

# Stabiliteit van zandgevulde geotextiele tubes onder golfaanval



Ir. Paul van Steeg  
Deltares



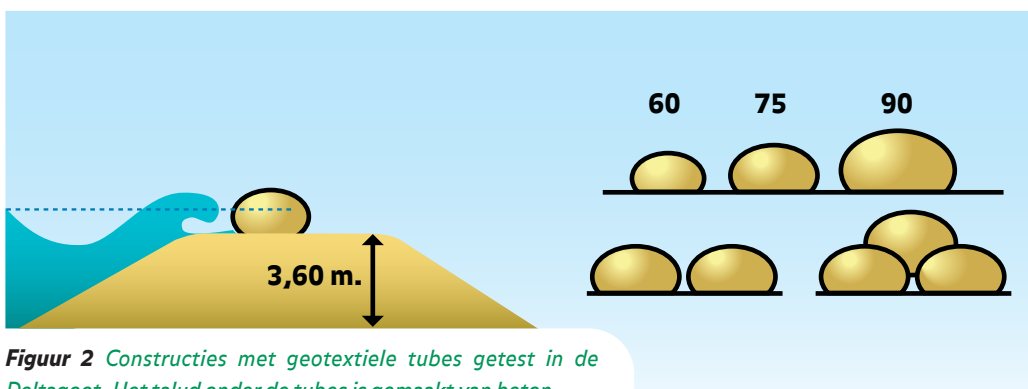
Ing. Erik Vastenburg  
Deltares



Dr. Ir. Adam Bezuijen  
Deltares



Figuur 1 Golfaanval op stapeling met 3 tubes.



Figuur 2 Constructies met geotextiele tubes getest in de Deltagoot. Het talud onder de tubes is gemaakt van beton.

## Opzet onderzoek

In het Deltagoot onderzoek is de stabiliteit van zandgevulde geotextiele tubes onderzocht alsof deze de top vormden van een constructie onder golfaanval. Eerst is in de goot een basisconstructie aangebracht van beton, daarop zijn een, twee of drie geotextiele tubes geplaatst, zie *figuur 2*.

Tijdens de proeven varieerde de grootte en vulgraad van de tubes. De waterstand was altijd gelijk aan de bovenkant van de onderste tube. Bij de testconfiguratie van een of twee tubes was de waterstand dus gelijk aan de bovenkant van de constructie. Bij drie tubes, waarbij de bovenste tube op de onderste twee tubes ligt, steekt de bovenste tube dus boven water, zie *figuur 3*.

Tijdens de proeven bleek dat de geotextiele tubes onder golfaanval gemakkelijk verschoven over de relatief gladde bovenkant van de betonnen basisconstructie. In werkelijkheid zullen deze tubes nooit op een dergelijke gladde constructie liggen, maar bijvoorbeeld op andere tubes of op zand gevulde geotextiele containers. Door de ronde vorm van de onderliggende tubes zal de daarboven gelegen tube, welke door de golven wordt aangevallen, in een kuil liggen tussen de toppen van de onderliggende tubes. Dit is gesimuleerd door bij enkele proeven een klein talud van hout aan de landwaartse zijde aan te brengen die het verschuiven naar achteren moeilijker maakt. De lengte van de tubes was gelijk aan de inwendige breedte van de golfgoot. Om de wrijvingskrachten tussen de gootwand en de tubes te minimaliseren zijn gladde houten (Betonplex) platen aan de gootwanden bevestigd.

## Samenvatting

In 2007 en 2008 zijn in de Deltagoot van Deltares grootschalige experimenten uitgevoerd, waarin de stabiliteit van zandgevulde geotextiele tubes en containers onder golfaanval is onderzocht. Deze experimenten zijn beschreven in een eerder

artikel (Bezuijen & van Steeg, *Geokunst* nummer 2, april 2009). Ondertussen zijn de resultaten van de Deltagootproeven uitgewerkt en geanalyseerd. In dit artikel worden de proeven met betrekking tot de stabiliteit van geotextiele tubes kort samengevat en wordt behandeld hoe de stabiliteit hiervan kan worden berekend.

De proeven zijn uitgevoerd met onregelmatige golven (JONSWAP spectrum, zoals aan de Nederlandse kust wordt gemeten). De golfsteilheid (gebaseerd op de piekperiode) aan de teen van de constructie bedroeg 4%. Op diep water varieerde deze tussen de 2.3 en 4.0 %, afhankelijk van de golfhoogte. Na circa 1000 golven werd de positie en geometrie van de geotextiele tube opnieuw ingemeten, waarna de belasting werd verhoogd voor een volgende testserie. Deze procedure herhaalde zich totdat bezwijken werd vastgesteld. Het resultaat van de proeven op het gebied van stabiliteit is dus een relatie tussen significante golfhoogte en (mogelijke) verschuiving van de tube na 1000 golven.

## Stabiliteit van zandgevulde geotextiele elementen

### LITERATUUR

In het verleden zijn al vaker proeven uitgevoerd op zandgevulde geotextiele elementen. De oudst bekende proeven dateren uit 1968 (Venis 1968). Aan de hand van deze proeven zijn eenvoudige stabiliteitsrelaties opgesteld. Er werd voornamelijk gekeken naar een karakteristieke afmeting van

het element ( $L_t$ ). De stabiliteit van het geotextiele element onder golfaanval werd weergegeven in de volgende relatie:

$$\frac{H_s}{\Delta L_t} = \alpha$$

Met  $H_s$  de significante golfhoogte en  $\Delta$  de relatieve dichtheid van de tube onder water ( $=(\rho_{\text{tube}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}}$ , waarbij  $\rho_{\text{tube}}$  en  $\rho_{\text{water}}$  de volumieke massa is van respectievelijk de met zand met water gevulde tube, en het water). Afhankelijk van de auteur wordt voor  $L_t$  de hoogte of de breedte van het element genomen. Voor  $\alpha$  zijn waarden tussen 1 en 2 gevonden voor een nog juist stabiele constructie (zie ook Pilarczyk, 2000). Hierbij wordt aangenomen dat het element niet vervormt onder de golfaanval, een voorwaarde hiervoor is een relatief hoge vullingsgraad (Deltares, 2010).

Het onbevredigende in deze formule is dat deze afhankelijk is van de hoogte óf de breedte van de tube, terwijl het aannemelijker is dat beide parameters een invloed hebben. In Van Steeg en Klein Breteler (2008) wordt  $L_t$  uitgedrukt als functie van de breedte (B) en hoogte (D) van het element:

$$L_t = \sqrt{BD}$$

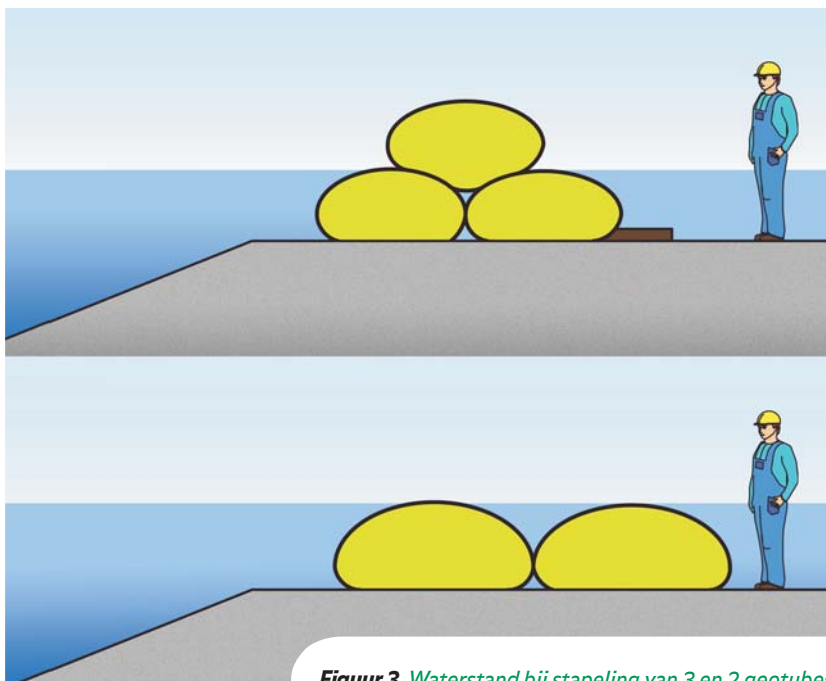
## RESULTATEN METINGEN

### Stabiliteit van een enkele zandgevulde geotextiele tube

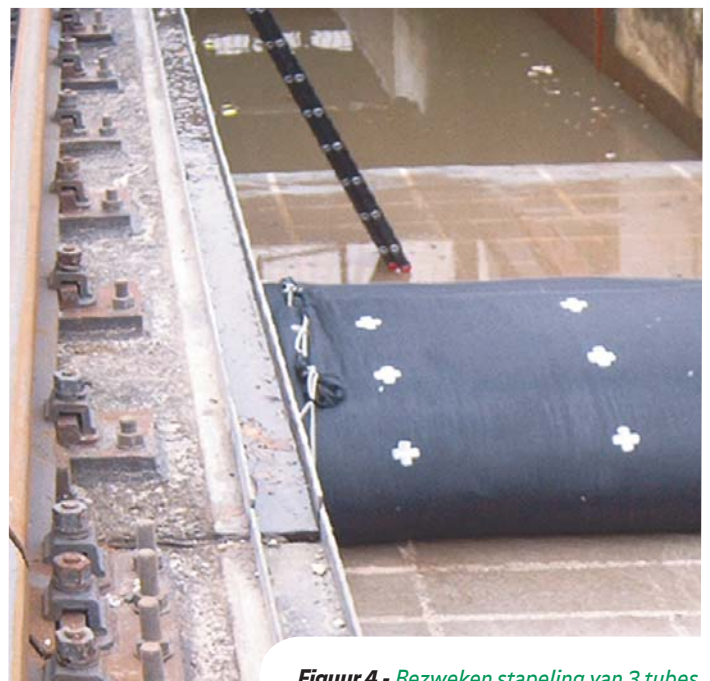
Voordat de testen in de Deltagoot werden uitgevoerd was de verwachting dat, behalve de golfhoogte ( $H_s$ ), de afmetingen ( $L_t$  of B en D) en de relatieve dichtheid ( $\Delta$ ) van de geotextiele elementen, nog andere aspecten een rol zouden spelen bij de stabiliteit onder golfaanval. Uit de metingen bleek dat nog andere aspecten, die niet in de relatief eenvoudige stabiliteitsformules, zoals gegeven in de literatuur, een rol spelen. Deze aspecten zijn:

- manier van stapeling van de tubes;
- mate waarin de golfenergie wordt opgenomen in de stapeling (een hoge golf zal maar voor een deel zijn energie overgeven aan de tube, een deel zal er simpelweg overheen slaan, zonder de tube te belasten);
- wrijving met de ondergrond.

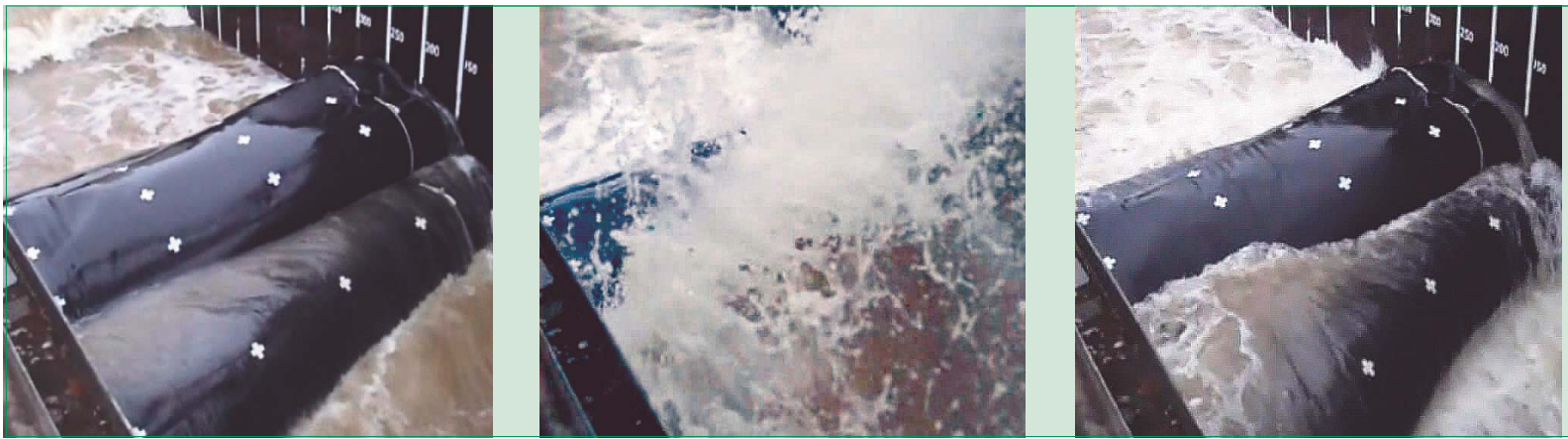
Het meenemen van deze aspecten maakt de stabiliteitsformule ingewikkelder, maar ook betrouwbaarder. De algemene formules (Van Steeg & Vastenburg, 2010) zijn wat gecompliceerd, daarom is op basis daarvan een eenvoudige formule afge-



Figuur 3 Waterstand bij stapeling van 3 en 2 geotubes.



Figuur 4 - Bezweken stapeling van 3 tubes.



leid die alleen geldig is voor de volgende situatie: De stabiliteit van één zandgevulde geotextiele tube op een ondergrond, waarbij de gemiddelde waterstand gelijk is aan de bovenkant van de tube en  $H_s/D$  is groter dan 1. Verder wordt gesteld dat de tube stabiel is, wanneer deze niet meer dan 5% van de breedte van de tube horizontaal beweegt. Er dient opgemerkt te worden dat tubes tijdens de testen alleen bezweken doordat horizontale afschuiving plaatsvond. Andere mechanismen, zoals rollen, rupsen of significante vervorming, bijvoorbeeld door interne zandmigratie, van het element, zijn niet opgetreden. Voor die situatie kan worden afgeleid dat de geotextiele tube stabiel is, als aan het volgende criterium wordt voldaan:

$$\frac{C\sqrt{H_s}}{\Delta\sqrt{B}(f\cos\alpha + \sin\alpha)} \leq 0,65$$

Waarin C een constante is die afhankelijk is van de brekerparameter ( $\xi_p$ ). De constante C varieert tussen 0,5 en 0,65 en wordt hier voor de eenvoud op een bovengrenswaarde van 0,65 gesteld.  $H_s$  is de significante golfhoogte, B de breedte van de geotextiele tube,  $\Delta$  de relatieve dichtheid van de tube en  $\alpha$  de hoek die de ondergrond maakt met de horizontaal (positief te kiezen als de kant waar de golven vandaan komen het laagst is) en f de wrijvingscoëfficiënt tussen twee tubes. Voor een vlakke ondergrond ( $\alpha=0$ ) en  $C = 0,65$ , is deze formule nog verder te versimpelen tot:

$$\frac{1}{\Delta}\sqrt{\frac{H_s}{B}} \leq f$$

Deze formule lijkt veel op de eerder gegeven formules uit de literatuur. Echter, deze formule geldt voor een specifieke situatie. De hoogte van de tube D zit voor dit speciale geval niet meer in de formule, omdat een hogere tube zorgt voor meer stabiliteit (tube is zwaarder), maar ook voor een grotere hoogte waar de golfdruk op werkt. Deze effecten blijken elkaar hier op te heffen. Uit de formule blijkt duidelijk (zoals ook in de proeven is gevonden) dat de wrijvingsweerstand met de

ondergrond een grote invloed heeft op de resultaten. Wanneer de wrijving 2 keer zo groot wordt, is de toelaatbare golfhoogte 4 keer zo groot. Het is dus van belang om voor een goede wrijving tussen de tube en de ondergrond te zorgen. Daarbij dient men er op attent te zijn dat, indien een zeer grote wrijving aanwezig, het mechanisme afschuiving mogelijkwijs niet meer maatgevend is en een ander mechanisme dominant wordt. Te denken valt aan rollen, interne vervormingen, scheuren van het geotextiel et cetera.

#### Stabiliteit van twee achter elkaar geplaatste zandgevulde geotextiele tubes

Twee naast elkaar gelegen geotextiele tubes, met een gemiddeld waterniveau gelijk aan de bovenkant van de tubes bleken niet stabiel dan een enkel geplaatste geotextiele tube. Opmerkelijk is dat de achterste tube (gezien vanuit de richting van de golfaanval) horizontaal afschuift. Het blijkt dat er tussen de twee tubes tijdens golfaanval een vrij hoge waterstand kan zijn terwijl aan de achterkant van de achterste tube de waterstand nog laag is. Daarnaast kwam veel van de golfenergie van de brekende golven tussen de twee tubes in. Het gevolg hiervan is dat de achterste tube naar achteren wordt gedrukt.

#### Stabiliteit van drie geplaatste zandgevulde geotextiel tubes (2-1 stapeling)

Bij een derde serie testen zijn twee geotextiele tubes achter elkaar geplaatst met een derde tube hier boven op. Aan de landwaartse zijde van de landwaarts gelegen tube is een drempel geplaatst. De stabiliteit van de constructie bleek fors hoger dan een enkel geplaatste tube. Omdat de bovenste geotextiele tube boven water ligt, wordt deze niet beïnvloed door de opwaartse kracht van het water en is dus effectief zwaarder en dus stabielier. *Figuur 1* toont een brekende golf op de tube. Wanneer het zand in de tube een porositeit heeft van 39,5% en verzadigd is, dan is de volumieke massa van de tube  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Het gewicht is dan boven

water precies 2 keer zo groot als onder water. Toch wordt geen 2 keer zo hoge stabiliteit gevonden. De oorzaak hiervan is dat in de situatie met 3 geotextiele tubes een ander bezwijkmechanisme optreedt. De bovenste tube wordt niet met de golven mee naar achteren geduwd, maar de voorste tube in de stapeling komt los en beweegt onder golfaanval naar voren, zie ook figuur 4 en 5. Er ontstaat een soort afschuiving. Deze afschuiving ontstaat door het gewicht van de bovenliggende tube, golfdrukken in de stapeling en het verlies van horizontaal evenwicht (wrijving) van de onderliggende tubes.

#### Vergelijking met geotextiele containers

Eerdere proeven met zandgevulde geotextiele containers (van Steeg en Klein Breteler, 2008) lieten zien dat behalve afschuiving ook instabiliteit kon ontstaan door 'rupsen'. Er was bij de geotextiele container zandtransport in de container, waardoor vervorming ontstond en de container zich verplaatste, zoals de rups van een bulldozer. Bij de hier geteste tubes, die een veel hoger vullingspercentage hebben dan geotextiele containers, is 'rupsen' niet waargenomen. De hypothese is dat de spanningen in het geotextiel te hoog zijn om het geotextiel te kunnen laten klapperen. Daarnaast is er geen 'ruimte' voor het zand om te bewegen. Het zogenaamde rupsmechanisme kan dus worden voorkomen door te zorgen voor een voldoende vullingsgraad van het geotextiele element. De vullingsgraad (het oppervlakte in de dwarsdoorsnede van een tube gedeeld door het maximaal mogelijke oppervlak) varieerde bij deze proeven tussen de 66 en 109% (de laatste waarde is alleen mogelijk door rek in het geotextiel). Bij de laagste vullingsgraad (66%) werd wel enige vorm van zandtransport waargenomen in de bovenste lagen, maar niet vergelijkbaar met de waargenomen zandmigratie bij geotextiele containers, waarbij de vullingsgraad circa 40% was (2008).



Figuur 5 Ontwikkeling van de schade aan een 3 tubes stapeling in een aantal golven.

### Conclusies

Uit de proeven is geconcludeerd:

- Bij de proeven was horizontale afschuiving het dominante bezwijkmechanisme, ongeacht de configuratie.
- Twee, niet onderling verbonden, tubes naast elkaar waren niet stabiel dan een enkele geplaatste tube.
- Wanneer de constructie bestond uit een enkele

of twee tubes, dan werden deze bij voldoende hoge golfaanval naar achteren geduwd. Een constructie met drie tubes (2-1 stapeling) met een kleine drempel geplaatst aan de landzijde toonde een glijvlak waarbij de tube aan de zeezijde tegen de richting van de golven in naar voren afschoof.

- Constructies onder golfaanval waarbij geotextiele tubes boven water uitkomen zijn stabiel

dan constructies waarbij de top van zich op de stilwaterlijn bevindt.

- De in de literatuur gegeven stabiliteitsformules zijn te eenvoudig om een algemene beschrijving te geven van de stabiliteit van zandgevulde geotextiele tubes. Voor een speciale situatie (één tube op een horizontaal vlak met de stilwaterlijn aan de bovenkant van de tube) bleek de resulterende stabiliteitsformule wel redelijk overeen te komen met de bekende formules in de literatuur.
- De mate van zandmigratie in de tube, zoals waargenomen bij zandgevulde geotextiele containers, werd bij deze proeven niet gevonden.

### Bronnen

- Bezuijzen, A. en Van Steeg, P. (2009), *Geotextiele tubes en containers getest in de Deltagoot van Deltares*, in *Geokunst*, 11e jaargang, nr.2, april 2009.
- Van Steeg, P. en Klein Breteler, M. (2008), *Large scale physical model tests on the stability of gecontainers*, Deltares rapport.
- Van Steeg, P. en Vastenburger, E.W. (2010), *Large scale physical model tests on the stability of geotextile tubes*, Deltares rapport. ●

# Kijkend naar de toekomst

## Geotechniek met Geokunststoffen



infrastructuur  
geogrid



www.citeko.com

afdichting en  
installatie



UW PARTNER IN MILIEU- EN KUNSTSTOFTECHNIEK  
www.prosekunststoffen.nl

NAUE GmbH & Co. KG · Gewerbestrasse 2 · 32339 Espelkamp-Fiestel · Duitsland · Tel: +49 5743 41-0 · Fax: +49 5743 41-240 · info@naue.com · www.naue.com