

DI: 374852

niek stork

TALUDBEKLEDING VAN GEZETTE STEEN
OVERGANGSCONSTRUCTIES

567



GRONDMECHANICA
DELFT

9.9-1567 DWLW
DI : 374852



Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor
Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling
Documentatie
Postbus 17
8200 AA Lelystad

TALUDBEKLEDING VAN GEZETTE STEEN
OVERGANGSCONSTRUCTIES

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

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S 145040 Delft



GRONDMECHANICA
DELFT

TALUDBEKLEDING VAN GEZETTE STEEN

OVERGANGSCONSTRUCTIES

CO-313170/2

juli 1990

St/Abg/26

Opgesteld in opdracht van:

Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

AFDELING WATERBOUWKUNDIGE CONSTRUCTIES

projectleider: dr. H den Adel/ir. T. Stoutjesdijk

projectbegeleider: ir. A. Bezuijen

afdelingshoofd: ir. P. Lubking

bladnummer : - i -
ons kenmerk: CO-313170/2
datum : juli 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

INHOUD:

blz.:

LIJST VAN BIJLAGEN

LIJST VAN SYMBOLEN

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

1.	INLEIDING	1
2.	MODIFICATIES AAN STEENZET/1+ IN VERBAND MET OVERGANGSCONSTRUCTIES	2
2.1	Doel	2
2.2	Blokbeweging met toestroming	3
2.3	Invloed overgangsconstructie	7
3.	STEENZET BEREKENINGEN	9
3.1	Schade aan de Oesterdam	9
3.1.1	Invoergegevens	9
3.1.2	Resultaten	10
3.2	Oesterdam: extreme golfcondities	11
3.2.1	Invoergegevens	11
3.2.2	Resultaten	12
3.3	Case study	14
3.3.1	Invoergegevens	14
3.3.2	Resultaten	15
3.4	Case study: golfhoogte varieert met de waterstand	17
3.5	Case study: veroudering	18
3.6	Case study: vergelijking Banach met Deltagoot golven	19
3.7	Zeeuwse constructie	20

INHOUD: blz.:

3.7.1	Inleiding	20
3.7.2	Constructie en belasting	21
3.7.3	Resultaten	22
3.7.4	Invloed van filterdoorlatendheid	23
3.7.5	Invloed van toplaagdoorlatendheid	24
3.7.6	Invloed van blokbeweging	24

4.	CONCLUSIES	26
----	------------	----

	REFERENTIES	29
--	-------------	----

BIJLAGEN

APPENDIX A

LIJST VAN FIGUREN

2.1	Boven- en zijaanzicht van een deel van een steenzetting
2.2	De componenten van de grondwaterstroming
3.1	Constructie Oesterdam
3.2	Situatieschets van case study
3.3	"Zeeuwse" constructie



LIJST VAN BIJLAGEN

1. Oesterdam: extreme golfcondities
Maximale verschildruk versus waterstand
2. Oesterdam: extreme golfcondities
Maximale blokbeweging versus waterstand
3. Case study
Maximale verschildruk over polygoonblok
4. Case study
Maximale verschildruk over vierkant blok
5. Case study
Maximum blokbeweging
6. Case study: variërende golfhoogte
Maximale verschildruk over een blok
7. Case study: variërende golfhoogte
Maximum blokbeweging
8. Case study: veroudering
Maximale verschildruk over een blok
9. Case study: Deltagoot golven
Maximale verschildruk over een blok
10. Zeeuwse constructie: helling 1:4
Maximale verschildruk over een blok



11. Zeeuwse constructie: helling 1:3
Maximale verschildruk over een blok
12. Zeeuwse constructie: filterdoorlatendheid
Maximale verschildruk over een blok
13. Zeeuwse constructie: topplaagdoorlatendheid
Maximale verschildruk over een blok
14. Zeeuwse constructie: bewegend blok
Maximum blokbeweging
15. Zeeuwse constructie: bewegend blok
Maximale verschildruk over een blok
16. Zeeuwse constructie: bewegend blok
Verhang over blokken

bladnummer : - v -
ons kenmerk: CO-313170/2
datum : juli 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

LIJST VAN SYMBOLEN

b	dikte van de filterlaag	[m]
c	correctiefactor	[-]
D	dikte van de toplaag	[m]
D15	karakteristieke diameter van het filtermateriaal	[m]
F	waterspanning	[Pa]
Δh	afstand tussen het midden van twee spleten in aangrenzende kolommen	[m]
Hs	significante golfhoogte	[m]
i	verhang	[-]
k	filterdoorlatendheid	[m/s]
k'	toplaagdoorlatendheid	[m/s]
n	porositeit	[-]
P	golfdruk	[Pa]
q	specifiek debiet	[m ³ /m ² s]
Q	debiet	[m ³ /s]
Δs	afstand tussen het midden van twee spleten	[m]
T	golfperiode	[s]
Δx	lengte van een blok	[m]
α	taludhelling	[-]
Λ	leklengte	[m]
ϕ	potentiaal	[-]
ξ	golfsteilheid	[-]

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van het onderzoek naar taludbekledingen van gezette steen is een studie verricht naar de invloed van overgangsconstructies op de stabiliteit van een steenzetting. Hiertoe is het model STEENZET/1+ aangepast, zodat berekeningen gemaakt kunnen worden voor een glooiing met ondoorlatende overgangsconstructie. Vervolgens is een aantal praktijksituaties onder ontwerpomstandigheden doorgerekend. De resultaten van de berekeningen worden in deze notitie gerapporteerd.

De invloed van een ondoorlatende overgangsconstructie blijkt uit twee grootheden: de grootte van de verschildruk over de blokken en de grootte van de blokbeweging. De verschildruk over de blokken in de buurt van de overgang ten gevolge van de golfbeweging op het talud blijkt met name bij steilere golven (golfsteilheid kleiner dan 2) toe te kunnen nemen. Bij de in dit rapport gepresenteerde berekeningen is deze toename maximaal 25 tot 30 procent voor een constructie met lengte 0,6 m en een golfsteilheid van 1,5. Ten gevolge van een ondoorlatende overgangsconstructie kan derhalve blokbeweging geïnitieerd worden.

De resultaten blijken sterk afhankelijk van het type golf, dat als invoer wordt gebruikt. Tussen Banach golven en Deltagootgolven is een verschil van circa 30% in de berekende verschildrukken geconstateerd. Op de grootte van de blokbeweging blijkt de overgangsconstructie een remmende werking te hebben. De toestroming van water wordt door de ondoorlatende constructie verminderd, zodat het blok minder hoog opgetild wordt.

Omdat echter een blok, dat een initiële beweging heeft, in de praktijk vaak niet meer terug in de zetting zakt, maar blijft 'hangen' tussen de andere blokken, is het theoretisch niet ondenkbaar dat de aanwezigheid van een ondoorlatende overgangsconstructie bezwijken van de steenzetting ten gevolge heeft.

bladnummer : - vii -
ons kenmerk: CO-313170/2
datum : juli 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

De verschillen tussen wel of geen overgangsconstructie zijn echter zo klein, dat de grote schadegevoeligheid van overgangsconstructies eerder moet worden toegeschreven aan een verminderde sterkte van de steenzetting ter plaatse van de overgang dan aan een verhoogde belasting.



1. INLEIDING

In dit rapport wordt beschreven hoe de aanwezigheid van een overgangsconstructie de stabiliteit van een steenzetting beïnvloedt. Aanleiding tot dit onderzoek is het feit, dat discontinuïteiten in een zetting vaak de zwakke schakel in de constructie blijken te vormen. Onderzocht moet dus worden, of dit veroorzaakt wordt door een hogere uitwendige en inwendige belasting, of door een sterktevermindering ter plaatse van de overgang.

De steenzetting wordt verondersteld te bestaan uit een top laag van gezette blokken en een waterdoorlatende filterlaag. De betekenis van de overgangsconstructie is dan, dat de filterlaag wordt onderbroken door een niet doorlatende constructie. In de praktijk moet het woord "constructie" ruim worden geïnterpreteerd. De overgang kan bijvoorbeeld ook bestaan uit een kleilaag.

Om met het model STEENZET/1+ te kunnen berekenen wat de invloed is van een niet doorlatende overgangsconstructie is een aantal aanpassingen gedaan in de programmatuur. Deze aanpassingen zijn beschreven in hoofdstuk 2 en appendix A.

Vervolgens zijn met het aangepaste model sommen gemaakt voor verschillende constructies en hydraulische condities.

Deze studie is een onderdeel van het onderzoek aan taludbekledingen van gezette steen.

2. MODIFICATIES AAN STEENZET/1+ IN VERBAND MET OVERGANGSCONSTRUCTIES

2.1 Doel

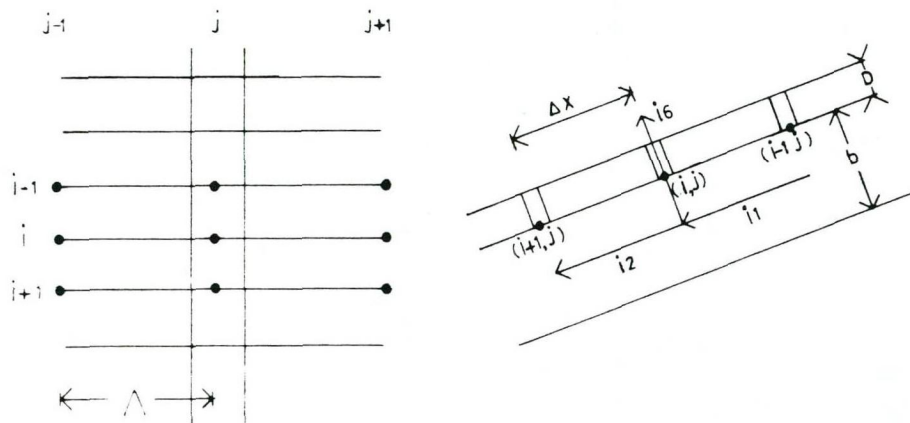
De modificaties zijn voornamelijk uitgevoerd met het oog op de wens om de stabiliteit van een steenzetting onder golfaanval op een talud, waarin een zo geheten overgangsconstructie is verwerkt, te kunnen berekenen. Met een overgangsconstructie wordt hier bedoeld dat de filterlaag wordt onderbroken.

De stabiliteit van een steenzetting kan onder andere worden berekend met het programma STEENZET/1+. Dit programma gaat er van uit dat de golfdrukken op het talud bekend zijn. De waterspanningen in het talud worden met behulp van een grondwaterstromingsmodel gesimuleerd. Uit het verschil tussen de golfdruk op het talud en de waterspanning in het talud wordt de verschildruk over een blok bepaald. Indien de verschildruk groter wordt dan het eigen gewicht van het blok, treedt er blokbeweging op.

Bij de berekeningen van de blokbeweging kan rekening worden gehouden met de toestroming van water door de filterlaag naar het bewegende blok. Het rekenschema dat hiervoor wordt gebruikt, gaat er in de tot nu toe gebruikte versie van STEENZET/1+ van uit dat het bewegende blok ergens midden in het talud ligt. Bij een overgangsconstructie kan dit een complicatie opleveren omdat het bewegende blok geheel onder of boven aan het talud kan liggen. Hetzij van onder, hetzij van boven kan er dan geen water meer toestromen. Bij de berekening van de toestroming zal dus rekening moeten worden gehouden met een verminderde hoeveelheid beschikbaar water. Dit heeft invloed op de maximale blokbeweging en de drukken in het talud.

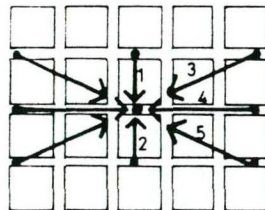
2.2 Blokbeweging met toestroming

In figuur 2.1. is zowel het bovenaanzicht (links) als het zijaanzicht (rechts) van een stukje zetting getekend.



Figuur 2.1. Boven- en zijaanzicht van een deel van een steenzetting

De waterstroming naar een punt kan worden opgedeeld in 8 componenten, zie figuur 2.2.



Figuur 2.2. De componenten van de grondwaterstroming

Bij het type berekening "bewegend blok met toestroming" wordt er van uitgegaan dat in kolom j ergens een bewegend blok is. De blokken in de kolommen j-1 en j+1 bewegen niet. Aanname is dat in de kolommen j-1 en j+1 de druk gelijk is aan de druk onder de blokken zonder een bewegend blok. De kolommen moeten dan voldoende van elkaar liggen, op een afstand van de lek lengte Δ , zie Bezuijen [7], met een minimum van de bloklengte. Er wordt slechts over de bloklengte gesproken, want in STEENZET/1+ is vanwege het 1-dimensionale karakter van de berekening een blok vierkant. Omdat de drukken in kolom j-1 en kolom j+1 aan elkaar gelijk zijn, is figuur 2.2. spiegelsymmetrisch in het normaalvlak door kolom j. Derhalve zijn er slechts 5 verschillende verhangen in figuur 2.2. Het zesde verhang is het verhang in de spleet, zie figuur 2.1. Deze verhangen zijn:

$$i_1 = \frac{\phi_{i-1}^b - \phi_i^b}{\Delta x} = \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta x} \quad 1.$$

$$i_2 = \frac{\phi_i^b - \phi_{i+1}^b}{\Delta x} = \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta x} \quad 2.$$

$$i_3 = \frac{\phi_{i-1}^b - \phi_i^b}{\Delta s} = \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta s} \quad 3.$$

$$i_4 = \frac{\phi_i^b - \phi_i^b}{\Delta h} = \frac{F_i^b - F_i^b}{\Delta h} \quad 4.$$

$$i_5 = \frac{\phi_i^b - \phi_{i+1}^b}{\Delta s} = \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta s} \quad 5.$$

$$i_6 = \frac{\phi_i^b - \phi_d}{D} = \frac{F_i^b - (P_i + D \cos \alpha)}{D} \quad 6.$$

D is de dikte van de toplaag, Δx is de lengte van een blok, Δh is de afstand tussen het midden van twee spleten in aangrenzende kolommen, Δs de afstand tussen het midden van twee spleten, waarvan zowel het kolomnummer als het rijnummer 1 hoger of lager is. Δs kan in Δx en Δh worden uitgedrukt:

$$\Delta s = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta h)^2} \quad 7.$$

ϕ_i^b is de potentiaal in de spleet uit rij i en kolom j , de index b geeft aan dat het om een kolom gaat, waarin het bewegende blok voorkomt. ϕ_i is de potentiaal in de spleet uit rij i en kolom $j-1$ of $j+1$, een kolom waarin geen bewegend blok voorkomt. F_i^b is de waterspanning in de spleet uit rij i en kolom j , de index b geeft aan dat dit de kolom is, waarin blokbeweging voorkomt. F_i is de druk in een spleet op rij i in een kolom waarin geen blokbeweging optreedt. De helling van het talud kan worden vertaald in de hoek α . P_i is de golfdruk op het talud ter plaatse van de spleet in rij i en kolom j .

Voor stroming zonder bewegende blokken, dus alleen in kolom $j-1$ of $j+1$ kan uit figuur 2.1. voor de continuïteitseis worden afgeleid:

$$Q_1 = Q_2 + Q_6 \quad 8.$$

Dit leidt via de wet van Darcy tot:

$$k_b i_1 = k_b i_2 + k' \Delta x i_6 \quad 9.$$

b is de dikte van de filterlaag, k de doorlatendheid van het filtermateriaal, k' de toplaagdoorlatendheid. Voor het schema uit figuur 2.2. wordt de relatie iets anders. Ook de zijdelingse termen en de schuine termen leveren een bijdrage aan de stroming naar de spleet. Deze termen mogen echter niet zomaar bij elkaar worden opgeteld. De componenten zijn niet orthogonaal. De verhangen in een kolom en in een rij

staan loodrecht op elkaar. De rijen en kolommen spannen een basis op in de ruimte. De schuine termen zijn echter niet onafhankelijk van deze basisvectoren. Derhalve moet een correctieterm worden ingevuld, die er voor waakt dat verhangen dubbel worden geteld. Door Bezuijen [7] is aan de hand van stroming naar een ronde steen uitgezocht hoe groot deze correctieterm moet zijn:

$$c = \left[\frac{2\Delta}{\sqrt{(\Delta x)^2 + \Delta^2} + 1} \right]^{-1} \quad 10.$$

Tevens is afgeleid dat de afstand tussen twee kolommen Δ moet bedragen.

De continuïteitsvergelijking bij een bewegend blok is dus:

$$Q_1 + Q_2 + 2c Q_3 + 2c Q_4 + 2c Q_5 = Q_6 \quad 11.$$

In termen van potentialen wordt dit:

$$\begin{aligned} kb \frac{\phi_{i-1}^b - \phi_i^b}{\Delta x} - kb \frac{\phi_i^b - \phi_{i+1}^b}{\Delta x} + 2kbc \frac{\phi_{i-1}^b - \phi_i^b}{\Delta s \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta x}{\Delta} \right]} \\ + 2kbc \frac{\phi_i^b - \phi_{i+1}^b}{\Delta - \frac{1}{2} \Delta x} + 2kbc \frac{\phi_i^b - \phi_{i+1}^b}{\Delta s \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta x}{\Delta} \right]} + qb = k' \Delta x \frac{\phi_i^b - \phi_d}{D} \quad 12. \end{aligned}$$

De term 'qb' is het toestromende debiet. Dit duwt het blok omhoog. Anders geformuleerd: "q vult de ruimte op die ontstaat tussen het blok en de filterlaag". Deze formulering verwacht wel oorzaak en gevolg.

Formule (12) wordt in termen van waterspanningen uitgeschreven:

$$\begin{aligned}
 & k_b \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta x} - k_b \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta x} + \\
 & 2k_{bc} \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta s \left[1 - \frac{\Delta x}{\Lambda}\right]} + 2k_{bc} \frac{F_i^b - F_{i+1}^b}{\Lambda - \frac{1}{2}\Delta x} + \\
 & 2k_{bc} \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta s \left[1 - \frac{\Delta x}{\Lambda}\right]} + q_b = k' \Delta x \frac{F_i^b - (P_i + D \cos \alpha)}{D} \quad 13.
 \end{aligned}$$

Deze vergelijking kan nu worden uitgesplitst in de afzonderlijke termen, $F_{i(\pm 1)}^{(b)}$. De waterspanningen zonder de index b zijn bij een STEENZET/1+ berekening inmiddels bekend uit de berekening zonder bewegend blok. De berekening zonder bewegend blok wordt parallel aan de berekening met bewegend blok uitgevoerd. Als enige onbekenden zijn dus nog waterspanningen over in de rij met blokbeweging. Maar ook hiervan zijn er reeds twee bekend, immers de waterspanning in de spleten grenzend aan het bewegende blok ligt vast: de golfdruk op het talud vermeerderd met de druk omgerekend uit het eigen gewicht van het blok. Er zijn nu voldoende gegevens bekend om de drukken in de spleten in de kolom, waarin blokbeweging optreedt, uit te rekenen. Tot zo ver een herhaling van de oude theorie.

2.3 Invloed overgangsconstructie

Als het bovenste blok van het talud beweegt, is de situatie iets anders. Er is dan geen toestroming van boven meer mogelijk. De volgende termen vervallen in vergelijking (13):

$$k_b \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta x} \text{ en } 2k_{bc} \frac{F_{i-1}^b + \Delta x \sin \alpha - F_i^b}{\Delta s \left[1 - \frac{\Delta x}{\Lambda}\right]}$$

Als het bewegende blok geheel aan de onderzijde van de zetting ligt,
 vervallen er twee andere termen uit vergelijking (13), te weten:

$$- kb \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta x} \quad \text{en} \quad 2kbc \frac{F_i^b - (F_{i+1}^b - \Delta x \sin \alpha)}{\Delta s \left[1 - \frac{\Delta x}{\Delta}\right]}$$

3. STEENZET BEREKENINGEN

3.1 Schade aan de Oesterdam

3.1.1 Invoergegevens

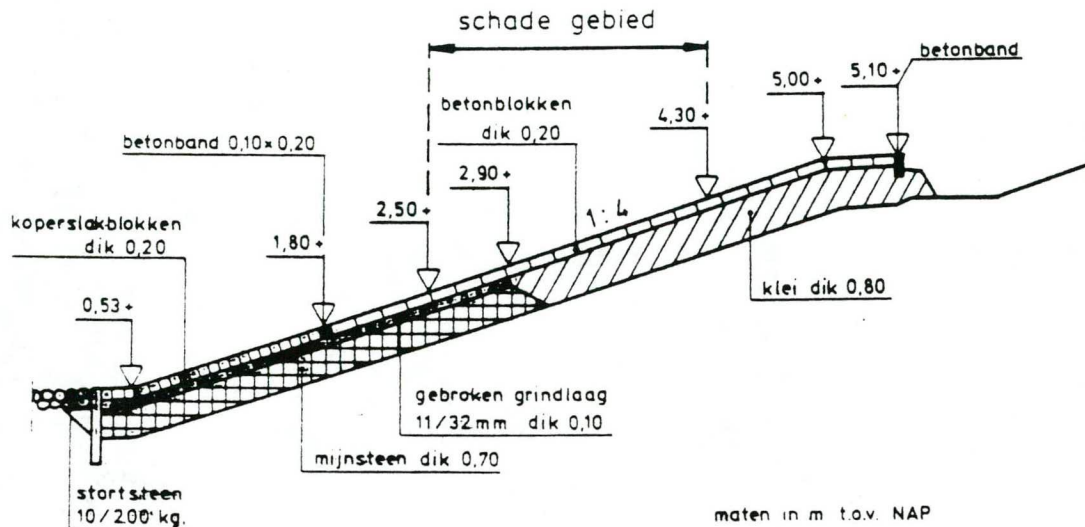
In het voorstel van berekeningen die in het kader van dit onderzoek met het programma STEENZET/1+ zouden kunnen worden verricht, is het narekenen van de opgetreden schade aan de Oesterdam tijdens een storm opgenomen. Inmiddels is vastgesteld, dat de schade niet is ontstaan door het uitspoelen van blokken door de storm, maar door het eroderen van de klei hoger op het talud. Hierdoor zakten de blokken weg. Deze situatie is niet te simuleren met het STEENZET/1+ programma. Er zijn wel enige sommen uitgevoerd, om na te gaan, of er bij deze waterstand en golfhoogte schade optreedt.

De waterstand en golfhoogte tijdens de storm zijn bekend. De waterstand op het moment dat de schade aan de Oesterdam optrad was NAP + 3,25 m. De golfhoogte was circa 0,60 à 0,70 m. Omdat in deze sommen de waterstand gegeven is, wordt de golfperiode in de berekeningen gevarieerd, zodat het punt van maximale golfterugloop over het talud schuift. Op deze wijze wordt voor een bepaalde golfperiode een maximum verschildruk over de blokken gevonden.

Voorts is een situatie met onregelmatige golven gesimuleerd door de significante golfhoogte voor regelmatige golven te vermenigvuldigen met 1,35. De berekeningen zijn uitgevoerd met de in het STEENZET programma gebruikelijke Banach golven.

Het filter van de constructie bestaat uit een laag mijnsteen (0,70 m dik) en een 10 centimeter dikke uitvullaag van grind. Vanwege de lage doorlatendheid van de mijnsteen (ordegrootte 10^{-4} m/s) ten opzichte van die van het grind (10^{-2} m/s) is de stroming door de laag mijnsteen verwaarloosd.

De toplaag bestaat uit blokken $50 \times 50 \times 20 \text{ cm}^3$. De spleetbreedte is aangehouden op 1,5 mm. De constructie is in onderstaande tekening weergegeven.



Figuur 3.1. Constructie Oesterdam

3.1.2 Resultaten

Er treedt onder de gegeven omstandigheden (net) geen blokbeweging op. De gebruikte filterlaag van grind is slechts 10 cm dik. Hierdoor blijft, ondanks de grote doorlatendheid van het filter, de lek lengte beperkt tot 0,91 m. De maximale verschildruk over de blokken wordt gevonden bij een golfperiode van 3,3 seconden voor regelmatige golven en bij 3,4 seconden voor onregelmatige golven. Deze maximale verschildrukken zijn respectievelijk 3,9 en 4,0 kPa. De laagste verschildruk waarbij blokbeweging kan worden verwacht, is circa 4,6 kPa.

Indien de doorlatendheid van de toplaag verder wordt verlaagd door de spleetbreedte te verkleinen tot 1 mm wordt er beweging van het bovenste blok gevonden voor een golfhoogte van 0,70 m bij een periode van 3,3 seconden. Als de golfperiode toeneemt kunnen ook blokken lager op het talud gaan bewegen. In alle gevallen echter is de berekende blokbeweging beperkt.

Al met al moet het onwaarschijnlijk geacht worden, dat bij deze golfhoogte schade zal zijn opgetreden door het uitlichten van blokken uit de zetting ten gevolge van de verschildruk over de blokken.

De hier genoemde condities zijn echter geen ontwerpomstandigheden. In de volgende paragraaf wordt een berekening gegeven voor ontwerpcondities.

3.2 Oesterdam: extreme golfcondities

3.2.1 Invoergegevens

Op de volgende pagina is tabel 3.1 gegeven met de golfcondities (Meetverslag kleinschalig onderzoek ten behoeve van Oesterdam, [3]).

De onderkant van de constructie ligt op NAP + 1,80 m en de bovenkant op NAP + 2,90 m. Omdat hier met name naar overgangsconstructies wordt gekeken, zijn de waterstanden tussen NAP + 3 m en NAP + 4 m het interessantst. Tussen deze waarden is de waterstand met stappen van 5 cm verhoogd. Omdat de golfhoogte dan nauwelijks meer varieert is er voor gekozen alle berekeningen uit te voeren voor een golfhoogte van 1,79 m en een golfperiode van 4,19 s. Op deze wijze zijn de resultaten onderling goed vergelijkbaar. Gezocht wordt bij welke waterstand de maximale verschildruk over een blok het grootst is.

waterstand [NAP + m]	Hs [m]	Tz [s]
0	1,30	3,80
1	1,55	3,98
2	1,70	4,10
3	1,78	4,18
4	1,80	4,20

Tabel 3.1. Golfcondities Oesterdam

3.2.2 Resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee situaties: één met een overgangsconstructie op NAP + 2,90 m, en één voor een lang talud, waarbij de overgangsconstructie zich buiten het gebied van golfaanval bevindt. De invloed van de overgangsconstructie in het beschouwde gebied is dan nihil. In bijlagen 1 en 2 zijn de maximale verschildrukken over een blok uitgezet tegen de waterstand.

Duidelijk is, dat voor dit geval de invloed van de overgangsconstructie op de maximale verschildrukken gering is. Dit is begrijpelijk, omdat bij bewegende blokken de maximale verschildruk ongeveer de waarde is waarbij een blok opgetild kan worden. Hoger kan niet, want door de blokbeweging wordt de druk weer verminderd. Het is dan de grootte van de blokbeweging die een indicatie geeft voor het verschil tussen een talud met een overgangsconstructie en een talud zonder overgang.



Op de blokbeweging is de invloed van de overgangsconstructie eerder gunstig door het verminderen van toestroming van bovenaf. Hierdoor nemen ook de maximale verhangen in het filter af. De maximum blokbeweging treedt op bij het vijfde blok onder de overgangsconstructie. Dit is ongeveer op het midden van het talud, zodat zowel van onder als van boven het blok het water in het filter ongehinderd toe kan stromen. Is dit niet zo, dan nemen de gevonden blokbewegingen af (zie figuur in bijlage 2, links en rechts van het maximum).

In het algemeen ontstaat de maximum verschildruk over een blok door omhoog gerichte stroming in het filter lager op de zetting en omlaag gerichte stroming in het filter hoger op de glooiing. De invloed van de overgangsconstructie is, dat deze zowel toestroming van boven de overgang verhindert, als afstroming vanuit het filter omhoog. Als de stroming in het filter onder de overgangsconstructie omhoog gericht is, zou er dus drukopbouw onder de bovenste blokken kunnen ontstaan. In dit geval is dit niet zo: de maximum verschildruk over een blok en de maximum blokbeweging treden op terwijl de stroming in het filter onder de overgangsconstructie omlaag gericht is. De richting van de stroming in het filter is een functie van doorlatendheid van top laag en filter, golfsteilheid en taludhelling. In hoofdstuk 3.6 wordt getracht de invloed van deze factoren duidelijker te kwantificeren.

De conclusie uit de berekeningen is, dat bij de gegeven ontwerpomstandigheden een blokbeweging op kan treden van enkele centimeters. De overgangsconstructie heeft geen duidelijke nadelige invloed.

3.3 Case study

3.3.1 Invoergegevens

In het Samenvattend verslag van het verrichte onderzoek 1980-1984 [2] is in een case study een berekeningsvoorbeeld uitgewerkt. Er is in de case study sprake van twee soorten toplaag: een laag van polygoonvormige zuilen en een laag van vierkante betonblokken. De polygoonvormige zuilen zijn 15 cm dik en hebben een spleetbreedte van 1 cm. De toplaagdoorlatendheid is berekend op 0,025 m/s. De vierkante blokken zijn 20 cm dik, hebben een spleetbreedte van 1,5 mm en een toplaagdoorlatendheid van $3,4 \cdot 10^{-3}$ m/s. De filterlaag bestaat uit een 60 cm dikke laag mijnsteen met een D15 van 5 mm en een porositeit van 30%. Boven deze filterlaag ligt een uitvullaag van 5 cm grind (D15 = 8 mm, porositeit = 45%). In de case study zijn deze twee lagen samengesteld tot een laag van 35 cm dik met een doorlatendheid van 0,06 m/sec. Met de huidige gereedschappen kan echter beter de uitvullaag expliciet in rekening gebracht worden. De geometrie van de glooiing is in figuur 3.2. weergegeven.

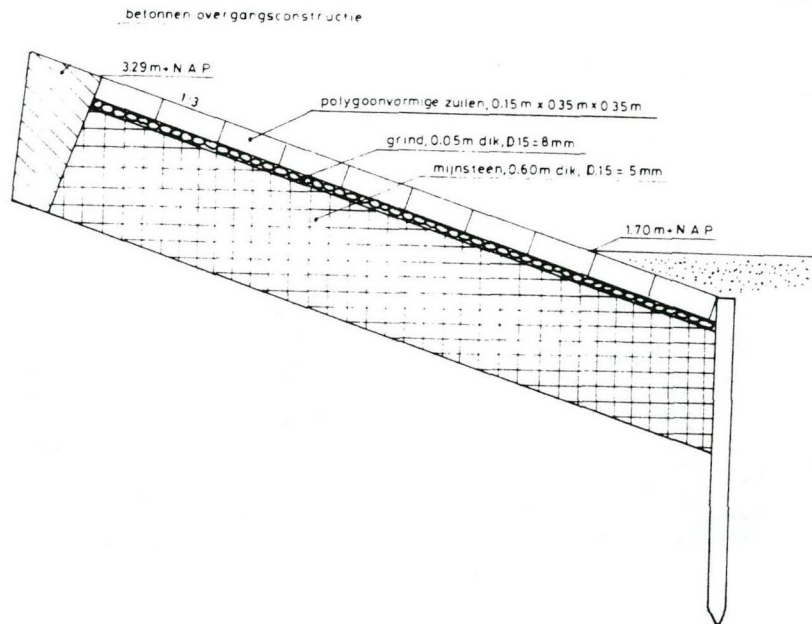
De lek lengtes van de beide soorten toplaag zijn 0,38 m voor de polygoonvormige zuilen en 0,95 m voor de vierkante blokken.

In de case study wordt gerekend zonder blokbeweging. Er is gekozen voor een golf met $H_s = 1,2$ m en golfsteilheid 1,6. De golfsteilheid is gedefiniëerd als:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(2\pi H/gT)^2}}$$

waarin: α = taludhelling	(-)
H = golfhoogte	(m)
T = golfperiode	(s)

De golfperiode is dan 4,2 s. Er zijn berekeningen uitgevoerd met blokbeweging, zonder blokbeweging en met een talud waarbij de overgangsconstructie 3 meter hoger op het talud is geplaatst om na te gaan wat de invloed van de overgangsconstructie is.



Figuur 3.2. Situatieschets van case study

3.3.2 Resultaten

Bijlagen 3,4 en 5 geven de resultaten voor de verschillende berekeningsgevallen weer.

Een aantal conclusies kan hieruit getrokken worden. Ten eerste is er bij de polygoonvormige zuilen (met de relatief grote toplaagdoorlatendheid) weinig verschil gevonden voor de verschillende situaties. Er is slechts sprake van een kleine beweging van de blokken. In het geval

van de vierkante blokken is dit anders. De lagere topplaagdoorlatendheid heeft tot gevolg, dat er verschillen optreden tussen de berekening met en zonder blokbeweging. Blokbeweging heeft tot gevolg, dat de maximum druk onder een blok minder wordt, maar tevens dat er nauwelijks meer invloed is te zien van de overgangsconstructie voor wat betreft maximum verschildruk. De invloed van de overgangsconstructie uit zich voor het geval van de vierkante blokken in twee dingen. Indien de blokken kunnen bewegen heeft de overgangsconstructie een remmende werking op de grootte van de blokbeweging. Dit wordt kennelijk veroorzaakt, doordat er van boven de overgangsconstructie geen water naar het bewegende blok kan stromen. Indien de blokken niet kunnen bewegen uit zich de invloed van de overgangsconstructie in de berekende maximum verschildrukken over een blok voor de verschillende waterstanden. Indien deze worden vergeleken met de situatie waarin de overgangsconstructie zich niet in het door golven aangevallen gebied ligt, dan vallen twee dingen op. De verschildruk in beide gevallen is steeds vrijwel gelijk, tot bij een bepaalde waterstand. Dan neemt ten gevolge van de invloed van de overgangsconstructie in het ene geval de maximum verschildruk over een blok af doordat er geen water van boven de overgangsconstructie toe kan stromen. Bij een iets hogere waterstand neemt de verschildruk toe, omdat het water in het filter omhoog wil stromen, maar tegengehouden wordt door de overgang. In dit geval zijn druktoegen afname beperkt tot 5-10%.

De gevonden resultaten geven grote verschillen te zien met de resultaten van de case study. Een deel van dit verschil kan worden verklaard, door de verschillende golven, die als invoer gebruikt worden. In de case study worden Deltagootregistraties ingevoerd, met een grote piekwaarde, terwijl in deze paragraaf Banach-golven gebruikt zijn. In paragraaf 3.6 worden Banach golven en Deltagoot golven met elkaar vergeleken.

3.4 Case study: golfhoogte varieert met de waterstand

Gegeven is een tabel met golfgegevens bij waterstanden waarvan de overschrijdingsfrequentie bekend is.

overschrijdings- frequentie	vloedstand in NAP + m	Hs in m	T in sec
1 x per jaar	2,60	0,40	3,5
0,1 x per jaar	3,50	0,80	4,3
0,01 x per jaar	4,40	1,20	4,6
0,001 x per jaar	5,15	1,50	4,9
0,00025 x per jaar	5,60	1,70	5,1

Tabel 3.2. Golfgegevens case study

Het interessante gebied voor de overgangsconstructie bevindt zich tussen de waterstanden NAP + 3,50 m en NAP + 5,15 m. Tussen de gegeven punten in de tabel is lineair geïnterpoleerd om golfhoogte en golfperiode vast te stellen. De berekeningen zijn een tweede maal uitgevoerd voor een talud waarbij de overgangsconstructie boven het gebied van golfaanval ligt.

De resultaten zijn grafisch weergegeven in bijlagen 6 en 7.

De maximum blokbeweging wordt door de overgangsconstructie gereduceerd.

Ten opzichte van de vorige situatie (paragraaf 3.3) geldt, dat de golven bij waterstanden lager dan NAP + 4,40 m kleiner zijn en een langere periode hebben. De gevonden blokbeweging en verschildrukken zijn dan ook kleiner. Bij waterstanden boven NAP + 4,40 m is de golfhoogte groter, maar is de overgangsconstructie al gepasseerd.

3.5 Case study: veroudering

Veroudering van de steenzetting wordt gesimuleerd door de doorlatendheden van filter en/of toplaag te verminderen. In de vorige paragraaf zijn al twee gevallen berekend. Hier worden drie nieuwe gevallen toegevoegd, zodat er in totaal vijf situaties zijn:

1. polygoonvormige zuilen
2. vierkante blokken
3. vierkante blokken met doorlatendheid toplaag factor 10 verminderd
4. polygoonvormige zuilen met doorlatendheid filter factor 10 kleiner
5. vierkante blokken met doorlatendheid van zowel filter als toplaag factor 10 verkleind.

geval	k_{filter}	k_{toplaag}	lek lengte
1	0.05	0.034	0.38
2	0.05	0.0072	0.95
3	0.05	0.00078	2.26
4	0.005	0.028	0.14
5	0.005	0.0016	0.66

Tabel 3.3. Doorlatendheden

Er is gerekend met een golfhoogte die varieert met de waterstand. In bijlage 8 is de berekende maximum verschildruk over een blok getekend.

Als de doorlatendheid van de toplaag afneemt, neemt de maximum verschildruk over het blok, zoals verwacht, toe. Bij afnemende doorlatendheid van het filter geldt het omgekeerde. Er is echter geen sprake van fundamenteel anders fysisch gedrag als de doorlatendheden van toplaag en filterlaag gevarieerd worden. Ook hier geldt, dat in die gevallen dat er sprake is van blokbeweging, deze beweging gereduceerd wordt door de aanwezigheid van een overgangsconstructie.

3.6 Case study: Vergelijking Banach met Deltagoot golven

Er wordt in het model STEENZET standaard gerekend met Banach golven. Er zijn echter ook registraties van golven uit het eindverificatie onderzoek in de Deltagoot [8]. De registraties van de Deltagoot golven geven een wat grilliger beeld van het drukverloop in de tijd dan de Banach golven. Om de invloed van het type golf te kunnen inschatten zijn vergelijkende berekeningen uitgevoerd met Deltagoot golven. De karakteristiek van deze golven is, dat waterdiepte, golfhoogte en golfperiode vastliggen. Om deze golven te kunnen vergelijken met de Banach golven wordt daarom een andere werkwijze toegepast, dan in de overige paragrafen. Hier wordt niet de waterstand gevarieerd ten opzichte van de bovenkant van de constructie, maar wordt de bovenkant van de constructie verschoven ten opzichte van de waterstand.

Er is gerekend met twee golven. De karakteristieken van de golven zijn:

naam van golfdatabestand	H [m]	T [s]	waterdiepte [m]	golfsteilheid [-]
Banach 314 resp. Delta 143	0,92	3,6	4,85	1,56
Banach 316 resp. Delta 152	1,19	5,1	4,74	1,94

Tabel 3.4. Karakteristieken van de berekende golven

De berekeningen zijn uitgevoerd voor vierkante betonblokken, terwijl de eigenschappen van de constructie van paragraaf 3.3 gebruikt worden. In bijlage 9 zijn de maximale verschildrukken over een blok uitgezet tegen de hoogte van de overgangsconstructie. Deze hoogte varieert van 3,5 m (circa 1,30 m onder de stilwaterlijn) tot 5,1 m (ongeveer 0,30 m boven de stilwaterlijn). Uit de resultaten blijkt, dat de Deltagoot golven 20 tot 30% hogere verschildrukken opleveren dan de Banach golven. De invloed van de overgangsconstructie is bij de Banach golven duidelijker te zien dan bij de Deltagoot golven. Deze invloed is bij een golfsteilheid van 1,56 groter dan bij een golfsteilheid van 1,96. Voorts is de golfoploop en golfterugloop bij de Deltagoot golven kleiner dan bij de Banach golven. Dit verklaart waarom de grafieken van de beide typen golven verschoven zijn ten opzichte van elkaar.

3.7 Zeeuwse constructie

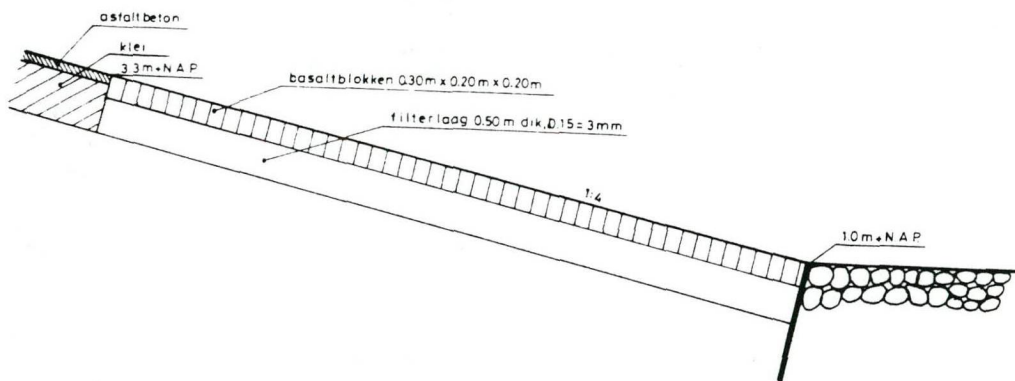
3.7.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt een constructie beschouwd zoals die in Zeeland veel voorkomt. Er is hier sprake van basaltblokken op een filter van bijvoorbeeld grind of fosforslakken. De constructie is goed vergelijkbaar met die uit de vorige paragraaf, maar het hoogteverschil tussen

overgangsconstructie en voorland is iets groter, zodat de golfbelasting ook iets groter kan zijn. Er wordt in deze paragraaf met name aandacht besteed aan golfsteilheid.

3.7.2 Constructie en belasting

De constructie is in figuur 3.3. geschetst. De basaltblokken zijn geschematiseerd tot vierkante blokken van 0,20 m x 0,20 m en 0,30 m dik. De filterlaag is 0,5 m dik en bestaat uit materiaal met een D₁₅ van 0,003 m. De helling kan zowel 1 : 4 als 1 : 3 zijn. De leklengte van de constructie is 0,62 m.



Figuur 3.3. "Zeeuwse" constructie

De golfbelasting is afgeleid uit het PROVO onderzoek [1]. Er wordt in dit hoofdstuk met Banach golven gerekend. Tijdens de proeven werden golven gebruikt tussen 1,5 en 2 m hoog. Dit wordt hier ook gebruikt. De waterstand varieert tussen NAP + 3 m en NAP + 5 m. Er worden verschillende golfperiodes toegepast om de invloed van de golfsteilheid te illustreren.

3.7.3 Resultaten

In het eerste berekeningsgeval is een helling toegepast van 1 : 4. De golfhoogte is 2 m en de golfsteilheden zijn respectievelijk 1,0, 1,25 en 1,5. Er treedt geen blokbeweging op, zodat er gekeken moet worden naar de maximale verschildruk over de blokken. Deze verschildruk is gegeven in bijlage 10.

Uit de figuur in de bijlage blijkt dat bij een golfsteilheid van 1,25 de relatieve toename van de verschildruk ten gevolge van de overgangsconstructie het grootst is. Uit de berekeningen blijkt, dat bij steile golven ten tijde van de maximum verschildruk de stroming in het filter dusdanig is, dat er onder het blok een opwaartse stroming is die zich uitstrekt tot enkele blokken hoger op de glooiing. Bij de overgangsconstructie bouwt zich hierdoor een druk onder het blok op. Bij minder steile golven is weliswaar de stroming in het filter onder het blok met de maximale verschildruk omhoog gericht, maar vlak daarboven is de stroming neerwaarts gericht. Hierdoor heeft de overgangsconstructie geen belangrijke toename van de verschildruk ten gevolge.

Het tweede berekeningsgeval is uitgevoerd met een golfhoogte van 1,5 m bij een taludhelling van 1 : 3. Er zijn twee golfsteilheden toegepast: 1,25 en 1,7. De eerste is een illustratie van een geval waarbij een duidelijke verhoging van de verschildruk optreedt ten gevolge van de overgangsconstructie, het tweede is een situatie waarbij de overgangsconstructie schijnbaar gunstig werkt op de verschildruk.



In bijlage 11 is in de figuur voor de situatie met golfsteilheid ξ van 1,7 een tweede lijn getekend. Deze lijn geeft de maximale verschillendrukken weer als steeds op hetzelfde tijdstip wordt gekeken wat de maximum verschillendruk is. Hieruit blijkt de invloed van de overgangsconstructie. Echter, als er geen sprake is van een overgangsconstructie (bij de lagere waterstanden treedt de maximale verschillendruk midden op de glooiing op) wordt de maximale verschillendruk op een ander tijdstip geregistreerd. Het maximum wordt bij minder steile golven veroorzaakt door stroming naar het blok met de maximale verschillendruk. Dit maximum is groter dan het maximum in een situatie, dat de stroming in het filter boven het blok omhoog is gericht, zoals dat bij steile golven het geval is.

Concluderend kan gesteld worden, dat een dichte overgangsconstructie alleen bij steile golven ($\xi = 1$ à 1,5) een significante verhoging van de maximale verschillendruk over de blokken ten gevolge heeft.

3.7.4 Invloed van filterdoorlatendheid

De mate waarin een dichte overgangsconstructie de maximale verschillendruk beïnvloedt, kan mede afhankelijk zijn van de filterdoorlatendheid. Immers, naarmate het water makkelijker naar de overgangsconstructie kan stromen wordt de druk onder de overgangsconstructie groter. Om dit te illustreren zijn er sommen gemaakt bij drie verschillende diameters van het filtermateriaal.

In bijlage 12 is de maximale verschillendruk bij verschillende filterdoorlatendheden weergegeven.

Uit de figuur in bijlage 12 valt af te lezen dat de relatieve invloed van de overgangsconstructie toeneemt naarmate de filterdoorlatendheid groter wordt. In percentages uitgedrukt neemt de maximale verschildruk ten gevolge van de overgangskonstruktie met 10, 24 en 27% toe ten opzichte van een ongestoorde situatie. De leklengtes zijn respectievelijk 0,31 m, 0,62 m en 1,04 m.

3.7.5 Invloed van topplaagdoorlatendheid

De invloed die de topplaagdoorlatendheid heeft op de drukopbouw onder de blokken is bekend: naarmate de topplaag minder doorlatend is neemt de verschildruk over de blokken toe bij gelijkblijvende belasting. Het ligt in de lijn der verwachtingen, dat de relatieve invloed van de overgangsconstructie toeneemt, naarmate de topplaagdoorlatendheid afneemt. Bijlage 13 illustreert dit. De relatieve druktoenames van de maximale verschildruk over de blokken is 16% (spleetbreedte 5 mm), 24 % (spleetbreedte 1,5 mm) en 26% (spleetbreedte 5 mm). De leklengtes zijn respectievelijk 0,39 m, 0,62 m en 0,85 m.

3.7.6 Invloed van blokbeweging

Met de situatie zoals die in de voorgaande paragrafen is geschetst wordt in deze paragraaf een geval doorgerekend waarbij het soortelijk gewicht van het blok drastisch is gereduceerd. Op deze manier wordt blokbeweging geforceerd, zonder overigens de andere fysische eigenschappen van de constructie te wijzigen. De invloed van de overgangsconstructie op de grootte van de maximum blokbeweging blijkt uit de figuur in bijlage 14.

De overgangsconstructie reduceert de maximum blokbeweging. Dit kan op het eerste gezicht vreemd lijken; in hetzelfde geval waarbij blokbeweging niet is toegestaan is de maximum verschildruk over de blokken ten gevolge van de overgangsconstructie immers juist hoger.

Indien de verhangen over de bovenste tien blokken worden uitgezet, blijkt dat indien blokbeweging en toestroming van water onder de blokken wordt toegestaan de overgangsconstructie een gunstige invloed heeft. Door het verhinderen van de toestroming van water van boven wordt de blokbeweging beperkt.

Ter illustratie is in bijlage 15 en 16 de verschildruk over de blokken en het verhang over de blokken getekend. Hierbij bevindt de overgangsconstructie zich boven blok 1.



4. CONCLUSIES

*bedekt
op sluit constructie / van onder !!
is niet aan te maken over boven opsluiting
en zij opsluiting*

De berekeningen geven aanleiding tot de volgende conclusies.

* Indien geen blokbeweging wordt toegestaan kan een dichte overgangsconstructie een nadelige invloed hebben op de verschillendrukken over een blok. De mate waarin dit gebeurt is vooral een functie van de golfsteilheid. In de uitgevoerde berekeningen is geen nadelige invloed van de overgangsconstructie gevonden voor golfsteilheden groter dan 2.

* Indien de overgangsconstructie een nadelige invloed heeft op de verschillendrukken, wordt deze versterkt door een grote filterdoorlatendheid en een kleine topplagdoorlatendheid, dus door een grote lek lengte. Een grote filterdoorlatendheid bevordert de toestroming naar het punt met de hoogste verschillendruk, een kleine topplagdoorlatendheid bemoeilijkt de afstroming van het water door de topplag.

* Een nadelige invloed van de overgangsconstructie ontstaat, indien de stroming in het filter op het moment dat de maximum verschillendruk over de blokken ontstaat tot een paar blokken boven het blok met de maximum verschillendruk omhoog gericht is. Op deze manier ontstaat bij een bepaalde waterstand een grotere toe- dan afstroming onder de overgangsconstructie. Of dit verschijnsel optreedt is afhankelijk van enerzijds golfsteilheid (belasting) en anderzijds doorlatendheid van topplag en filter (fysische reactie van de constructie).

*opsluit constructie **

bedekt in overgang
Indien blokbeweging en toestroming van water wordt toegestaan, heeft de overgangsconstructie altijd een gunstige werking. De blokbeweging neemt af, omdat de overgangsconstructie de toestroming van water van bovenaf verhindert.

?



- * Er kan gesteld worden, indien er bij een bepaalde waterstand en golfsteilheid een verhoogde drukopbouw onder de bovenste blokken optreedt, dat de aanwezigheid van een dichte overgangsconstructie tot gevolg zal hebben, dat de blokken eerder in beweging zullen komen, maar dat de grootte van de blokbeweging verminderd wordt.

Omdat golfhoogte en golfperiode in een storm geen vaste gegevens zijn, maar statistische grootheden, verdient het aanbeveling om zeker als blokbeweging niet wordt geaccepteerd berekeningen uit te voeren bij verschillende golfsteilheden.

- * De uitwendige belasting kan ter plaatse van de overgangsconstructie leiden tot een verhoogde verschildruk onder de bovenste blokken, dus tot een verhoogde inwendige belasting. Door het verminderen van de toestroming onder de blokken door de dichte overgangsconstructie neemt de sterkte van de zetting echter niet af. Alleen in die gevallen dat blokbeweging niet toegestaan wordt, is er sprake van een verminderde sterkte van de zetting. Dat er toch veel schadegevallen bekend zijn bij overgangsconstructies, moet mogelijk worden toegeschreven aan een verminderde klemming tussen de blokken en de overgang, of fouten bij ontwerp en uitvoering van de zetting.

Er kan echter ook een ander mechanisme een rol spelen. Door een verhoogde verschildruk onder de bovenste blokken kan een blokbeweging geïnitieerd worden. Ongeacht de grootte van die blokbeweging is het de vraag of het blok na de beweging weer terugzakt in de zetting, of blijft hangen tussen de andere blokken. Na een aantal bewegingen wordt het blok dan alsnog uit de zetting gelicht.

*zijn er
probabilistische remmers af te leiden?*

- * Uit de berekeningen blijkt een grote invloed van de gebruikte golfrandvoorwaarde. Zo geven bijvoorbeeld Deltagoot golven aanzienlijk hogere waarden voor verschildruk en blokbeweging dan de in STEENZET gebruikelijke Banach golven. ?

- * Er zijn een aantal constructies doorgerekend onder ontwerpomstandigheden. Voor de Oesterdam wordt een blokbeweging van enige centimeters gevonden. Dit is vrij veel. Bij de case study geven de polygoonblokken onder ontwerpomstandigheden geen beweging te zien. De glooiing met vierkante blokken is duidelijk minder stabiel. De stabiliteit neemt af bij toenemende leklengte. De Zeeuwse constructie is onder de gegeven omstandigheden stabiel, vanwege de dikte (0,30 m) en het hoge soortelijke gewicht van basalt.



REFERENTIES

1. Verslag grootschalig modelonderzoek steenzettingen,
WL, M 2036
maart 1985
2. Taludbekleding van gezette steen, overzicht onderzoek 1980-1984
WL, M 1795/ M 1881 deel XV
LGM, CO 272500/7
oktober 1984
3. Kleinschalig onderzoek ten behoeve van Oesterdam (meetverslag)
WL, M 1795 deel V
LGM, CO 258840/9
juli 1982
4. Taludbekleding van gezette steen, hydraulische aspecten
WL, M1795 deel II
LGM, CO 255780/43
juli 1982
5. Taludbekleding van gezette steen, bepaling grondmechanische
eigenschappen van materialen uit Oesterdamonderzoek
WL, M 1795 / M 1881 deel VII
LGM, CO 258901/118
mei 1984
6. Taludbekleding van gezette steen, waterbeweging en
golfbelasting op een glad talud
WL, M 1795 deel XVII
GD, CO 244859/74
maart 1990

bladnummer : - 30 -
ons kenmerk: CO-313170/2
datum : juli 1990



GRONDMECHANICA
DELFT

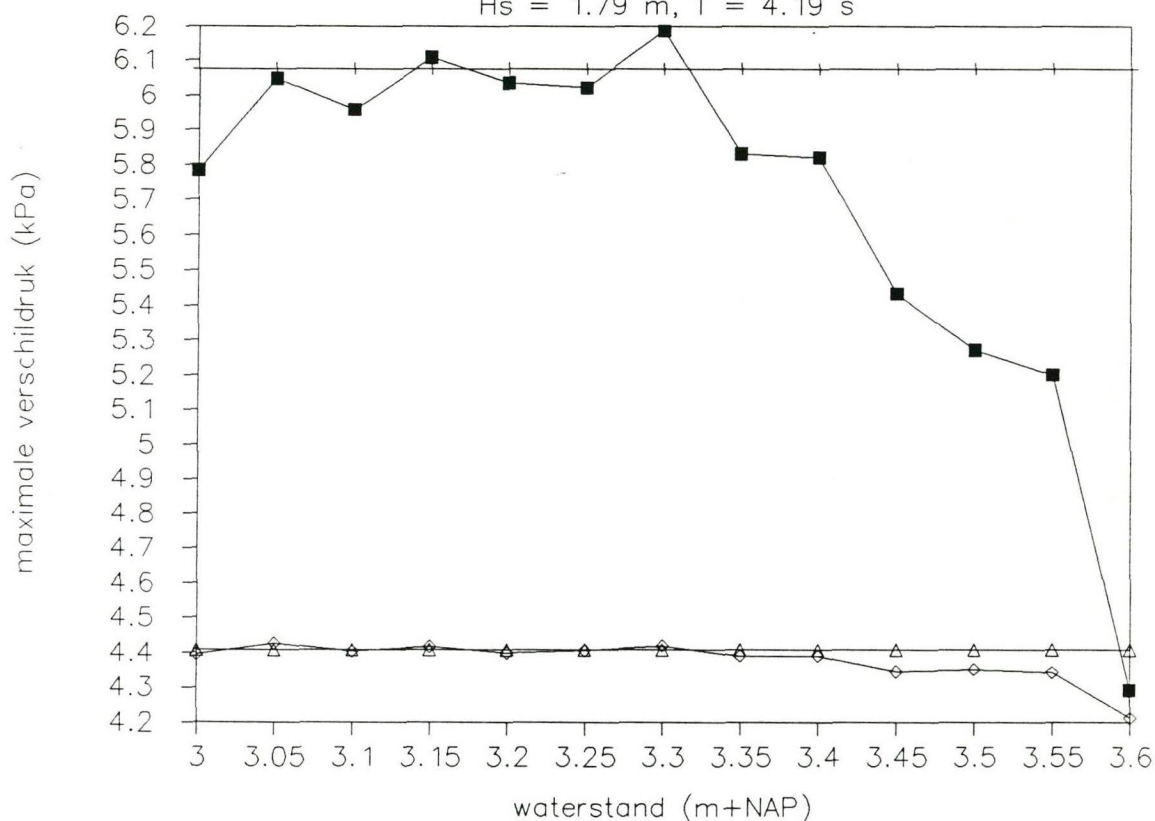
7. Beweging van blokken
 WL, M 1881-4
 GD, CO 280050
 april 1986

8. Taludbekleding van gezette steen, meetverslag eindverificatie-
 onderzoek Deltagoot, concept
 WL en GD, H195.25
 april 1988

BIJLAGEN 1 T/M 16

Maximale verschildruk Oesterdam

Hs = 1.79 m, T = 4.19 s



■ geen beweging
◇ met beweging

+ geen beweging, lang
△ met beweging, lang

Overgangskonstructie op NAP + 2.90 m
Overgang lang talud op: NAP + 5.90 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d

90-07-12

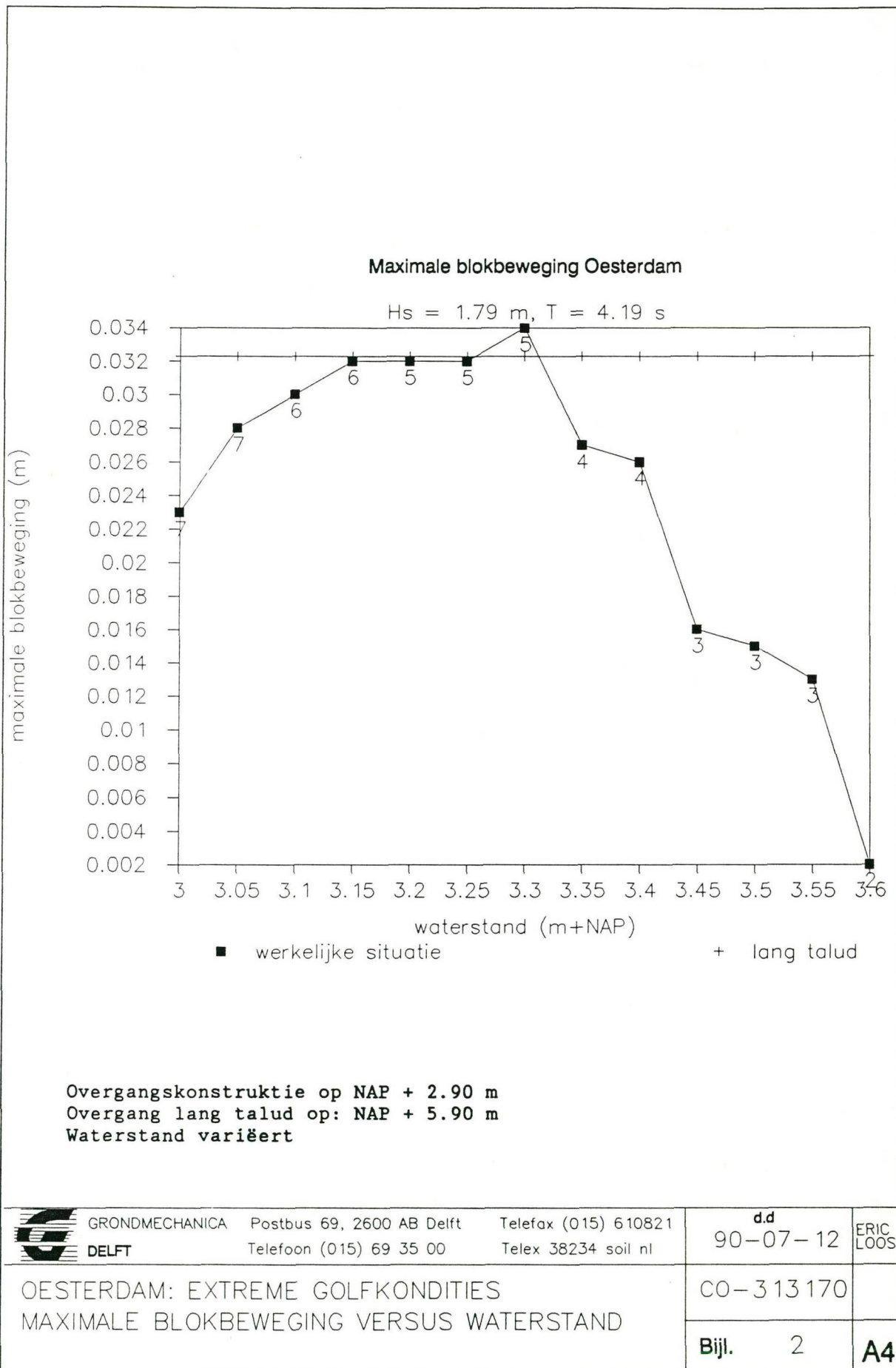
ERIC
LOOS

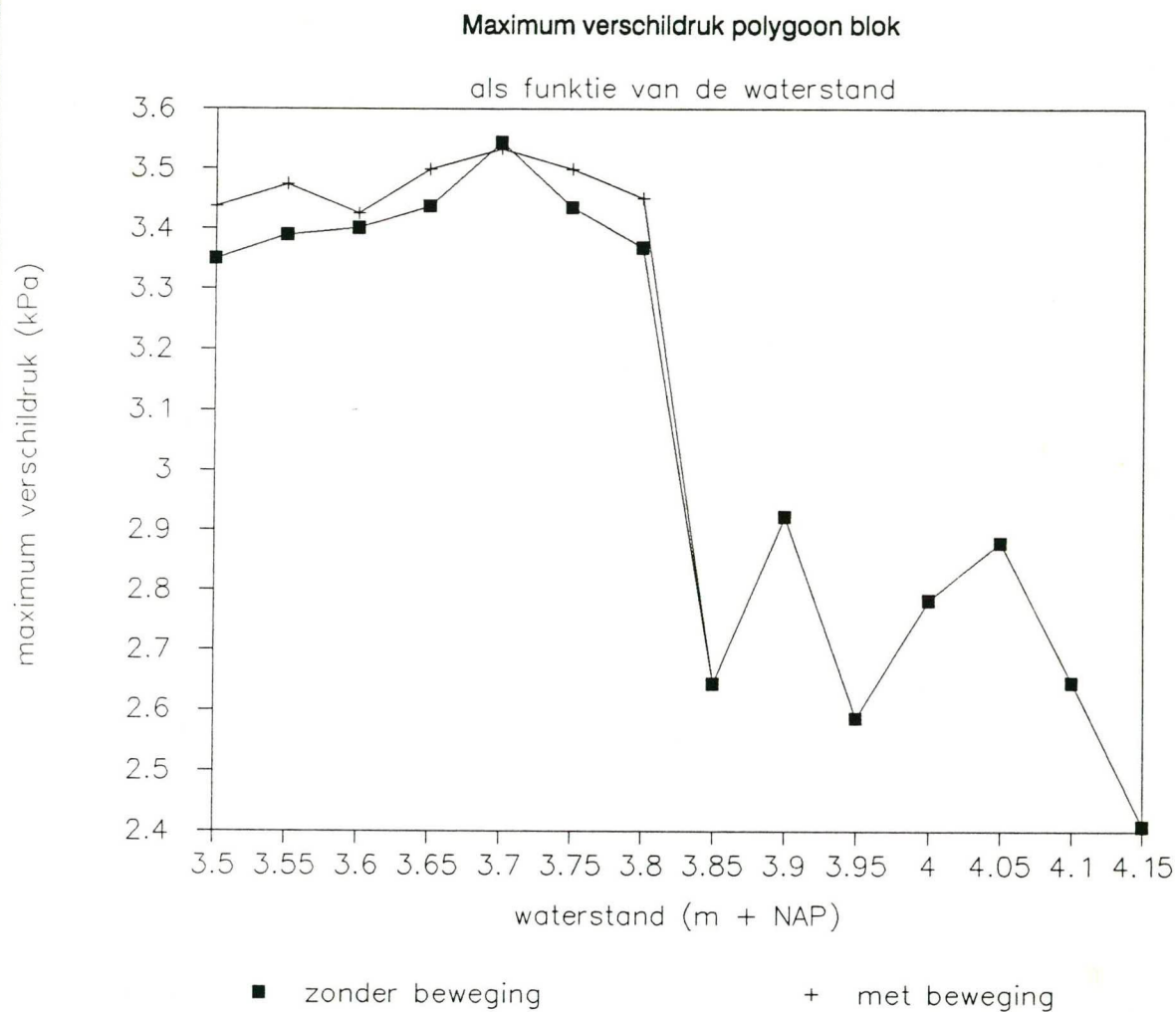
OESTERDAM: EXTREME GOLFKONDIETES
MAXIMALE VERSCHILDRUK VERSUS WATERSTAND

CO-313170

Bijl. 1

A4





Overgangskonstructie op NAP + 3.29 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

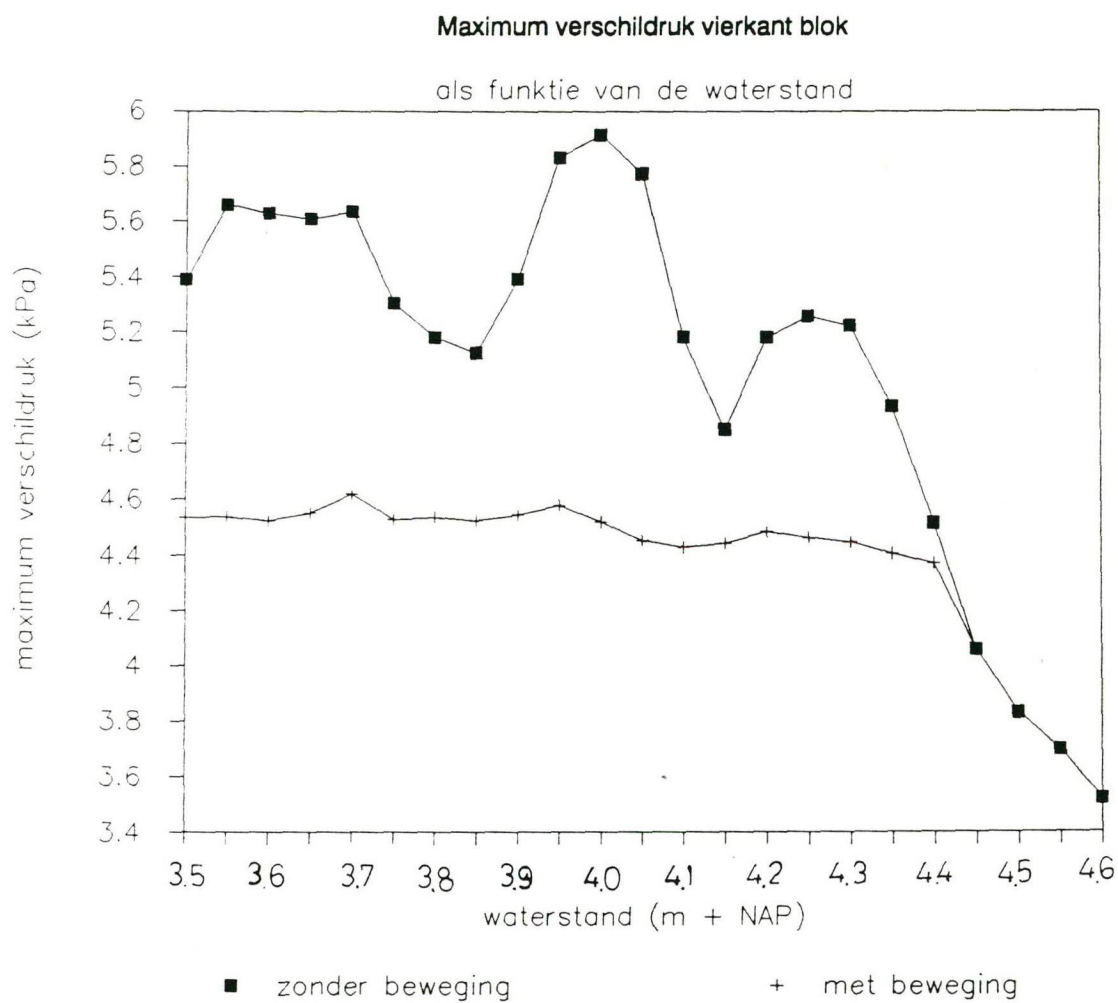
ERIC
LOOS

CASE STUDY
MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER POLYGOONBLOK

CO-313170

Bijl. 3

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.29 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

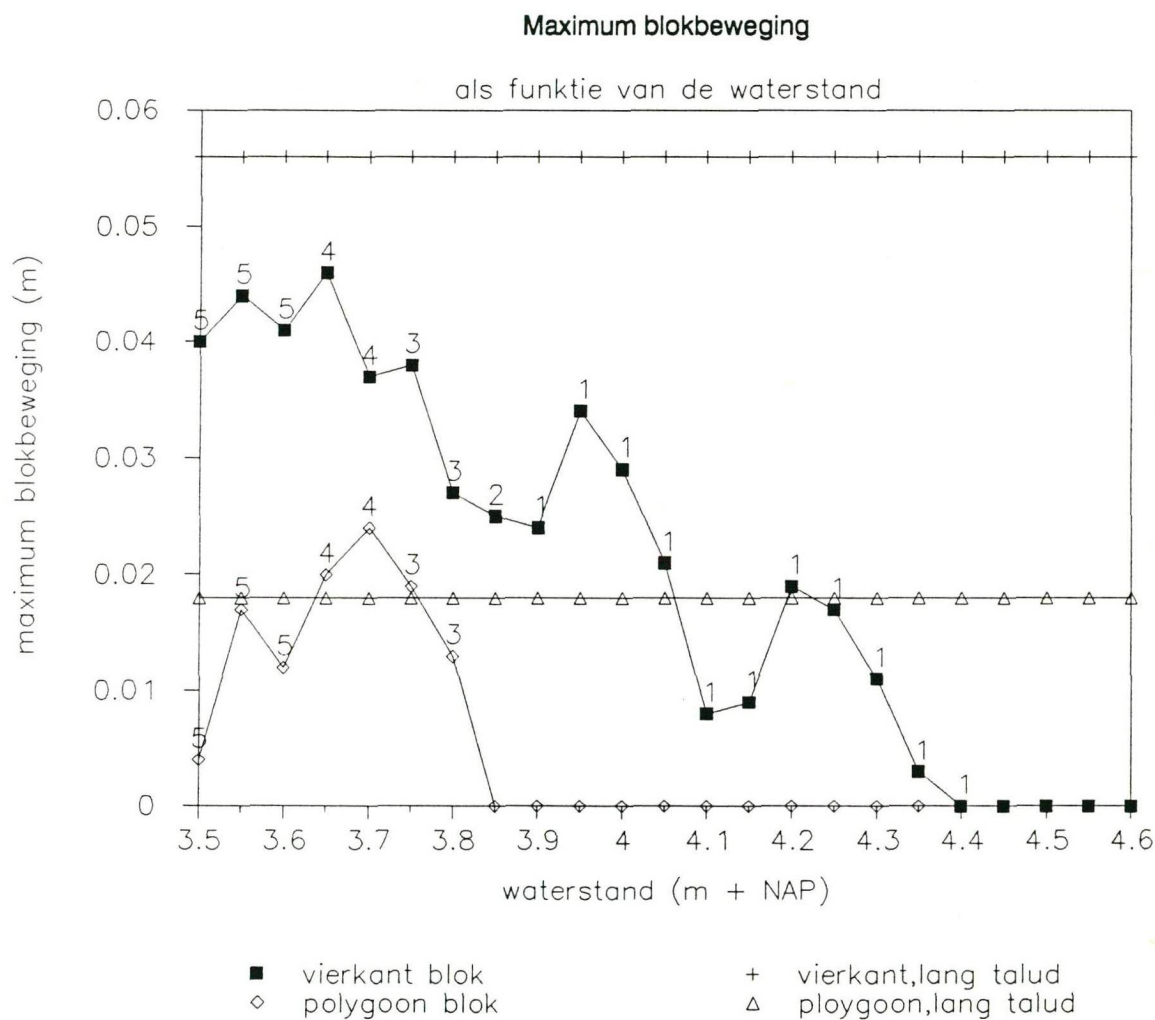
ERIC
LOOS

CASE STUDY
MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER VIERKANT BLOK

CO-313170

Bijl. 4

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.29 m
 Overgang lang talud op: NAP + 6.29 m
 Waterstand varieëert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

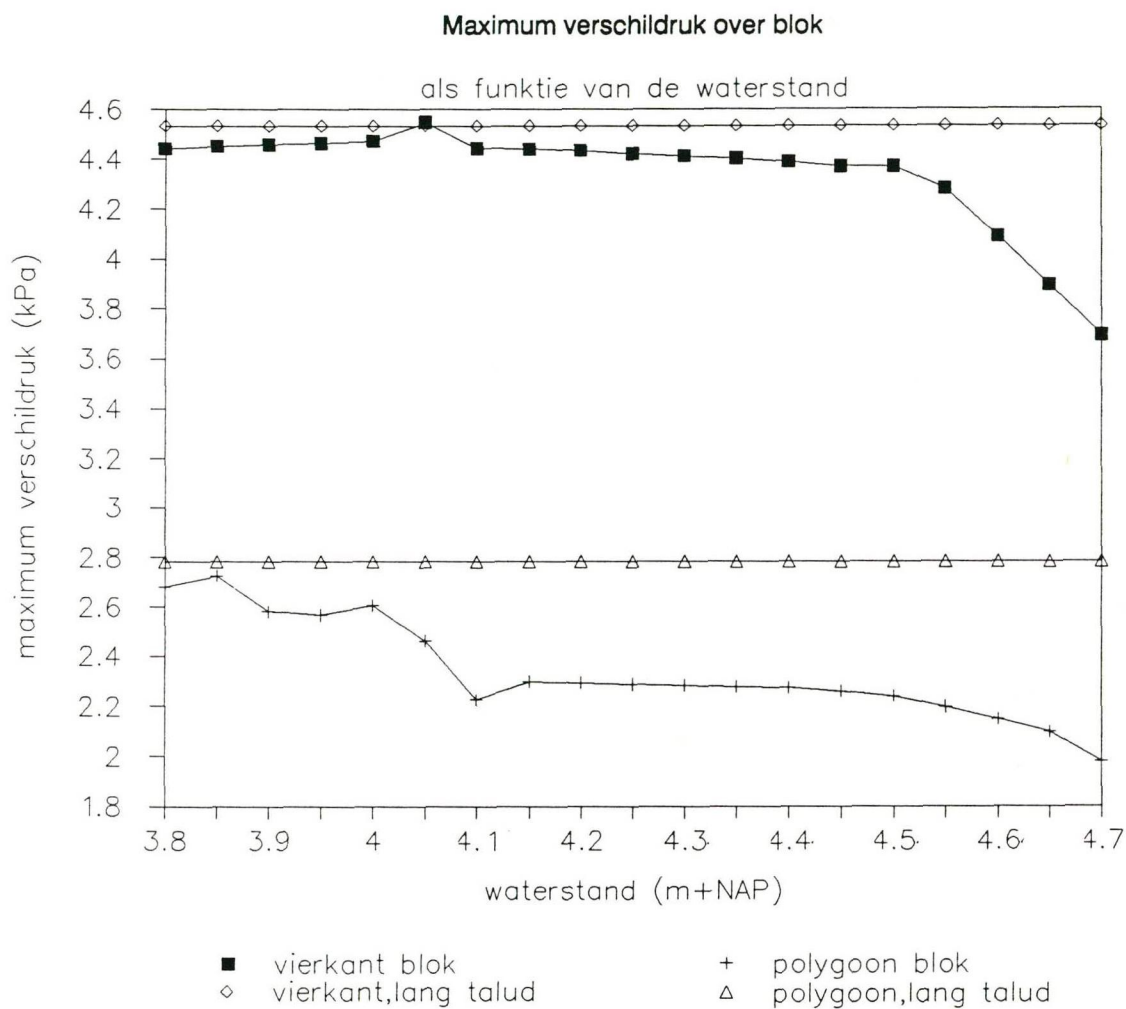
ERIC
LOOS

CASE STUDY
MAXIMUM BLOKBEWEGING

CO-313170

Bijl. 5

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.29 m
 Overgang lang talud op: NAP + 6.29 m
 Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

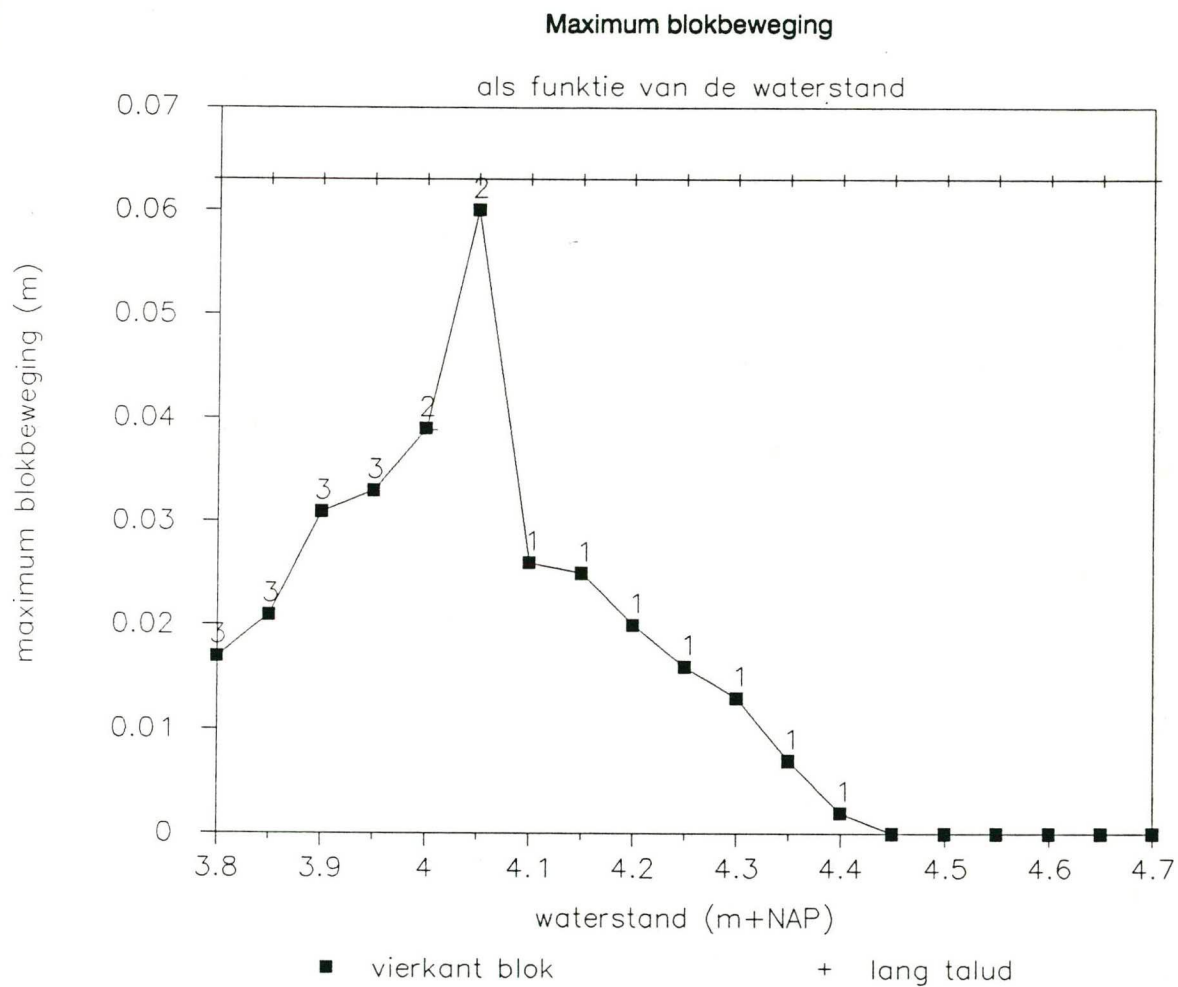
ERIC
LOOS

CASE STUDY: VARIËRENDE GOLFHOOGTE
 MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

CO-313170

Bijl. 6

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.29 m
 Overgang lang talud op: NAP + 6.29 m
 Waterstand varieëert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

ERIC
LOOS

CASE STUDY: VARIËRENDE GOLFHOOGTE
 MAXIMUM BLOKBEBEWEGING

Bijl. 7

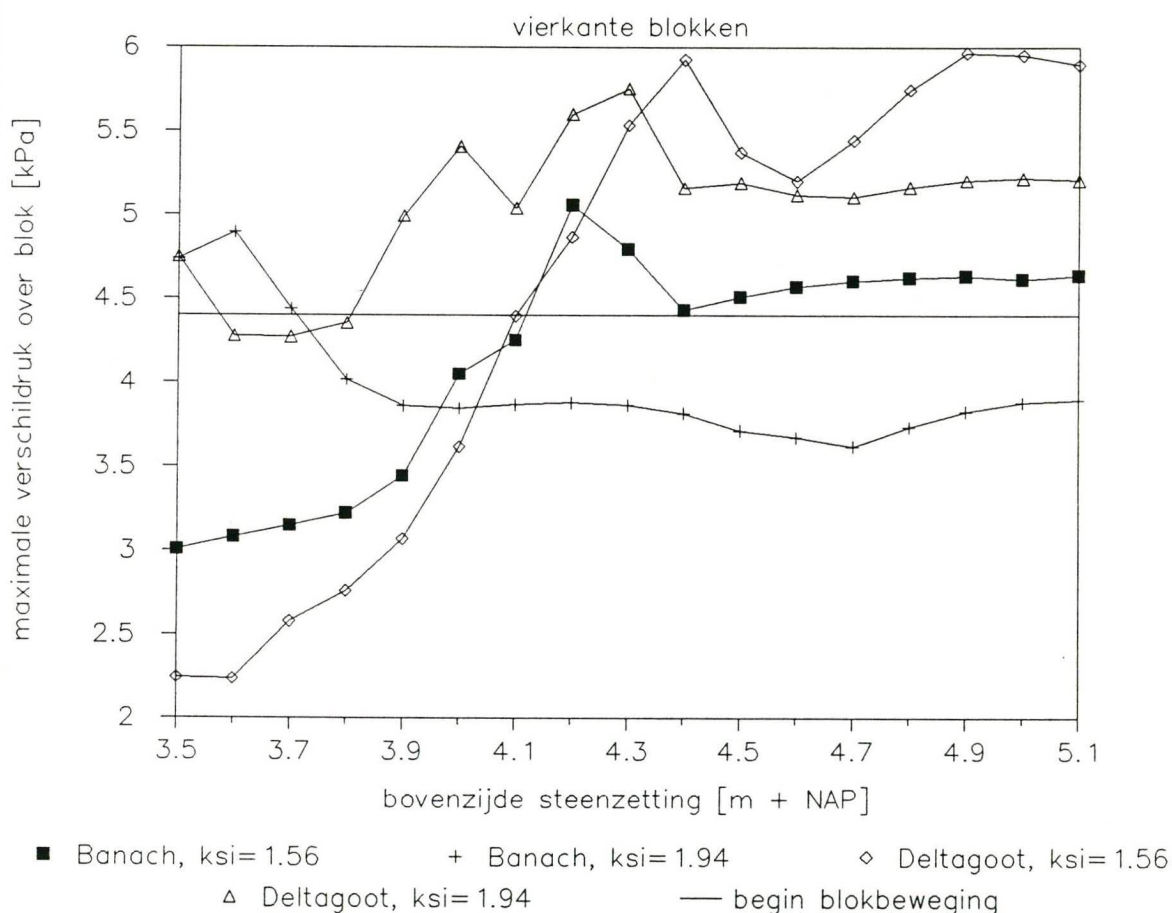
A4

als functie van de waterstand



A4

Vergelijking Banach en Deltagoot golven



Waterstand voor ksi = 1.56 is NAP + 4.85 m
 Waterstand voor ksi = 1.94 is NAP + 4.74 m
 Bovenzijde steenzetting varieert



GRONDMECHANICA

DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft

Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821

Telex 38234 soil nl

d.d

90-07-12

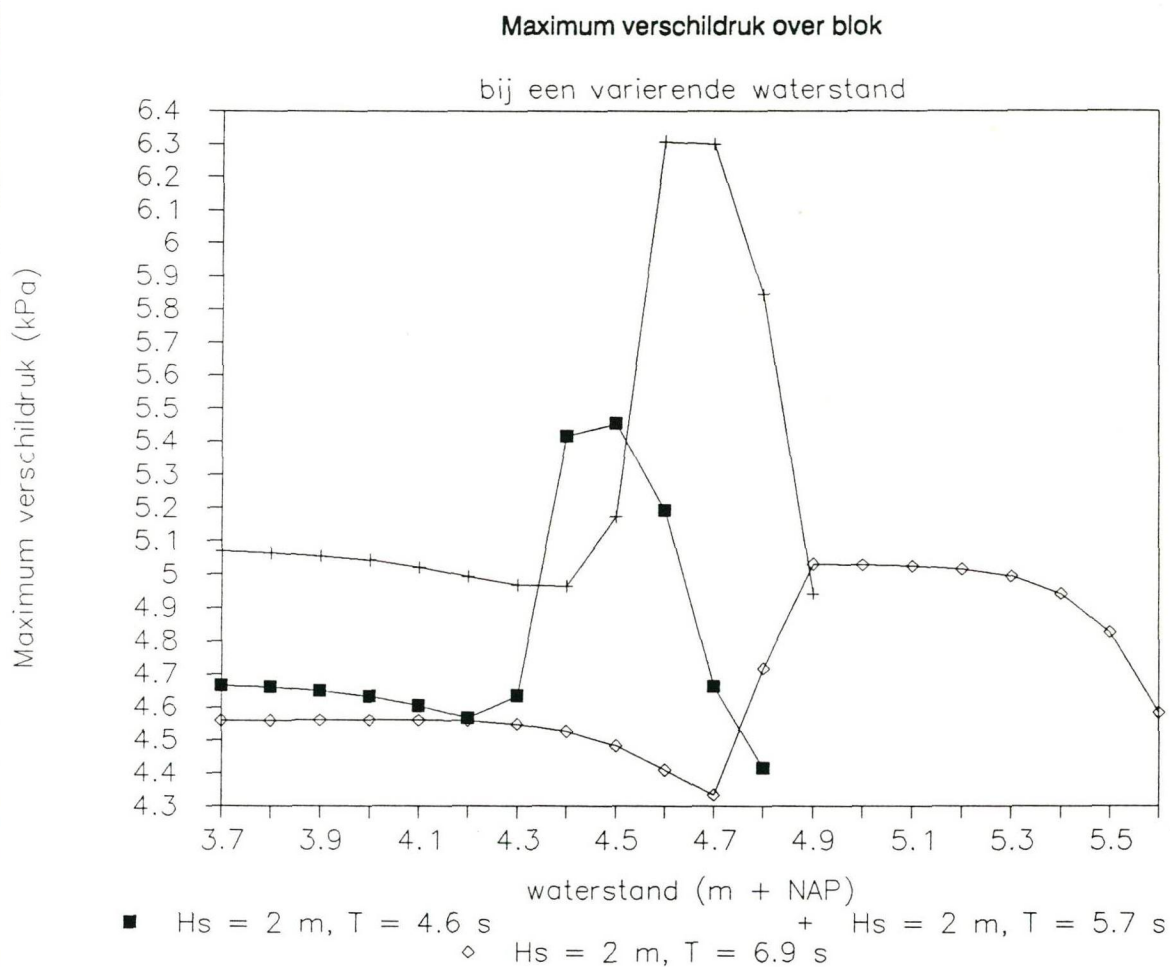
ERIC
LOOS

CASE STUDY: DELTAGOOT GOLVEN
 MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

CO-313170

Bijl. 9

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.30 m
Waterstand variëert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.

90-07-12

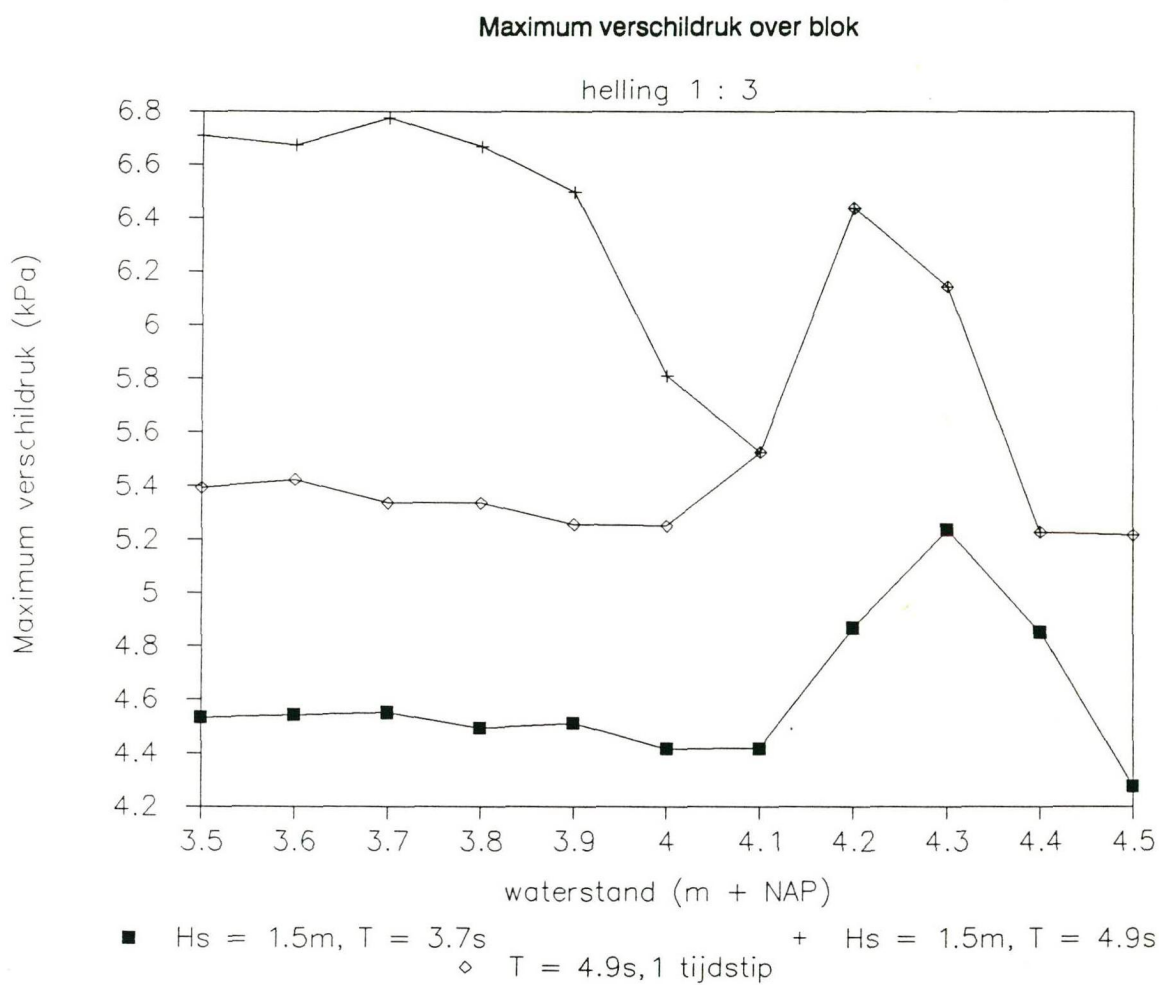
ERIC
LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: HELLING 1:4
MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

CO-313170

Bijl. 10

A4



Overgangskonstruktie op NAP + 3.30 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
 DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
 Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
 Telex 38234 soil nl

d.d.
 90-07-12

ERIC
 LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: HELLING 1:3
 MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

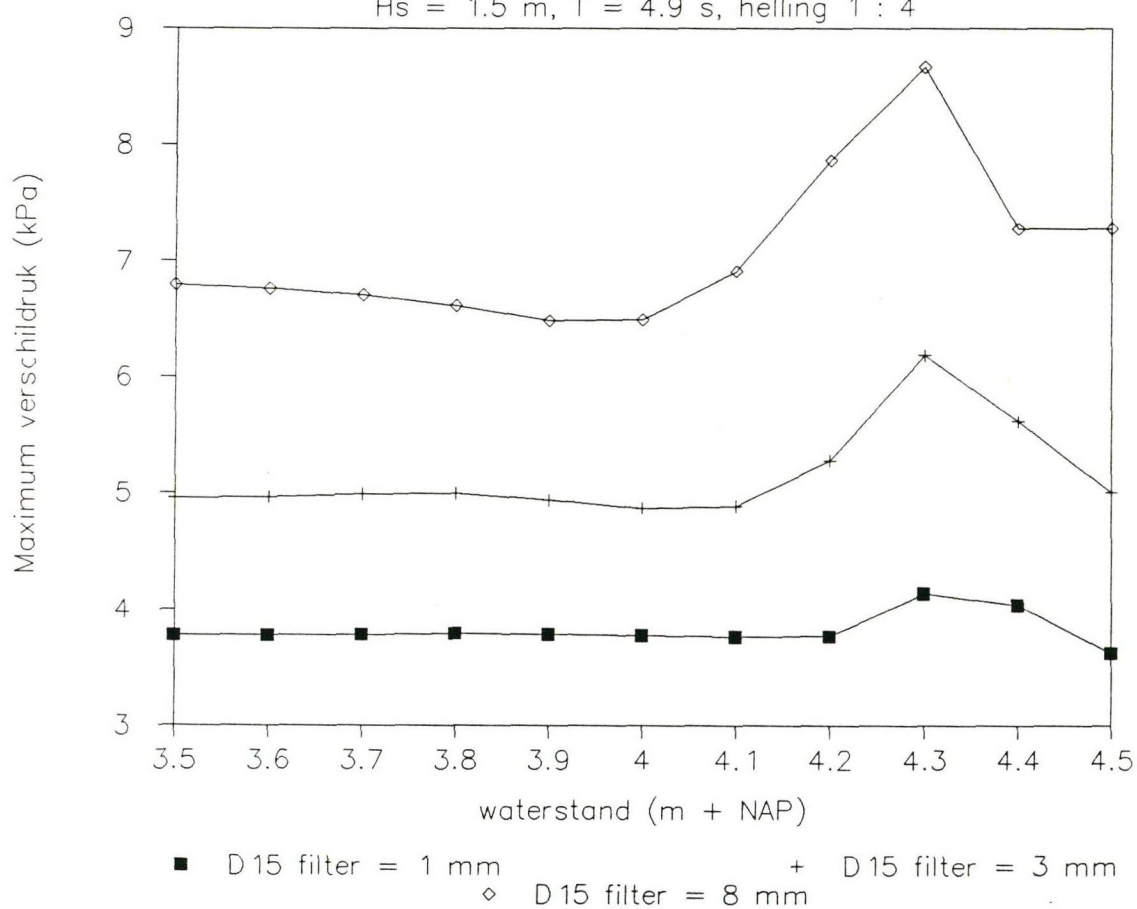
CO-3 13 170

Bijl. 11

A4

Maximum verschildruk over blok

Hs = 1.5 m, T = 4.9 s, helling 1 : 4



Overgangskonstruktie op NAP + 3.30 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

ERIC
LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: FILTERDOORLATENDHEID
MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

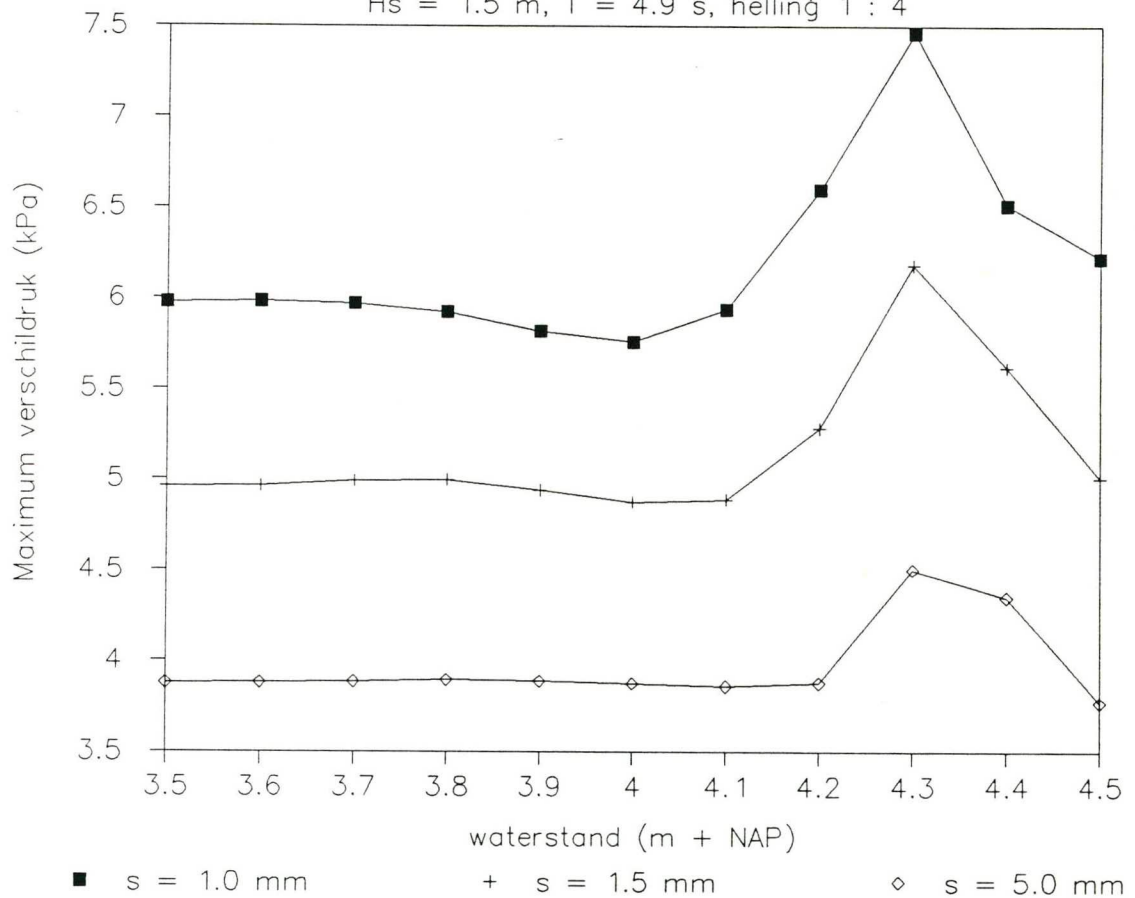
CO-313170

Bijl. 12

A4

Maximum verschildruk over blok

Hs = 1.5 m, T = 4.9 s, helling 1 : 4



Overgangskonstructie op NAP + 3.30 m
Waterstand varieëert



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

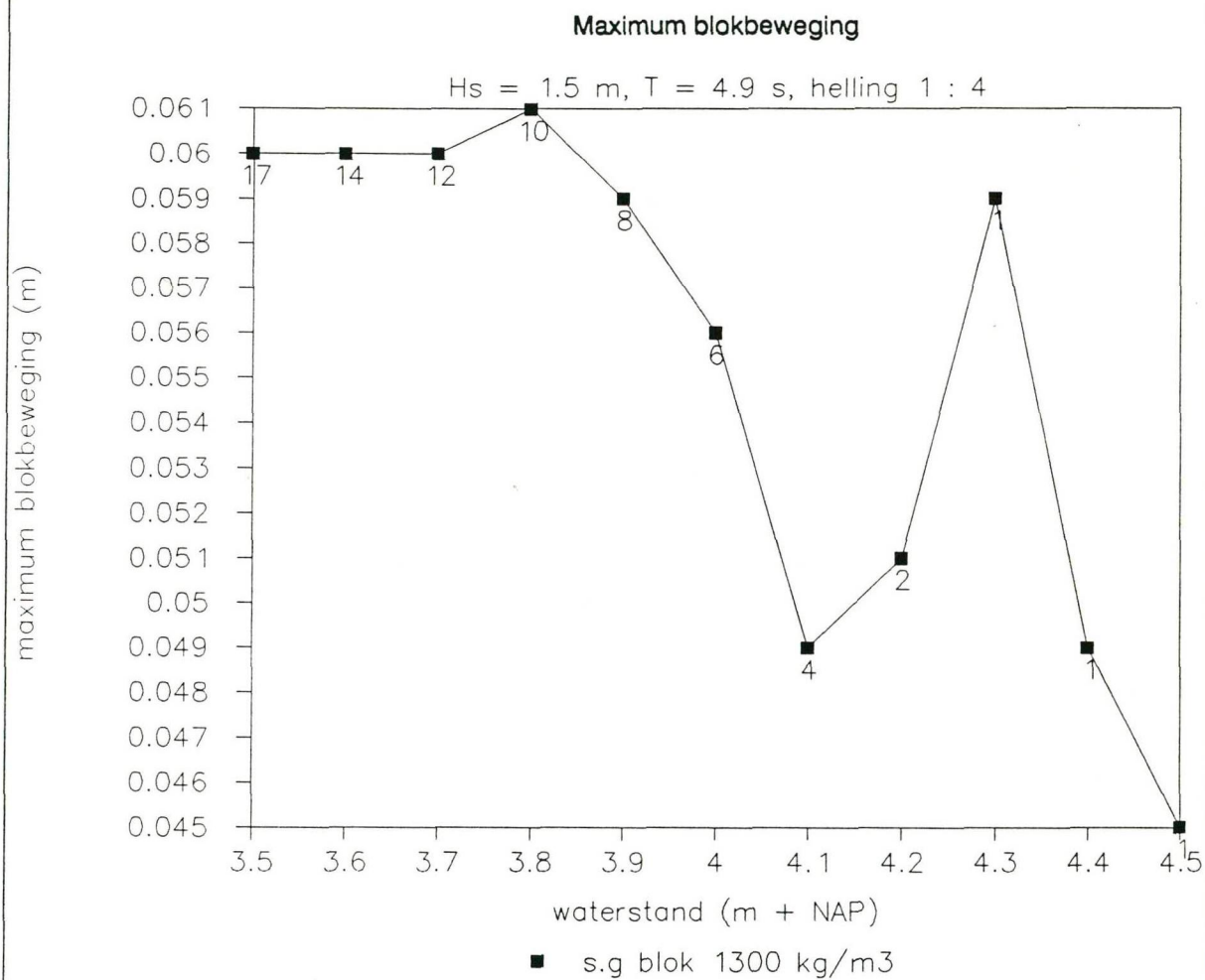
ERIC
LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: TOPLAAGDOORLATENDHEID
MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

CO-313170

Bijl. 13

A4



Overgangskonstructie op NAP + 3.30 m
Waterstand varieert



GRONDMECHANICA
 DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
 Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
 Telex 38234 soil nl

d.d.
 90-07-12

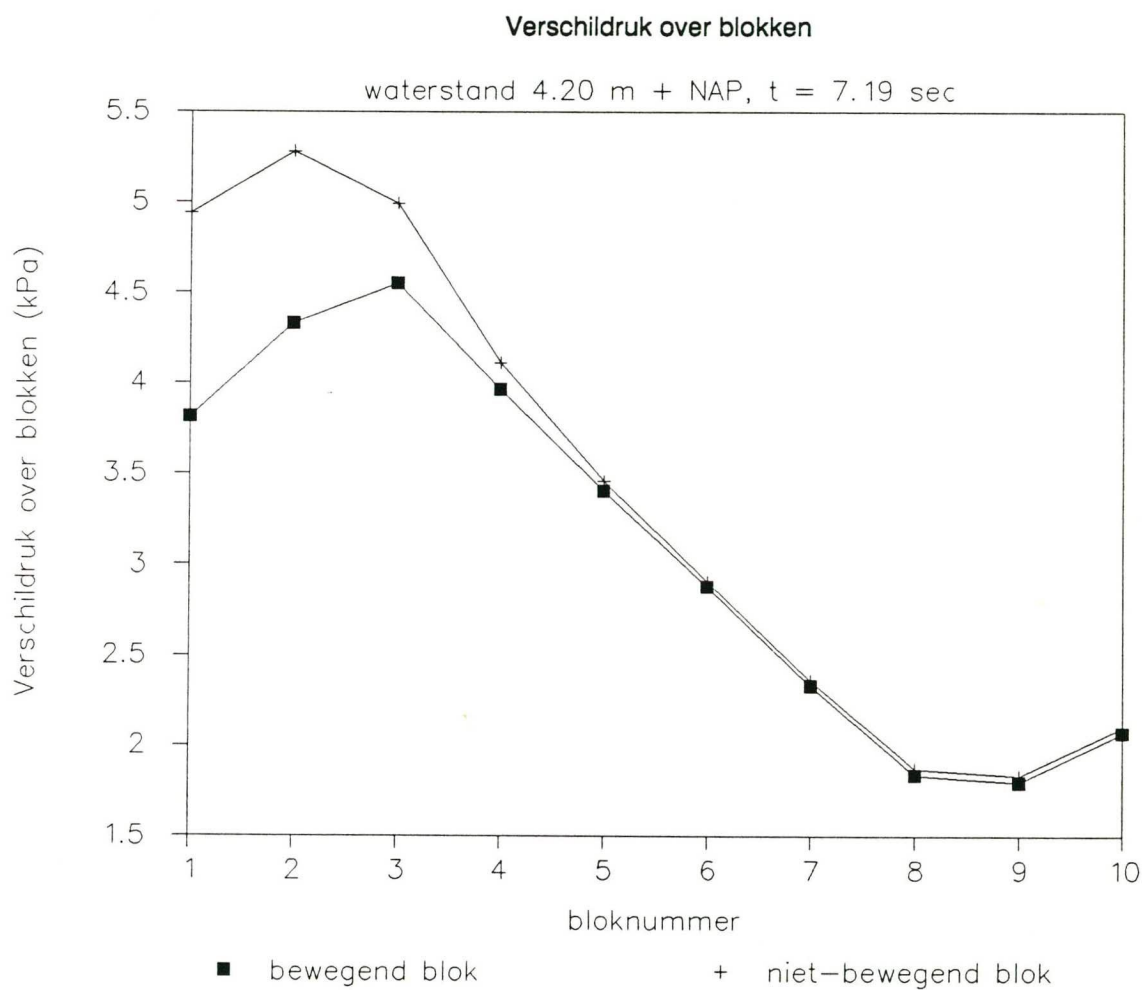
ERIC
 LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: BEWEGEND BLOK
 MAXIMUM BLOKBEWEGING

CO-313170

Bijl. 14

A4



Blok 1 op NAP + 3.30 m
 Blok 10 op NAP + 1.00 m



GRONDMECHANICA
 DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
 Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
 Telex 38234 soil nl

d.d.
 90-07-12

ERIC
 LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: BEWEGEND BLOK
 MAXIMALE VERSCHILDRUK OVER EEN BLOK

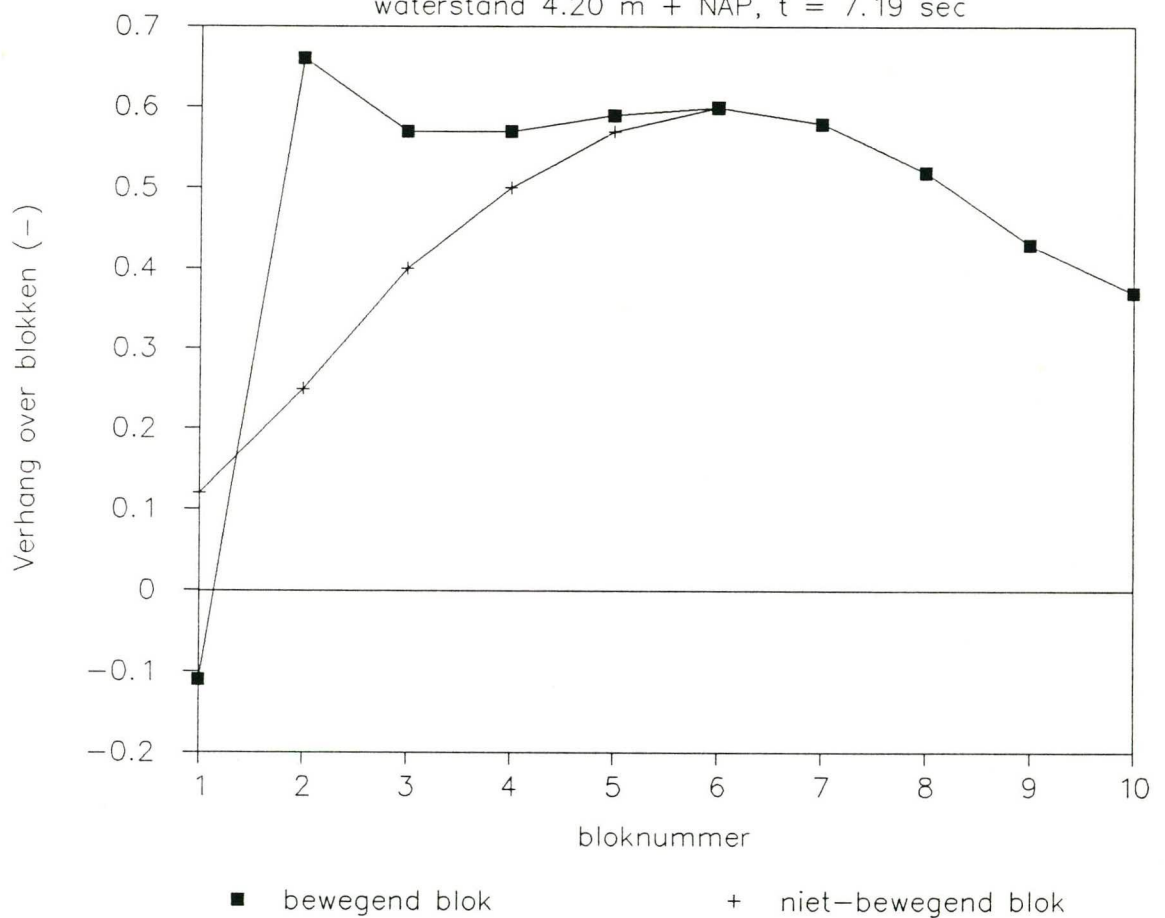
CO-313170

Bijl. 15

A4

Verhang over blokken

waterstand 4.20 m + NAP, t = 7.19 sec



Blok 1 op NAP + 3.30 m
Blok 10 op NAP + 1.00 m



GRONDMECHANICA
DELFT

Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon (015) 69 35 00

Telefax (015) 610821
Telex 38234 soil nl

d.d.
90-07-12

ERIC
LOOS

ZEEUWSE KONSTRUKTIE: BEWEGEND BLOK
VERHANGEN OVER BLOKKEN

CO-313170

Bijl. 16

A4

APPENDIX A

APPENDIX A

In deze appendix worden de modificaties aan de broncode van het programma STEENZET/1+ beschreven. Het gaat hierbij niet zozeer om de exacte code als meer om de manier waarop iets is veranderd. Er staat daarom weinig broncode in, en meer omschrijving.

Subroutine DRUKBEW

In de subroutine DRUKBEW wordt de berekening van de waterspanningen bij bewegende blokken uitgevoerd. Deze berekening vindt plaats in de vorm van vergelijking (13). Dit is een vergelijking in de onbekenden $F_{i(\pm 1)}^b$. De coëfficiënten van de $F_{i(\pm 1)}^b$, zoals kb en 2kbc, worden in de subroutine COEFBEW bepaald. Indien een bepaalde term door de ligging van het bewegende blok aan de einden van het talud niet meedoet bij de berekening van q, dan wordt in de subroutine COEFBEW de bijbehorende coëfficiënt op nul gesteld. Het voordeel van een aparte subroutine is dat de broncode in subroutine DRUKBEW overzichtelijk blijft. Dit idee is ook bij de berekening van de waterspanningen zonder bewegende blokken toegepast. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de subroutine COEFSTIL. Aan COEFSTIL is een parameter toegevoegd, die aangeeft of de freatische lijn op gelijke hoogte ligt als een spleet.

Subroutine STEENZ

In vergelijking (12) komen termen voor van het type:

$$\frac{\phi_{i-1} - \phi_i^b}{\Delta s \left[1 - \frac{\Delta x}{\Lambda} \right]}$$

Indien de lek lengte Λ van de orde van de helft van de lengte van een blok wordt, nadert de noemer van deze term naar 0. De watersnelheid nadert dan tot oneindig. Dit is niet reëel. Er zullen dus maatregelen moeten worden getroffen dat de noemer nul kan worden. Als de lek lengte van de orde van een halve steen lang wordt, is fysisch gezien, de schematisatie, die bij STEENZET/1+ wordt gebruikt, niet meer geldig. Immers de stenen zijn dan te groot geworden ten opzichte van de lek lengte. Ter herinnering: de schematisatie, die bij STEENZET/1+ wordt gebruikt, geldt slechts als de stenen klein zijn ten opzichte van de lek lengte.

In het verleden is dit probleem reeds onderkend. Daarom staat in subroutine STEENZ dat als de lek lengte Λ kleiner zou zijn dan $\frac{1}{2}\Delta x$, Λ gelijk wordt gemaakt aan de bloklengte Δx . Dit is bovendien een discontinue overgang voor de lek lengte. Daarom is deze opdracht nu als volgt veranderd: alleen als er met bewegend blok en toestroming wordt gerekend, wordt de lek lengte Λ gelijk gemaakt aan de steenlengte Δx , als $\Lambda < \Delta x$. Dit zorgt voor een continue overgang. Daarnaast wordt een waarschuwing afgedrukt, dat de uitkomsten van het model minder betrouwbaar zijn.

Subroutine DRUKMX(B)

Bij de berekeningen bleek dat er geen verschil is in de maximale verschildrukken met en zonder beweging. Dit klopt niet. Bij blokbeweging moet de verschildruk lager zijn, immers het blok wordt omhoog gedrukt, waardoor de druk onder het blok gelijk is aan de golfdruk op het blok vermeerderd met de druk overeenkomend met het eigen gewicht van het blok. De oorzaak van het ontbreken van verschillen in drukken is subroutine DRUKMX.

Om deze fout op te lossen, is er een kopie gemaakt, DRUKMXB, ten bate van de berekening van de grootste verschildrukken bij blokbeweging. De reden voor deze tamelijke ongebruikelijke gang van zaken is dat tussenresultaten (de grootste verschildrukken) in DRUKMX worden opgeslagen in lokale variabelen. Allereerst worden die lokale variabelen in DRUKMX gebruikt voor de opslag van drukken zonder blokbeweging. Als de routine opnieuw wordt aangeroepen, nu voor de berekening van de maximale verschildrukken bij beweging, worden de tussenresultaten van de berekening zonder blokbeweging gebruikt. De tussenresultaten worden dus voor zowel bewegende als stilstaande blokken gebruikt. Hierdoor is er geen verschil in drukken meer met of zonder beweging.

Subroutine FRESTAT

Voor de berekeningen van de drukken in het talud is het nodig dat bekend is waar de freatische lijn in het filter ligt. Als met de berekeningen wordt gestart, is de hoogte van de freatische lijn in het talud nog niet op voorhand bekend. Er is echter wel een eis, waaraan de plaats van de freatische lijn moet voldoen. Deze eis is dat er tijdens bijvoorbeeld twee volle perioden van een golf gemiddeld gezien geen water het talud in of uit mag stromen. Om aan deze eis te voldoen, kan worden aangenomen dat de freatische lijn bij het begin van de berekening ergens ligt, op een zekere hoogte H . Tijdens twee perioden van de golf wordt vervolgens nagegaan hoeveel water er het talud in of uitstroomt. Zolang er nog water in- of uitstroomt, ligt de freatische lijn nog niet op de juiste plaats. Via een iteratief proces moet de juiste ligging van de freatische lijn worden gevonden.

Het oude iteratieproces ging als volgt. Als er tijdens de twee golfperiodes gemiddeld gezien water het talud instroomt, moet de waarde van de freatische lijn worden verhoogd. Voor de berekening van de hoe

veelheid uitstromend water is de functie WATRUIT (WAT ER UIT) geschreven. Uit die hoeveelheid wordt een correctie, ΔH , berekend, die aangeeft hoeveel hoger de freatische lijn moet komen te liggen. De verwachting is dat bij deze schatting van de plaats van de freatische lijn, $H + \Delta H$, er minder water het talud zal instromen, hetgeen tot een kleinere verhoging van de freatische lijn aanleiding zal geven. De bedoeling is dat dit proces convergeert.

Als daarentegen er tijdens de twee perioden water uit het talud stroomt, ligt de freatische lijn juist te hoog. Uit de hoeveelheid uitstromend water wordt de correctie, ΔH , berekend, die aangeeft hoeveel lager de freatische lijn moet komen te liggen. Het doel hiervan is dat bij benadering in de volgende iteratiestap de hoeveelheid uitstromend water nul zou moeten zijn.

Dit proces blijkt echter niet altijd even goed te convergeren. De oplossing voor de slechte convergentie is echter zeer simpel. Het eigenlijke probleem, dat moet worden opgelost, is: vindt het nulpunt van een niet-lineaire functie. De oplossingsmethode gaat met bisectie. Bij bisectie wordt het nulpunt van de gezochte functie, hier de plaats van de freatische lijn, ingeklemd tussen twee grenzen. Tijdens het iteratieproces komen die grenzen door halvering van het interval tussen de twee grenzen steeds dichterbij elkaar te liggen. Bij de aanvang van het iteratieproces wordt als bovengrens voor het interval de hoogte van het hoogste blok genomen. De ondergrens wordt gelijkgesteld aan de stilwaterlijn. Bij de berekening van de hoeveelheid uit het talud stromend water moet er op beide grenzen zowel een positieve waarde als een negatieve waarde voorkomen. Indien dit niet het geval is, dan ligt de freatische lijn niet in het gedeelte van het talud waar de blokken liggen. De geometrie is dan verkeerd gekozen. De bisectie methode werkt uitstekend. In een gering aantal stappen wordt het nulpunt van de functie gevonden. Er wordt gestopt als de boven- en ondergrens van

het interval, waarin de freatische lijn moet liggen, kleiner is dan 0,1 mm. Het aantal benodigde iteraties bleek bij de berekeningen voor een taludhoogteverschil van 2 meter is altijd kleiner dan 20. Dit klopt ook met hetgeen wordt verwacht: $\ln(2)/\ln(5 \times 10^{-5}) \approx 15$ stappen.

Subroutine MGOLF

Bij sommige berekeningen bleek dat er op het talud in het gebied boven de RUNUP schijnbaar nog water op het talud staat. Dit sijpelt gedurende de gehele periode nog in. Hierdoor komt de freatische lijn onrealistisch hoog te liggen. De oorzaak van het water op het talud is de waarde, die een waterspanningsmeter als nulwaarde aangeeft. Deze is niet precies gelijk aan nul. Ondanks de calibratie wordt dit effect niet voorkomen. Nuldrift van de opnemers is waarschijnlijk de oorzaak. De oplossing is dat de spleten, die boven de RUNUP liggen, worden genuld. Er kan dan geen water meer naar binnen stromen. Dit wordt in subroutine MGOLF geregeld.

Subroutine WRPLOT

Bij de hoogte plotjes worden er gegevens van AANTAL blokken geplot. Dit is echter niet juist. Er zijn AANTAL spleten, waartussen AANTAL-1 blokken liggen. Hierdoor is de laatste kolom met plotgegevens altijd nul. Dit is in subroutine WRPLOT aangepast.

bladnummer : - A6 -
ons kenmerk: CO-313170/2
datum : juli 1990

MODIFICATIES AAN BANBASE

Door de veranderingen die in STEENZET/1+ zijn uitgevoerd, was het in sommige gevallen ook noodzakelijk het BANACH golfbestandenprogramma aan te passen.

Subroutine GEOMAANP

Bij het lezen van de drukopnemers trad een fout op. De oorzaak is gelegen in de interpretatie van de extra gegevens. De kop van een BANBASE beschrijvingsbestand bestaat uit 4 regels tekst en 5 regels calibratiegegevens over de golfhoogtemeters. Tot nu toe werd de volgorde van de waterspanningsmeters altijd na de calibratiegegevens opgegeven. De volgorde van de calibratie van de opnemers echter is bij de Banach golven altijd eerst de golfhoogtemeters, gevolgd door de waterspanningsmeters. Uit de derde regel uit de kop kan worden bepaald hoeveel opnemers er zijn. Dit is nu zo in de beschrijvingsbestanden aangegeven. Verbeteringen hiermee verband houdend zijn tevens in subroutine GEOMAANP van BANBASE doorgevoerd.

Subroutine ZOEKBASE

Er treden nog meer golfproblemen op. In de tot nu toe weinig gebruikte golven op talud 1 : 4 staan in het beschrijvingsbestand te veel opnemers vermeld. De bestanden BANACH41 en BANACH42 zijn één respectievelijk twee regels ingekort. De periode van de golven RM401 t/m RM405 is in de BANACH tabel aangegeven als 4,58 s. Bij nadere beschouwing van de meetgegevens blijkt echter dat deze tijd niet correct is. De periode van de golf blijkt 4,54 s te zijn in plaats van 4,58 s.

Ook bij de bepaling van de golf uit het BANACH bestand, waarvan de golfsteilheid zo goed mogelijk moet overeenstemmen met de golfsteilheid van een opgegeven golf, gaat iets mis. Als de opgegeven golf een copie is van een golf, die in het BANACH bestand voorkomt, wordt een andere dan het origineel, dus een verkeerde golf geselecteerd. De oorzaak hiervan is dat in subroutine ZOEKBASE werd geëist dat de golfsteilheid van de opgegeven golf tussen waarden van de golfsteilheid van twee golven uit het BANACH bestand moet liggen. Dit is nu zodanig veranderd, dat de golfsteilheid van de opgegeven golf niet alleen tussen die van twee golven uit het BANACH bestand moet liggen maar ook daaraan gelijk mag zijn.

