaande kennis". WL M1795/M1881 deel XI, juni 1985.
- [27] Yamamoto, Koning, Sellmeyer, van Hijum
 On the response of a poro-elastic bed to water waves.
 J. Fluid Mech. (1978), vol.87, part 1, pp. 193-206.

bladnummer : - 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

TABEL 6.1 VOORBEELDEN VAN KARAKTERISTIEKE LENGTES EN STIJFHEDEN

Ter bepaling van de karakteristieken voor de externe belasting zijn enige praktische waarden van H_E , T_E en L_E hieronder weergegeven.

Т,

	golfklap bij H _s = 1m	golffront van periodieke druk	gelijkmatige drukverlaging				
	en T _p = 3s	variatie bij	door duwbak				
		H _s = 1m T _p = 3s					
н _Е	0,5 å 3 m	0,5 å 2 m	0,3 å 0,8 m				
т _е	0,1 å 0,2 s	3 s	10 å 50 s				
L _E	0,5 å 3 m	1 å 10 m	50 å 150 m				

-

TABEL 6.2 VOORBEELDEN VAN DOORLATENDHEDEN, STIJFHEDEN EN CONSOLIDATIECOEFFICIENTEN

	k m/s	Kw kPa	K+4G/3 kPa	c _v m²/s
klei	10-*	>>	3.10°	3.10-*
stijf zand zeer doorlatend weinig lucht (0.1%)	10-3	10 ⁵	105	10
stijf zand zeer doorlatend veel lucht (10%)	10-3	103	10 ^s	0.3
los zand slecht doorlatend weinig lucht (0.1%)	10- 5	10 ⁸	104	10-²

bladnummer : - 3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

∫ T _E C _v en ∫ T _E C _v /L _E	golfklap bij H _S = 1 m en T = 3 s	golffront van periodieke druk- variatie bij	gelijkmatige drukverlaging door duwbak
	p	H = 1m T = 3s s p	
klei	0,5.10 ⁻³ m ≤ 0,001	3.10 ⁻³ m ≤ 0,005	0,5 å 1,2.10 ^{-°} m ≤ 0,02
stijf zand zeer doorlatend weinig lucht (0,1%)	1 & 1,5 m 0,3 & 3	5 m 0,5 A 5	10 & 20 m 0,1 & 0,4
stijf zand zeer doorlatend veel lucht(10%)	0,2 m 0,1 å 0,4	1 m 0,1 & 1,0	1,5 å 4 m 0,01 å 0,1
los zand slecht doorlaten weinig lucht (0,1%)	0,04 m d 0,01 & 0,1	0,15 m 0,01 & 0,15	0,3 å 0,7 m ≤ 0,015 [°]

TABEL 6.3 RESULTERENDE KARAKTERISTIEKE LENGTES VOOR ELASTISCHE BERGING

TABEL 7.1 FUNCTIES HOREND BIJ SINUS GOLF (EERSTE ORDE STOKES) (Overgenomen van Ove Skovgaard e.a. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Techn. University of Denmark)

																						_		_		_					_		
ᇓᆱ	0.918	920	923	929	0.932	936	939	942	946	0.949	952	955	958	961	0.964	.967	969	972 972		0.976	978	986	982	102	0.985	986	987	88 6	966	0.990		1.000	
U	0.335	313	291	251	0.233	215	199	163	169	0.155	143	161	ន	110	0.100	160	680	076	8	0.063	057	052	50	5	0.038	035	160	028	026	0.023		0.00	
cosh kh	2.18	28	Ş (22	2.78	2.93	3.09	52	÷.	3.62	3.83	4.05	58	5	4.79	5.07	37	8.3 8	5	6.41	6.80	7.22	7.66	1.0	8.64	9.18	9.76	10.4	11.0	11.7		8	
aluh kh	1.94	2.05	22	45	2.60	75	2.92	3.10	28	3.48	69	3.92	4.16	Ţ	4.68	4.97	5.28	5 61 6	? : ;	6.33	6.72	7.15	7.60	5.0	8.59	9.13	17.6	10.3	0.11	11.7		t	
кh	1.41	47	35	è 69	1.68	74	61	85	8	1.96	2.02	80	= :	19	2.25	31	37	Ç 4	;;	2.54	8	3	28		CB.2	1 6	2.97	3.03	8	3.15		8	
비고	0.225	234	242	259	0.268	277	285	294	EQE	0.312	321	200	6EE	349	0.358	367	377	æ i		0.405	415	424	5		0.433	4 63	2 4	6 82	492	0.502		8	
tanh kh	0.888	668	60.6 a to	926	0.933	940	946	952	957	0.961	965	696	579	516	0.978	980	68 9	18 28 28		0.988	686	066	66	***	566.0	966	995	995	966	0.996		1.000	
리고이	0.20	ដន	35	32	0.25	26	27	28	59	8.0	31	R	<u>ج</u>	5	0.35	×	5	<u>ස</u> ද		0.0	Ţ	4	Q 3	; ;		\$	Ş	8	\$	0.50		8	
_		_					_		_		_		_	-			_	_											_				
≖l≖°	B	2.12	1.19 62	33	1.43	31	23	17	1.13	60	90	8	1.02		10.1 10.1	186	176	0.962	955	948	942	937	0.933	926	920	917	915	612		913	616	916	0.918
≖l⊒° o	1.000 =	0.992 2.12	903 L. /9 075 67	967 51	0.958 1.43	936 31	918 23	898 17	0.878 1.13	858 09	838 06	819 04	0.800 1.02	10 1 182	762 0.993	744 981	725 971	0.707 0.962	690 955	672 948	655 942	637 937	0.620 0.933	587 926	555 920	524 917	494 915	0.465 0.913		437 913	E16 014	384 914	0.335 0.918
cosh kh G Ho	1.00 1.000	01 0.992 2.12	01 903 L./9 02 075 62	03 967 51	1.03 0.958 1.43	05 938 31	07 918 23	08 898 17	1.10 0.878 1.13	12 858 09	14 838 06	16 819 04	1.18 0.800 1.02	10 1 182 00	22 762 0.993	24 744 981	27 725 971	1.29 0.707 0.962	31 690 955	34 672 948	37 655 942	39 637 937	1.42 0.620 0.933	48 587 926	54 555 920	60 524 917	67 494 915	1 74 D.465 D.913		62 437 913	90 410 913	1.99 384 914	2.18 0.335 0.918
sinh kh cosh kh G H G	0.000 1.00 1.000		100 UL 903 L./9	228 03 967 51	0.256 1.03 0.958 1.43	317 05 938 31	370 07 918 23	418 08 898 17	0.463 1.10 0.878 1.13	506 12 858 09	548 14 838 06	588 16 819 04	0.627 1.18 0.800 1.02	645 30 781 1 01	703 22 762 0.993	741 24 744 981	779 27 725 971	0.816 1.29 0.707 0.962	854 31 690 955	892 34 672 948	929 37 655 942	0.968 39 637 937	1.01 1.42 0.620 0.933	08 48 587 926	17 54 555 920	25 60 524 917	33 67 494 915	1 42 1 74 0.465 0.913		52 82 437 913	e1 90 410 913	72 1.99 384 914 82 7 08 359 916	1.94 2.18 0.335 0.918
kh sinhkh coshkh G <mark>H</mark> o	0.000 0.000 1.00 1.000 -		195 197 00 975 67	226 228 03 967 51	0.253 0.256 1.03 0.958 1.43	312 317 05 938 31	362 370 07 918 23	407 418 08 898 17	0.448 0.463 1.10 0.878 1.13	487 506 12 858 09	523 548 14 838 06	558 588 16 819 04	0.592 0.627 1.18 0.800 1.02		655 703 22 762 0.993	686 741 24 744 981	716 779 27 725 971	0.745 0.816 1.29 0.707 0.962	774 854 31 690 955	B03 B92 34 672 948	B31 929 37 655 942	858 0.968 39 637 937	0.886 1.01 1.42 0.620 0.933	940 08 48 587 926	0.994 17 54 555 920	1.05 25 60 524 917	10 33 67 494 915	1 15 1 42 1 74 0.465 0.913		20 52 82 437 913	26 61 90 410 913	31 72 1.99 384 914 36 87 2.08 359 916	1.41 1.94 2.18 0.335 0.918
L kh sinhkh coshkh G $\frac{R}{H_0}$	0.0000 0.000 0.000 1.00 1.000 -		0311 195 197 00 075 50 0311 195 197 00 975 50	0360 226 228 03 967 51	0.0403 0.253 0.256 1.03 0.958 1.43	0496 312 317 05 938 31	0576 362 370 07 918 23	0648 407 418 08 898 17	0.0713 0.448 0.463 1.10 0.878 1.13	0775 487 506 12 858 09	0833 523 548 14 838 06	0888 558 588 16 819 04	0.0942 0.592 0.627 1.18 0.800 1.02		104 655 703 22 762 0.993	109 686 741 24 744 981	114 716 779 27 725 971	0.119 0.745 0.816 1.29 0.707 0.962	123 774 854 31 690 955	128 803 892 34 672 948	132 831 929 37 655 942	137 858 0.968 39 637 937	0.141 0.886 1.01 1.42 0.620 0.933	150 940 08 48 587 926	158 0.994 17 54 555 920	167 1.05 25 60 524 917	175 10 33 67 494 915	0 183 1 15 1 42 1 74 0 465 0 913			200 26 61 90 410 913	208 31 72 1.99 384 914	0.225 1.41 1.94 2.18 0.335 0.918
tanh kh <mark>L</mark> kh sinh kh cosh kh G <mark>H</mark> o	0.000 0.0000 0.000 0.000 1.00 1.000 -	112 0179 112 113 01 0.992 2.12 158 0353 150 150 01 0.992 2.12	191 031 195 197 00 01 201 111 191 031 195 197 00 975 60	222 0360 226 228 03 967 51	0.248 0.0403 0.253 0.256 1.03 0.958 1.43	302 0496 312 317 05 938 31	347 0576 362 370 07 918 23	386 0648 407 418 08 898 17	0.420 0.0713 0.448 0.463 1.10 0.878 1.13	452 0775 487 506 12 858 09	480 0833 523 548 14 838 06	507 0888 558 588 16 819 04	0.531 0.0942 0.592 0.627 1.18 0.800 1.02	564 0003 634 665 30 701 101	575 104 655 703 22 762 0.993	595 109 686 741 24 744 981	614 114 716 779 27 725 971	0.632 0.119 0.745 0.816 1.29 0.707 0.962	649 123 774 854 31 690 955	665 128 803 892 34 672 948	681 132 831 929 37 655 942	695 137 858 0.968 39 637 937	0.709 0.141 0.886 1.01 1.42 0.620 0.933	735 150 940 08 48 587 926	759 158 0.994 17 54 555 920	780 167 1.05 25 60 524 917	800 175 10 33 67 494 915	0 818 0 183 1 15 1 42 1 74 0 465 0 913		835 192 20 52 82 437 913	850 200 26 61 90 410 913	864 208 31 72 1.99 384 914	0.888 0.225 1.41 1.94 2.18 0.335 0.918

bladnummer : - 5 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

TABEL 7.2 AANTAL CYCLI NODIG VOOR VERWEKING IN ONGEDRAINEERDE CONDITIES ALS FUNCTIE VAN SCHUIFSPANNINGSNIVO VOOR $D_r =$ 30%, 50%, 70% EN 90% (zowel voorbelast als niet voorbelast)

	D _r = 30%		D _r = 50)X	D _r = 70	2	D _r - 90%			
Δτ/σ,	non	prel.	non	prel.	non	prel.	non	prel.		
	prel. (fact 10)		prel.	(fact 10)	prel.	(fact) (10)	prel.	(fact.) 10)		
	n ₁	nlp	n ₁	n _l p	n	n _{lp}	n ₁	n _{lp}		
0,04	>1000		>1000		>1000		>1000	: •		
0,06	300		>1000		>1000		>1000			
0,08	10	100	>1 000		>1000		>1000	·		
0,10	5,5	55	250	2500	>1000		>1000			
0,12	2,5	25	25	250	1000		>1000			
0,14	1,25	12	10 ·	100	300	3000	>1000	,		
0,16	1,0	10	6	60	45	450	>1000	že e		
0,18	0,5	5	3	30	16	160	1000	,		
0,20	- ·	2,5	2,5	25	9	90	500	5000		
0,23	-	1,5	1,6	16	5,5	55	50	500		
0,26	-	0,8	1	10	3,2	32	20	200		
0,30	-	-	-	5	2,2	22	9	90		
0,35	-	-	-	2,5	1,3	13	5,0	50		
0,40	-	-	-	1,5	0,5	5	3,0	30		
0,45	-	-	-	0,8	-	2,5	2,0	20		
0,50	-	-	-	0,4	-	1,5	1,3	13		
0,55	-	-	-	-	-	0,8	0,5	5		
0,60	-	-	-	-	-	0,4	-	2,5		
0,65	-	-	-	-	-	0,15	-	1,5		














_ . . .









.









BULAGE I

7. Praktische rekenregels voor het berekenen van de toplaagdoorlatendheid

7.1 Dichte blokken met spleten

Voor een toplaag bestaande uit dichte blokken net spleten ertussen is de volgende doorlatendheidsrelatie toepasbaar:

$$i_t = \frac{\phi_t}{D} = a' v_f + b' v_f^2$$
 (98)

vf = filtersnelheid (specifiek debiet) door toplaag (m/s)

De koëfficiënten a' en b' zijn met de volgende formules te berekenen:

$$a' = \frac{12\nu\ell}{gs^2} + \frac{\ell \cdot s \cdot a_f}{\pi D} \cdot \ln(\frac{\ell s}{\pi er_{min}}) + \frac{a_g \cdot \ell \cdot T_g}{D}$$
(99)

$$b' = \frac{\ell^2}{2gD} \cdot \left(\left(\frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right) + \frac{\ell \cdot s \cdot b_f}{\pi D} \left(\frac{\ell \cdot s}{\pi r_{\min}} - 2 \right) + \frac{b_g \ell^2 T_g}{D}$$
(100)

met	r min	3	$\max(\frac{1}{2}D_{f15}; 0, 4 s)$
	2	-	$= BL/(B \cdot s + L \cdot s)$
	ν	9	viscositeit van water (m²/s)
	8	#	zwaartekrachtsversnelling (m/s ²)
	D _{f15}	-	karakteristieke korrelgrootte van filter (m)
	8	-	spleetbreedte (m)
	a _f	3	lineaire weerstandskoëfficiënt van filter (s/m)
	b _f	25	kwadratische weerstandkoëfficiënt van filter (s ² /m ²)
	e	3	grondtal van natuurlijke logaritme (-)
	a,	=	lineaire weerstandskoëfficiënt van geotextiel (s/m)
	๖	=	kwadratische weerstandskoëfficiënt van geotextiel (s ² /m ²)
	Ţ	3	dikte van geotextiel (m)
	n	#	porositeit van filter = deel van de ruimte die niet door grind
			wordt ingenomen (-)

b12 I-2

Doorgaans is de maatgevende porositeit iets hoger dan de gemiddelde porositeit van het hele filter.

De toplaagdoorlatendheid is per definitie gelijk aan de filtersnelheid door een toplaag bij een verhang over de toplaag gelijk aan 1. Met formule (98) volgt met deze definitie een formule voor k':

$$k' = \frac{-a' + \sqrt{(a')^2 + 4 b'}}{2b'}$$
(101)

7.2 Blokken met gaten en bijzondere blokken

Voor een toplaag met gaten van gelijke grootte en gelijke onderlinge afstand, waarbij het debiet door de eventuele spleten tussen de blokken verwaarloosbaar is ten opzichte van het debiet door de gaten, is formule (98) als doorlatendheidsrelatie toepasbaar. De koëfficiënten a' en b' zijn als volgt te berekenen:

$$a^{*} = \frac{a_{f}}{D} \cdot \sqrt{\frac{B^{*}L^{*}}{4\pi}} \cdot \left(\frac{\sqrt{B^{*}L^{*}/\pi}}{2r_{min}} - 2\right) + \frac{a_{g}\ell T_{g}}{D} + a_{v} \cdot \ell$$
(102)

$$b' = \frac{\ell^2}{2gD} \left(\left(\frac{1}{n} - 1 \right)^2 + 1 \right) + \frac{b_f}{D} \cdot \sqrt{\frac{B'L'}{4\pi}} \left(3 \left(\frac{\sqrt{B'L'/\pi}}{2r} \right)^3 - 4 \right) + \frac{b_g T_g \ell^2}{D} + b_v \ell^2$$
(103)

met: r min $\max(\frac{1}{2}D_{f15}; 0, 4\sqrt{A})$ B'L'/Ag L gatafstand in breedte-richting (hart op hart) (m) B' L' gatafstand in lengte-richting (hart op hart) (m) gatoppervlak (m²) Ag = lineaire weerstandskoëfficiënt van granulaire gatvulling (s/m) = av b_v kwadratische weerstandskoëfficiënt van granulaire gatvulling (s^2/m^2)

De toplaagdoorlatendheid kan bepaald worden met formule (101).

Voor een toplaag met een onregelmatige gatverdeling (zoals zuilen, of blokken met gaten met ongelijke grootte) kan alleen de toplaagdoorlatendheid en niet een algemene doorlatendheidsrelatie eenvoudig bepaald worden. Daartoe kiest men een representatief deel van het zettingsoppervlak en schat per gat hoe groot het oppervlak is van het filter dat z'n water afvoerd door dat gat (het gedraineerd oppervlak). Bij deze schatting kan gebruik gemaakt worden van de volgende formule: blz I - 3

$$A_{di} = \frac{A_{gi}}{\sum_{i}^{A} A_{gi}} \cdot A_{z}$$
(1.04)

met: A_{di} = gedraineerd oppervlak van gat i (m²) A_{gi} = oppervlak van gat i (m²)

 $A_z =$ oppervlak van representatief deel van de zetting (m²)

Vervolgens berekent men voor elk gat de doorlatendheid, gebruik makend van de volgende formules:

$$k' = \frac{-a' + \sqrt{(a')^2 + 4 b'}}{2b'}$$
(105)

$$a' = \frac{a_{f}}{D} \sqrt{\frac{\ell A}{4\pi}} \cdot \left(\frac{1}{r_{min}} \cdot \sqrt{\frac{\ell A}{4\pi}} - 2\right) + \frac{a_{g}\ell T}{D} + a_{v}\ell$$
(106)

$$b' = \frac{\ell^2}{2gD} \left(\left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 + 1 \right) + \frac{b_f}{D} \sqrt{\frac{\ell A}{4\pi}} \left(3 \left(\frac{1}{r_{min}} \cdot \sqrt{\frac{\ell A}{4\pi}}\right)^3 - 4 \right) + \frac{b_f T \ell^2}{D} + b_v \ell^2$$
(107)

met:
$$r_{min} = \max \left(\frac{1}{2} D_{f15}; 0, 4 \sqrt{A_g}\right)$$

 $\ell = A_d/A_g$

Als de berekende k' niet voor elk gat gelijk is, dan moet A_d van elk gat aangepast worden zodat dit wel het geval is. De som van de gedraineerde oppervlakken moeten echter steeds gelijk zijn aan het oppervlak van het gekozen deel van de zetting.

Doorgaans leidt deze procedure tot een vrij bewerkelijk interatie proces, waarbij de formules (105) tot en met (107) vele malen moeten worden gebruikt. Na elke iteratie-stap, waarbij voor elk gat i de k' berekend is, kan reeds een schatting van het eindresultaat gegeven worden:

$$\mathbf{k}^{*} = \sum_{i} \left(\frac{\mathbf{A}_{gi}}{\sum_{i} \mathbf{A}_{gi}} \cdot \mathbf{k}_{i}^{*} \right)$$
(108)

Zeker als k_i' een orde verschilt van k_i' , dan is nauwkeurigheid van formule (108) gering en moet aanbevolen worden het iteratie proces verder te doorlopen.

bladnummer : - II-1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

BIJLAGE II BENADERINGEN VOOR INTERNE WATERDRUK

II-1 WATERDRUK IN EEN FILTERLAAG

Een filterlaag heeft een stijf korrelskelet en is zeer doorlatend. In het geval van volledige verzadiging is de consolidatiecoëfficiënt c_v groot. In praktisch alle gevallen geldt dan

 $\int T_e c_v \gg L_E$

Dit betekent dat elastische berging geen rol speelt en dat altijd kan worden gerekend met quasi-stationaire stroming in het filter. Het verloop van de waterdruk in het filter wordt bepaald door de leklengte \mathbf{A}

II-1.1 Golfklap

stijghoogte in filter <<LE(stijghoogte in filter = externe stijghoogte)</pre> A>> LF stil water niveau

bladnummer : - II-2 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

II-1.2 Golffront van periodieke drukvariatie

Opmerking: bij kleine leklengte zal het freatisch niveau in het filter vaak hoger zijn dan het stil waterniveau door "interne set-up". Zie par. 6.5.1







bladnummer : - II-3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

II-2 WATERDRUK IN GROND ONDER FILTERLAAG

De waterdruk in de ondergrond onder een filterlaag hangt behalve van de leklengte (verhouding doorlatendheden van toplaag en filterlaag) ook af van de doorlatendheid en de stijfheid van de ondergrond (skelet en poriënwater).

II-2.1 Golfklap

Gevallen met constante interne waterdruk OF $\int T_E^c >> L_E$ en $A >> L_E$ OF $A >> L_E$ en $K_w << K + 4 G/3$



OF $K_w << K + 4$ G/3 en $\int T_E c_v << L_E$ Als bovendien $A << L_E$, zoals hier getekend (vgl. II-1.1), heersen er in de smalle zone van ongeveer $\int T_E c_v /\pi$ sterke gradiënten, zoals te zien aan de geschetste lijnen van gelijke stijghoogte.



bladnummer : - II-4 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Gevallen met interne stijghoogte die externe volgt

$$\sum_{E} \sum_{V} \sum_{E} \sum_{V} \sum_{E} \sum_{V} \sum_{E} \sum_{V} \sum_{E} \sum_{V} \sum_{$$

In de ondergrond heerst potentiaalstroming. Die kan weergegeven worden met een vierkanten net.



OF K_w >> K + 4G/3 en $\int T_E c_v \ll L_E$

Als bovendien $A \gg L_E$ zoals hier getekend, heerst er in de ondergrond geen potentiaalstroming. Maar de lijnen van gelijke stijghoogte liggen grotendeels op dezelfde plaats als bij het vorige geval, met uitzondering van de smalle zone van ongeveer $\int T_E c_v/\pi$, waar sterke gradiënten optreden.



bladnummer : - II-5 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

II-2.2 Golffront van periodieke drukvariatie

OF K_w << K + 4 G/3 en $\int T_E c_v << L_E$ Als bovendien A<< L_E, zoals hier getekend (vgl. II-1.2), heersen er in de smalle zone van ongeveer $\int T_E c_v / \pi$ sterke gradiënten, zoals te zien aan de geschetste lijnen van gelijke stijghoogte.



bladnummer : - II-6 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Gevallen met interne stijghoogte die externe volgt

$$\text{OF } \int T_{F} c_{V} >> L_{F} \text{ en } \mathbf{A} << L_{F}$$

OF $\mathbf{A} \ll \mathbf{L}_{\mathbf{E}}$ en $\mathbf{K}_{\mathbf{W}} \gg \mathbf{K} + 4 \, \mathbf{G}/3$

In de ondergrond heerst potentiaalstroming. Die kan weergegeven worden met een vierkanten net.



OF $K_w \gg K + 4G/3$ en $\int T_E c_v \ll L_E$

Als bovendien $\Lambda \gg L_E$ zoals hier getekend, heerst er in de ondergrond geen potentiaalstroming. Maar de lijnen van gelijke stijghoogte liggen grotendeels op dezelfde plaats als bij het vorige geval, met uitzondering van de smalle zone van ongeveer $\int T_E c_v / \pi$, waar sterke gradiënten optreden.



bladnummer : - II-7 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

II-2.3 Gelijkmatige drukverlaging



```
bladnummer : - II-8 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum :november 1988
```

- Gevallen met interne stijghoogte die externe volgt OF $\int T_E c_v \gg L_E$ en $\land << L_E$ OF $\land << L_E$ en $K_w \gg K + 4$ G/3 In de ondergrond heerst potentiaalstroming. Die kan weergegeven worden met een vierkanten net (bovenste schets), maar ook, vereenvoudigd, als in de schets daaronder.





bladnummer : - II-9 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

> OF $K_w \gg K + 4G/3$ en $\int T_E c_v \ll L_E$ Als bovendien $\Lambda \gg L_E$ zoals hier getekend, heerst er in de ondergrond geen potentiaalstroming. Maar de lijnen van gelijke stijghoogte liggen grotendeels op dezelfde plaats als bij het vorige geval, met uitzondering van de smalle zone van ongeveer $\int T_E c_v / \pi$, waar sterke gradiënten optreden.



bladnummer : - II-10 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

II-3 WATERDRUK IN ONDERGROND ALS ER GEEN FILTERLAAG IS

Zoals in par. 4.2 is aangegeven kan de leklengte niet goed worden gedefinieerd indien geen filterlaag aanwezig is. Toch zal het verloop van de interne waterdruk in vele gevallen net zo zijn als in de ondergrond onder een filterlaag:

- Als de toplaag (inclusief geotextiel indien aanwezig) een gelijkmatig verdeelde doorlatendheid heeft die veel groter is dan die van de ondergrond (zoals bij een toplaag van stortsteen of open steenasfalt) of als de toplaag uit een blokkenmat of steenzetting bestaat waarbij de blokken niet goed aansluiten op de ondergrond, is de situatie gelijk aan die met een filterlaag bij een kleine leklengte. Direkt onder de toplaag (en het geotextiel) is de stijghoogte praktisch gelijk aan de externe stijghoogte.
- Als de toplaag slecht doorlatend is (b.v. asfalt beton), dan is de situatie gelijk aan die met een filterlaag bij grote leklengte.

bladnummer : - II-11 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

> Als bij een steenzetting of blokkenmat de stenen wel goed aansluiten op de ondergrond kunnen in het uiterste geval zich een drietal extreme mogelijkheden zich voordoen:

- * $\int T_E c_V > L_E$.In dat geval is er sprake van potentiaalstroming rond de spleten en in de diepte. Een soortgelijke benadering als bij een filterlaag is mogelijk door schematisatie van een filterlaag met grote weerstand en een grote dikte. Hierdoor wordt de leklengte groot vooral als de spleten smal zijn en wordt een benadering met konstante stijghoogte in de ondergrond mogelijk.
- * $\int_{E} c_v \langle L_E$ en Kw $\langle K+4G/3$. Al op geringe diepte onder de bekleding is de stijghoogte constant en overal gelijk, net als bij de situaties met filterlaag.
- * $\int T_E c_v \ll L_E$ en $K_w \gg K + 4G/3$. Op geringe diepte onder de bekleding is de stijghoogte gelijk aan de externe stijghoogte op het talud, net als bij de situaties met filterlaag.

bladnummer : - III 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum : februari 1991

BIJLAGE III FORMULES ANALYTISCH MODEL VAN WOLSINK

Tijdens een veranderende buitenwaterstand zal de golfdruk op een steenzetting niet gelijk zijn aan de waterspanning in het filter. Als gevolg hiervan zal een stijghoogteverschil Δp_0 over de steenzetting optreden. De respons van de waterspanningen in het filter wordt in belangrijke mate bepaald door de afmetingen en doorlatendheden van steenzetting en filter welke tot uitdrukking komt in de lekhoogte λ .

Indien de filterlaag niet aansluit op een waterdichte teenconstructie kan het talud beschouwd worden als een <u>oneindig lang talud.</u> Als het schuine golffront van een periodieke drukvariatie wordt geschematiseerd volgens Wolsink (paragraaf 3.3.3; figuur 3.5) is het verloop van het stijghoogteverschil Δp_0 over de steenzetting voor een oneindig lang talud als volgt uit te drukken



Voor de bepaling van $\underline{\sigma}_b$ en β wordt naar paragraaf 3.3.3 verwezen. In geval van een gelijkmatige drukverlaging moet $\beta = 90^\circ$ genomen worden.

y.sin $\alpha < -\Phi_{b}$.tan α .tan β	$\Delta p_0 = A.exp(y_t) + B.exp(-y_t)$
$-\Phi_{\rm b}$ tana.tan $\beta < y.sina < 0$	$\Delta p_o = C.exp(y_t) + D'.exp(-y_t)$
y.sina > 0	$\Delta p = E.exp(y_{+}) + F.exp(-y_{+})$

met

 $y_t = y.sin(\alpha)/\lambda$ A = C + D['].exp(2.tanc.tan \beta. Φ_b/λ) bladnummer : - III 2 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

met $y_t = y.\sin(\alpha)/\lambda$

 $A = C + D' \cdot \exp(2 \cdot \tan \alpha \cdot \tan \beta \cdot \Phi_b / \lambda)$ B = 0 $C = -D' + F \cdot (-\exp(-2 \cdot d_b / \lambda) + 1)$

$$D' = \frac{-\lambda}{2.\tan\alpha.\tan\beta} \cdot \exp(-----\lambda)$$

 $E = -F.exp(-2.d_b/\lambda)$

 $F = \frac{\lambda}{2.\tan\alpha.\tan\beta} \cdot (-\exp(----\frac{\lambda}{\lambda}) + 1) + \frac{\lambda}{2}$



Het maximale stijghoogteverschil bedraagt in dat geval

 $\Delta \mathbf{p}_{\text{omax}} = \{ \frac{\lambda}{2 \cdot \tan \alpha \cdot \tan \beta} \cdot \begin{bmatrix} 1 - \exp(-2 \cdot \mathbf{d}_b / \lambda) \end{bmatrix} + \frac{\lambda}{2} \} \{ 1 - \exp(-2 \cdot \mathbf{d}_b / \lambda) \}$

met als extremen voor de windgolf met steil front:

 $\lambda << \Phi_{b} \qquad \Delta p_{omax} = (\Phi_{b} + \lambda)/2$ $\lambda >> \Phi_{b} \qquad \Delta p_{omax} = d_{b}$ bladnummer : - III 3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Voor een gelijkmatige drukverlaging (β = 90 graden) geldt:

$$\Delta p_{omax} = \lambda/2 \{ 1 - \exp. (-2.d_b/\lambda) \}$$

$$\lambda << d_b \qquad \Delta p_{omax} = \lambda/2$$

$$\lambda >> d_b \qquad \Delta p_{omax} = d_b$$

In het geval dat wel een <u>waterdichte teenconstructie</u> aanwezig is, is er geen oplossing voor een steil golffront beschikbaar. Dan kan worden gebruik gemaakt van de oplossing voor de teruggetrokken scheepsgolf



Het nul-punt van de y-as is hier hoger gekozen dan in het vorige geval.

Het verloop van het stijghoogteverschil over de steenzetting is:

y.sina
$$\langle -d_b \rangle$$
 $\Delta p_o = A.exp(y_t) + B.exp(-y_t)$
y.sina $\rangle -d_b \rangle$ $\Delta p_o = C.exp(y_t) + D'.exp(-y_t)$

met

$$y_{t} = y.\sin(\alpha)/\lambda$$

$$A = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{1 + exp(-2.z_{b}/\lambda)} \cdot [exp(d_{b}/\lambda) - exp(-d_{b}/\lambda)]$$

$$B = A.exp(-2.z_{b}/\lambda)$$

$$C = -\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{exp(-z_{b}/\lambda)}{1 + exp(-2.z_{b}/\lambda)} \cdot [exp(z_{b}-d_{b})/\lambda + exp(-z_{b}-d_{b})/\lambda]$$

$$D' = -C$$

```
bladnummer : - III 4 -
ons kenmerk: CO-290730/14
datum :november 1988
```

Het maximum stijghoogteverschil over de steenzetting bedraagt:

$$\Delta p_{\text{omax}} = \frac{\lambda/2}{1 + \exp(-2z_b/\lambda)} \cdot [1 + \exp(-2(z_b - d_b)/\lambda)] \cdot [1 - \exp(-2d_b/\lambda)]$$

.

.

met als extremen:

.

$$\lambda << d_b en \lambda << z_b - d_b \qquad \Delta p_{omax} = \lambda/2$$

$$\lambda >> \mathbf{Z}_b \qquad \Delta p_{omax} = d_b$$

bladnummer : - IV 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

BIJLAGE IV ANALYTISCHE OPLOSSINGEN INTERNE WATERDRUK BIJ WATERDICHTE TOPLAGEN (Zie ook Meijers, 1988)

- 1. <u>Uitgangspunten</u>
 - Gelijkmatige drukverlaging
- Waterdichte bekleding over beperkte diepte
 filterlaag op waterdichte ondergrond of homogene doorlatende
 ondergrond met twee-dimensionale stroming
- Laminaire stroming bij twee-dimensionale stroming
- Freatische en elastische berging niet relevant: quasistationair.

2. <u>Toplaag op filterlaag</u>

Voor dit geval mag men aannemen dat de interne stijghoogte lineair verloopt in de y-richting. Dus:

stijghoogte in filter = $\frac{d_b}{z_b + D \cos \alpha}$ (y sina - D cosa)

en, voor −d_b≦ y sina ≦ D cosa:

$$\Delta p_0 = \frac{a_b}{z_b + D \cos \alpha} (y \sin \alpha - D \cos \alpha) - y \sin \alpha$$

voor y sina $\leq -d_b$: $\Delta p_0 = \frac{d_b}{z_b + D \cos \alpha}$ (y sina - D cosa) + d_b



bladnummer : - IV 2 ons kenmerk: CO-290730/14 :november 1988 datum

3. Toplaag op zand

Ook hier wordt wel aangenomen dat de interne stijghoogte direct onder de toplaag lineair verloopt. Dit staat bekend als de "driehoeksregel". Dat is soms wat te optimistisch of te pessimistisch omdat geen rekening wordt gehouden met de concentratie van stroomlijnen en dus het relatief grote verhang nabij de onderkant (y = - $z_{\rm b}/\sin\alpha$) van de bekledingen nabij de freatische lijn. Van der Veer [1979] heeft dat wel gedaan. Hij heeft een analytische oplossing gevonden voor de interne stijghoogte op basis van twee-dimensionale potentiaalstroming. Hij vond:

$$\Delta p_{o max} = a. d_{b}$$

met
$$a = \frac{L}{\pi} \arccos \left[2\left(\frac{d_b}{z_b}\right)^{\pi/\theta} - 1 \right]$$





De grootte van a is grafisch gegeven in de laatste figuur van deze bijlage. De invloed van een damwand of vooroeverbescherming kan worden ingevoerd zoals aangeduid in de volgende figuur. In de formule moet z_h dan vervangen worden door z_h + q.

blad	lnummer	:	-	IV	3	-	
ons	kenmerk	:	CO	-29	907	'30/	14
datu	m	:n	ov	emt	ber	• 19	88





bladnummer : - V 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

BIJLAGE V: CONCEPT-BEREKENINGSMETHODE CIRKEL-VORMIG AFSCHUIFVLAK DOOR STEENZETTING

1. <u>Uitbuigende zetting</u>

Bij $y = y_0$ heeft de bekleding de neiging om uit te buigen volgens onderstaande schets. Die uitbuiging betekent dat op twee plaatsen $(y_{O_1} en y_{O_3})$ het maximaal door de bekleding opneembare moment overschreden wordt. Daar is de dwarskracht D_w in de bekleding nul. Tussen y_{O_1} en y_{O_3} bevindt zich een plaats (y_{O_2}) waar het moment M nul is en de dwarskracht maximaal.



bladnummer : - V 2 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Het maximaal opneembare moment M_{max} = e.N met e < 0,5 D. waarbij N = normaalkracht in de bekleding. Bij een volledig flexibele bekleding of een slecht ingewassen zetting met grote spleten, geldt e = 0, dus ook D_w = 0 en M = 0. Bij y₀, geldt D_w = 0; het aangrijpingspunt van N is bekend; alleen de grootte nog niet. Langs het schuifvlak wordt de maximale schuifkracht Fw₁ gemobiliseerd.



Uit het evenwicht in y-richting is nu N af te leiden. Bij grove benadering N = Σ Gsina- ΣFw_i . Maar misschien moet ook de resultante van de normaalspanning in het schuifvlak meegenomen worden. Uit het momenten-evenwicht (glij-cirkel berekening) moet vervolgens blijken of afschuiven optreedt of niet.
bladnummer : - V 3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

2. Afschuivende zetting

Een cirkelvormig afschuifvlak kan in principe ook optreden als de bekleding afschuift i.p.v. uitbuigt. Dat gebeurt als de maximaal opneembare dwarskracht $D_{w max}$ eerder bereikt wordt dan het maximaal opneembare moment. Dat is na te gaan door aan te nemen dat het afschuifvlak bij y = y_o, naar buiten treedt:



Nu grijpt N in het hart van de bekleding aan. De grootte kan weer uit het evenwicht in y-richting bepaald worden. Uit het momenten-evenwicht moet volgen hoe groot D_w moet worden om evenwicht te bereiken en of D_w kleiner blijft dan de maximum waarde, waarvoor geldt, als $f_b =$ wrijvingscoëfficiënt:

 $D_{w max} = f_b.N$

bladnummer : - VI 1 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

BIJLAGE VI VIER MANIEREN OM STABILITEIT TE FORMULEREN

1. <u>Definities vier manieren</u>

De krachten in grond onder water kunnen in principe op twee maal twee manieren geformuleerd worden. Bij twee formuleringen wordt het evenwicht van een elementje KORREL SKELET beschouwd, bij de twee andere het evenwicht van een elementje GROND (korrels en water). Bij elk van die twee kan men weer onderscheid maken in de wijze waarop de Archimedes kracht verwerkt wordt:ôf expliciet door te werken met absolute gewichten en absolute waterdrukken;ôf impliciet door te werken met onder-water gewichten en stijghoogtes.

In het volgende schema wordt aangegeven hoe het verticaal evenwicht van een elementje grond bij elk van die vier manieren geformuleerd wordt als er geen grondwaterstroming is.



bladnummer : - VI 2 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

Voor het verticaal evenwicht geldt steeds:

Eigen gewicht = Grondwaterkracht + Korrelspanningskracht

Maar de grootte van de termen variëert. Zie hieronder. Bovendien verschilt de grondwaterkracht van karakter. In de gevallen 1 (korrelskelet) kan de grondwaterkracht als een "volume kracht" beschouwd worden: hij grijpt overal in het grond-elementje aan, net als de zwaartekracht. In de gevallen 2 (grond) is het een oppervlaktekracht: hij grijpt aan langs het buitenoppervlak van het elementje, net als de korrelspanning. De evenwichtsvergelijking luidt achtereenvolgens:

Eigen gewicht = Grondwaterkracht + Korrelspanningskracht 1A $\gamma_k(1-n)dxdydz \gamma_w$ = (1-n) dxdydz + ($\delta\sigma'/\delta z$)dz• dxdy 1B $(\gamma_k - \gamma_w)(1-n)dxdydz$ = 0 + ($\delta\sigma'/\delta z$)dz. dxdy 2A $\gamma_g dxdydz$ = ($\delta p/\gamma z$) dz.dxdy + ($\delta\sigma'/\delta z$)dz. dxdy 2B $(\gamma_g - \gamma_w)dxdydz$ = 0 + ($\delta\sigma'/\delta z$)dz. dxdy γ_g = (1-n) γ_k + n γ_w $\delta\rho/\delta z$ = γ_w

In het hier volgende wordt, evenals in de rest van het rapport het evenwicht van GROND beschouwd, dus formulering 2. Het verschil tussen 2A en 2B, dus de expliciete of de impliciete verwerking van de Archimedes kracht, wordt hier uitgewerkt en geflustreerd voor twee karakteristieke situaties van een bekledingselementje. Bij de illustraties zullen twee definites van "locale stabiliteit" gehanteerd worden, één overeenkomstig $\delta\sigma/\delta y = 0$ (gradiënt GROND-normaalspanning is gelijk nul), de ander overeenkomstig $\delta\sigma'/\delta y$ (gradiënt KORREL-normaalspanning is gelijk nul). bladnummer : - VI 3 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

2. <u>Uitwerking manier 2A voor talud-elementje</u>

Het evenwicht van een elementje bekleding (met eventueel een stuk ondergrond) kan beschreven worden m.b.v. de volgende schets.



Hierin is:

D	diepte potentiëel afschuifvlak onder het taludoppervlak [m]					
G	absoluut eigen gewicht van het elementje					
F _k	korreldruk kracht tegen de onderzijde					
Fw ₁	wrijvingskracht op onderzijde					
Fw ₂	wrijvingskracht op zijkant					
Fw,	wrijvingskracht op zijkant					
N ₁	(korrel)normaalkracht vanuit een hoger gelegen deel > [N/m']					
Nz	idem maar nu vanuit een lager gelegen deel					
W ₁	kracht van absolute waterdruk op de bovenkant					
Wz	idem op de onderzijde					
W3	idem op de taludopwaartse zijde					
W.,	idem op de taludafwaartse zijde					

bladnummer : - VI 4 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

3. <u>Uitwerking manier 2B voor talud-elementje</u>

Het evenwicht van het elementje kan op dezelfde manier beschreven worden als hierboven, mits men :

- G vervangt door G', het onderwater-gewicht
- W vervangt door W', de kracht van het water minus de Archimedes kracht, dus recht evenredig met stijghoogte.

4. Talud-elementje bij horizontale waterspiegel

Uit de formules van tabel VI-1 blijkt dat de formuleringen volgens 2A en 2B verschillend zijn, maar dat de resulterende formules voor de grootte van F_k en Fw_1 uiteraard gelijk zijn. Tevens blijkt dat de twee definities voor locale "stabiliteit" wel verschillende formules voor Fw_1 (niet voor F_k) opleveren.

5. Talud-elementje bij waterspiegel evenwijdig aan talud

Uit de formules van tabel VI-2 blijkt weer dat de formuleringen volgens 2A en 2B verschillend zijn. Anders dan bij het vorige geval blijkt het hier niet uit te maken welke definitie voor "locale stabiliteit" gekozen wordt.

Bij vergelijking van de resultaten van beide gevallen blijkt de definitie van locale stabiliteit met $\delta\sigma/\delta y = 0$ steeds dezelfde formules op te leveren voor F_k en Fw_1 . Bij deze definities hoeft men de exacte verdeling van de interne waterdruk in de bekleding (W, en W,) niet te kennen. bladnummer : - VI 5 ons kenmerk: CO-290730/14 datum :november 1988

ł

TABEL VI-1 Talud-elementje bij horizontale waterspiegel



؛ A د	$G = f_b Dl$	$W_2 - W_1 = \gamma_w D l \cos \alpha$	$W_{1}-W_{3}=f_{W}D$ (sincl
2 B :	G'=(Y3-Y₩)⊅ł	$W_z - W_l = 0$	$\dot{W_{4}} - \dot{W_{3}} = 0$

GEVAL 2A						
Uitgangspunten	Evenwicht in z-richting	Evenwicht in y-richting				
ALGEMEEN	$G_{LOSA} = (W_2 - W_1) + (F_{W_2} - F_{W_2}) + F_k$ $Y_b D_{LOSA} = Y_W D_{LOSA} + (F_{W_2} - F_{W_2}) + F_k$	Gsina = $(W_{4} - W_{3}) + (N_{2} - N_{1}) + F_{w1}$ $Y_{b} Dlsind = Y_{w} Dlsind + (N_{2} - N_{1}) + F_{w1}$				
LOCALE STABILITEIT volgens $\partial \sigma / \partial y = 0$, dus $N_2 + W_4 = N_1 + W_3$ & $F_{w_2} - F_{w_2} = 0$	Yb Dfcosa = Yw Dfcosa + 0 + Fl	YbDIsina = JwDIsina - JwDIsina + Fwi				
LOCALE STABILITEIT" volgens dσ'/dy=0, dus N ₂ -N ₁ = 0 δ Fw3-Fw2 = 0	idem	Yb Disind = Yw Disina + 0 + Fwi				

GEVAL 2B							
ALGEMEEN	$G'_{cose} = (W_{z} - W_{1}) + (F_{wy} - F_{wz}) + F_{L}$		$G'sind = (\dot{W_{11}} - \dot{W_3}) + (N_2 - N_1) + F_{W1}$				
	(Yb-Yw)Dluora =	$o + (F_{w_3} - F_{w_2}) + F_1$	$(r_{1}-r_{1})D(sind = 0$	$+ (N_2 - N_1) + F_{w_1}$			
LOCALE STABILITEIT" volgens $\partial \sigma / \partial y = 0, dus$ $N_2 + W_4 = N_1 + W_3 - y_2 D sind& Fw_3 - Fw_2 = 0$	(Yb-Yw)Dlasa =	0 + 0 + Fl	(Yb-fw)Dlsina= 0	- Yw Dlsind + Fwi			
LOCALE STABILITEIT" volgens OD /Oy =0 ,dus Nz-N1 = 0 & Fw3-Fw2 = 0	ider	n	(N-Jw)Dbing = 0	+ 0 + Fwi			

• locatie 'De Voorst'

• hoofdkantoor

Section of the

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

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



• Amsterdam

Londen

Brussel •