



Meetresultaten Kunststof GC-elementen



Versie 4 – 17 Januari 2006

TU Delft

H.J. Verhagen
Ties van der Hoeven
Bob Maaskant
Noud Schoenmakers
J. de Gijt

Rijkswaterstaat DWW - ITC

P.M. Kuijper

Anome BV

L. Boskma

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
Inleiding	1
1 Instellen stroomgoot	2
2 Gebruikte materialen	3
3 Meetresultaten van de experimenten in een stroomgoot.....	4
4 Experimenten in een golfgoot	12



aanbeveling voor pilot studie.....	Nauwkeurig en	15
Nauwkeurig en aanbeveling voor pilot studie		16
4.1 Nauwkeurigheid		16
4.2 Aanbevelingen voor pilot studie.....		17

Inleiding

Anome BV en het Innovatie Test Centrum van Rijkswaterstaat-DWW zijn samen met verschillende partners aan het onderzoeken in hoeverre Ground Consolidators (GC's) interessant zouden kunnen zijn voor gebruik in Oever- en bodembescherming. De eerste fase van het onderzoek is afgerond en er is besloten om verdergaand onderzoek te doen. In verband met duurzaamheid van het materiaal, is ervoor gekozen om verder onderzoek te verrichten naar GC-elementen van kunststof. Dit onderzoek is gedaan door een drietal studenten van de TU Delft aan de faculteit Civiele Techniek. Voorliggend document bevat de meetresultaten van de kwali- en kwantitatieve experimenten die zijn uitgevoerd om de eigenschappen van kunststoffen GC's en een pakket GC's te bepalen.

Delft, Januari 2006

Ties van der Hoeven
Bob Maaskant
Noud Schoenmakers

1 Instellen stroomgoot

Bepalen debiet stroomgoot

Het debiet is bepaald met behulp van de Rehbock formule. Door de hoogte en breedte van de retourgoot, de hoogte van de waterspiegel in de stroomgoot en de breedte hiervan af te lezen, is vrij nauwkeurig de gemiddelde snelheid van de stroomgoot bepaald. Doordat de stroomsnelheid van de goot bij maximaal debiet te gering was moest de stuw stroomafwaarts van de proefopstelling heel laag gezet worden. Hierdoor kwam er een groot verhang in de waterspiegel, waardoor boven de GC-mat veel verschil in stroomsnelheden voorkwam. Op plaatsen waar het water vrij kon stromen zijn de stroomsnelheden vastgesteld.

Kalibreren snelheids meter

Met behulp van het debiet en het aantal omwentelingen van de propeller kan de snelheidsmeter gekalibreerd worden. De nauwkeurigheid van een snelheidsmeter wordt bepaald aan de hand van een ijk-grafiek. Om een idee van de foutmarges te krijgen worden enkele metingen herhaald. De turbulente stroming werd aardig uitgemiddeld, zodat de verschillende metingen niet te veel van elkaar verschilden. Echter was er een ander probleem dat de nauwkeurigheid van deze snelheidsmetingen sterk beïnvloedde. Door het sterke verhang van de waterspiegel, en de relatieve kleine waterdiepte, had de plaats van de meting grote invloed op de te meten resultaten. Vandaar dat deze experimenten met het nieuwe constructie materiaal vooral meer inzicht hebben opgeleverd over de toepasbaarheid en de sterke en zwakke punten. De nauwkeurigheid van de meetresultaten was moeilijk te waarborgen met de beschikbare materialen.

Literatuurstudie

Uit de literatuur wordt het volgende opgezocht:

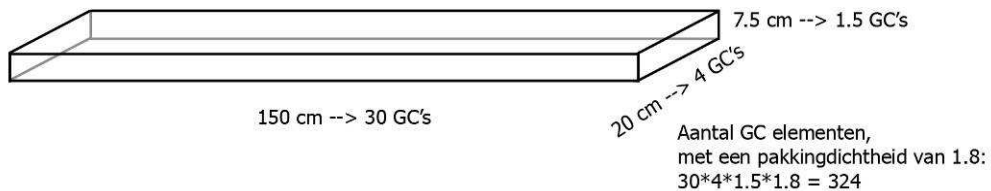
De Grenswaarde voor de stroomsnelheid waarbij een laag steentjes met een bepaalde korreldiameter uitspoelt. Deze waarde wordt de kritische snelheid $v(k)'$ genoemd. Dit wordt gedaan voor een kleine serie (minstens 3) korrelgroottes, in de range van enkele mm tot maximaal 2 cm. "Uitspoelen" wordt gedefinieerd als een situatie waarbij een flink aantal steentjes gelijktijdig in beweging komt.

2 Gebruikte materialen

Voor het uitvoeren van deze proeven zijn de volgende materialen gebruikt:

- Een snelheidsmeter
- Kleurstof
- Fotocamera
- Stopwatch
- **Verschillende soorten breuksteen (stabiel / onstabiel)**
 - Stabiel (breuksteen): Korreldiameter 1-2 cm.
 - Stabiel (breuksteen): Korreldiameter 0,6-1 cm.
 - Onstabiel (grind): Korreldiameter 1-2 mm.

- Aantal GC elementen



De pakkingdichtheid van de kunststof GC-elementen is stukken minder dan 1,8, hierdoor zijn er ook proeven uitgevoerd met een grotere laagdikte dan twee GC elementen. Van elke soort kunststof waren 400 elementen beschikbaar.

3 Meetresultaten van de experimenten in een stroomgoot

A.1. Serie proeven met drie verschillende GC-elementen met grof bodemmateriaal.

Doel: Inzicht krijgen in het materiaalgedrag van de GC-elementen in de stroomgoot en dan voornamelijk kijkend naar de grenswaarde van de stroomsnelheid voor de stabiliteit van de GC-elementen, pakkingdichtheid en het stroombeeld in de stroomgoot.

Aantal GC-elementen, $n=1$ en $n=400$

Om de elementen niet direct op de gladde bodem te plaatsen van de goot, wordt er gebruikt gemaakt van een grof bodemmateriaal wat vele malen stabiel is dan de GC-elementen. Door middel van kleurstof wordt de turbulente stromingslaag gevisualiseerd.

A.1.1. *Om te kijken naar het verschil tussen een stalen en een kunststof GC-element, plaatsen we één element in de stroomgoot.*

Tijdens het begin van de proeven bleek al snel dat de geleverde gc-elementen van een andere soortelijk gewicht waren dan aangegeven door de leverancier. Uit nader onderzoek bleek dat er bij de fabricage, tijdens het gieten van de elementen lucht was ingesloten. Dit had grote invloed op de het soortelijk gewicht van de elementen:

Opgegeven (kg/m ³)	Werkelijk (kg/m ³)
2300	1910
1800	1120
1300	1030

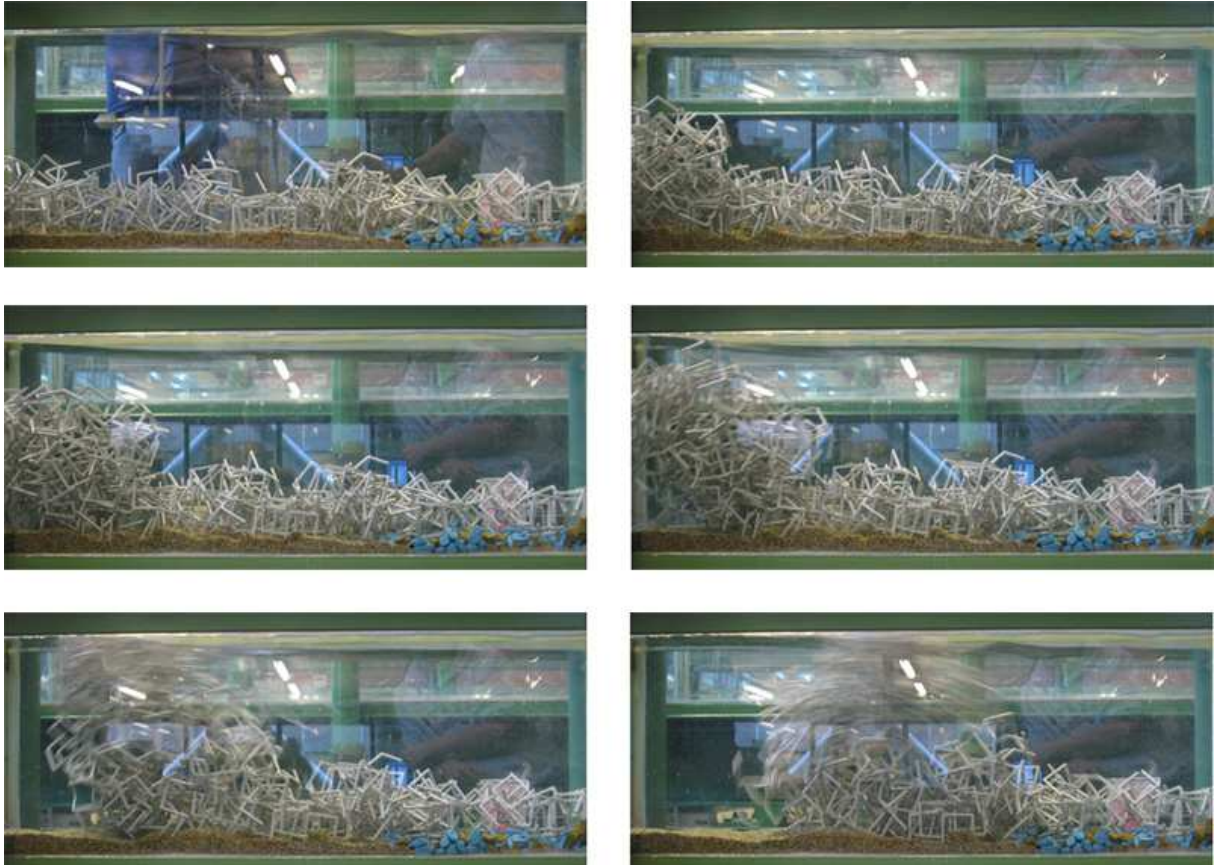
Staal is zeer stabiel, zeker op een ruwe ondergrond. Alle drie de kunststoffen zijn al onstabiel bij zeer lage snelheden (0,1 – 0,2 m/s). Bij het vaststellen van de kritische snelheid $v(2)$ van de verschillende kunststoffen kwam er al snel een probleem naar voren. De ligging van het element op de ruwe ondergrond had een grote invloed op de stabiliteit van het element, vandaar dat de gemeten snelheden weinig waarde hebben.

A.1.2. *Voor $n=100$ of $n=400$ worden de GC-elementen in de stroomgoot aan het oppervlak van het water losgelaten en wordt er naar de pakkingdichtheid gekeken. Daarna wordt de grenswaarde van de stroomsnelheid voor de stabiliteit van de GC-elementen bepaald. Er wordt naar de volgende faalmechanismen gekeken: uitspoelen losse elementen, oprullen voorzijde van de mat GC-elementen en het opdrijven van de gehele of het achterste deel van de GC-mat. De grenswaarde voor stabiliteit van het hele pakket noemen we $v(1)$, de grenswaarde voor uitspoelen van individuele GC uit het pakket noemen we $v(2)$*

Al snel bleek uit de proeven dat met 100 elementen niet één gehele mat, maar als het ware kleine eilandjes ontstonden. Bij het opvoeren van de stroomsnelheid tijdens de proef, gebeurde het al snel dat een dergelijk klein eilandje weg spoelde. De rest van de 'mat' bleef nog goed liggen, maar de ontstane schade aan de bodembescherming was niet toe laatbaar. Vandaar dat toen gekozen is om met het maximale aantal gc-elementen te gaan werken om zo er zeker van te zijn dat er één mat ontstaat. Dit hield in dat er een laagdikte van 2 à 3 gc-elementen lag.

Tijdens het bedenken van deze experimenten, werd nagedacht over de plaatsing van de elementen. De stalen GC's konden in een rij worden gelegd en zo simpel een voor een in het water worden gegooid. Bij de kunststof elementen werkte dit niet omdat niet alle elementen dezelfde vorm hadden, dit kwam door dat de elementen makkelijk vervormden. Het gebruikte kunststof was duidelijk niet sterk genoeg, aangezien er tijdens de proeven ook veel elementen kapot gingen. Deze slappe eigenschap had ook zijn weerslag in kritische snelheid van de matten, doordat bij het uitbuigen van de elementen de mat het kon begeven.

Bij de kunststof gc-elementen kwam bij grote laag dikten nog een ander probleem aan het licht. Door het geringe soortelijke gewicht van de kunststof GC elementen krijgt het pakket een zeer lage pakkingdichtheid. Door deze lage pakkingdichtheid heeft het pakket tijd nodig om in te kunnen klinken. In deze periode is het pakket gevoelig voor het uitwaaien van losse elementen. Het belangrijkste faalmechanisme van de kunststof GC matten is het oprullen aan de voorzijde.

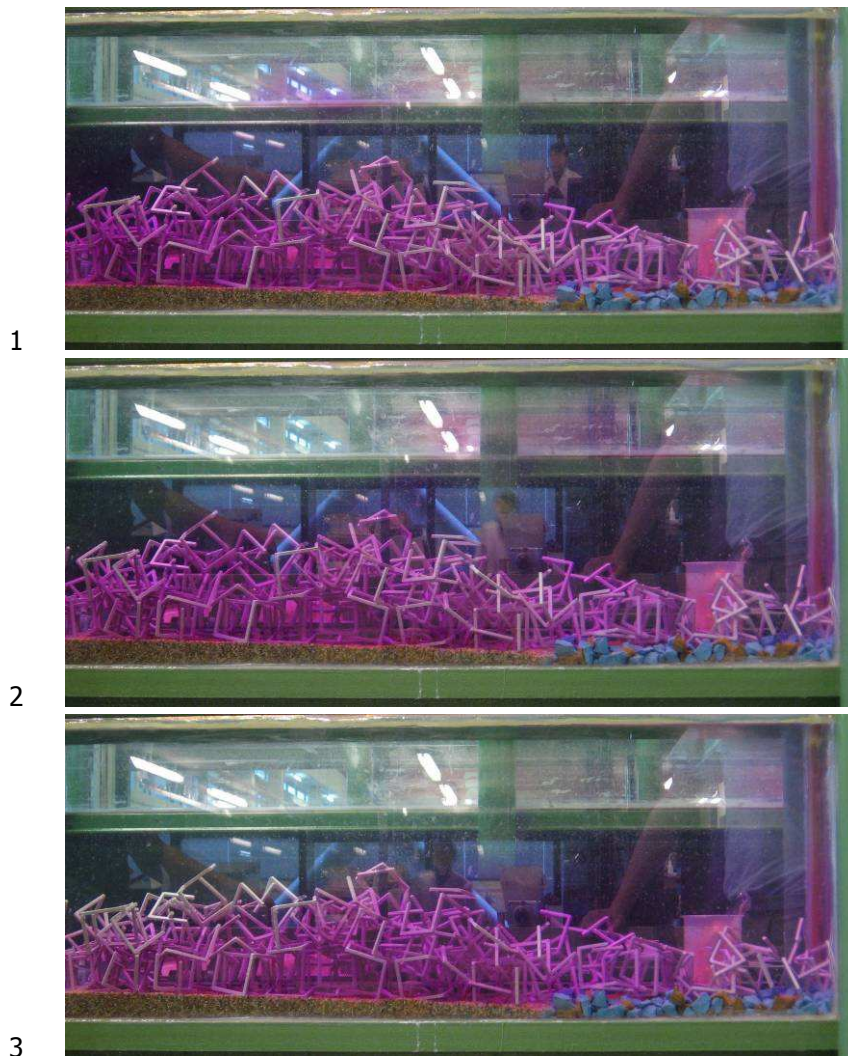


Aanbeveling:

Een soort inhaakplaat ontwikkelen waar de voorste GC's aan vast kunnen haken en daarmee het oprullen verhinderen.

A.1.3. Om een indruk te krijgen van de snelheidsreductie wordt een kleurstof binnenin de mat gespoten en gekeken naar de verspreiding van deze kleurstof. Door binnen een bepaald tijdsinterval diverse foto's te maken kan er een snelheid bepaald worden.

Op onderstaande foto's is te zien dat boven het GC pakket de kleurstof snel verdwijnt en in het pakket blijft het lang hangen. Dit wijst op een snelheidsreductie binnen in de GC pakket.



A.1.4. Valproeven met de verschillende soorten GC's in een aquarium. Dit om een indruk te krijgen van de valsnelheid van de elementen.

Vanwege het grote verschil in de geleverde en bestelde elementen is het verstandiger deze proeven te doen met de nieuwe gc elementen. Een van de ondervindingen tijdens de proeven was ook dat enkele gc elementen bleven drijven, dit kan natuurlijk nooit de bedoeling zijn.

A.2. Serie proeven met verschillende bodemmateriaal (diverse soorten breuksteen, waaronder een zeer licht materiaal)

Doel: Bepalen van de grenswaarde van de stroomsnelheid van de stabiliteit van zowel de GC-elementen als de te beschermen bodemlaag. Daarnaast het bepalen van de snelheidsreductie veroorzaakt door verschillende laagdiktes van GC-elementen ter plaats van de te beschermen bodemlaag.

Aantal GC-elementen $n=400$

Door GC-elementen van boven het wateroppervlak in de stromingsgoot te laten vallen wordt een GC-mat opgebouwd. In deze stromingsgoot heerst een geringe stroomsnelheid. Er wordt geprobeerd om een zo lang mogelijke mat te creëren om de stroming de kans te geven zich goed aan de nieuwe situatie aan te passen.

A.2.1. Referentie

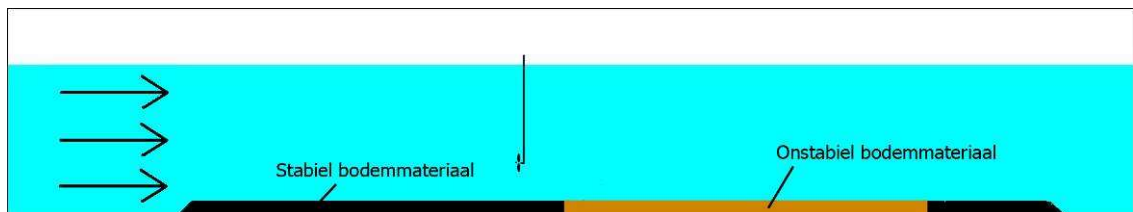
Bepaling van de grenswaarde voor de stroomsnelheid waarbij een 5 cm dikke laag van steentjes met diverse korreldiameters uitspoelt. Deze waarde wordt de kritische snelheid $v(k)$ genoemd. Grafiek $v(k)$ als functie van korrelgrootte.

Deze kritische snelheid $v(k)$ wordt vergeleken met de in par 1 opgezochte snelheid $v(k)$. Deze snelheid $v(k)$ zullen we verder gebruiken bij het goed / af - keurcriterium en het bepalen van de haalbare verbeteringsfactor.

De eerste twee proeven zijn gedaan met twee soorten breuksteen, de erosiesnelheden van deze twee typen lag boven de stroomsnelheid die opgewekt kan worden.

Het onstabiele bodemmateriaal waarmee de verdere proeven zijn gedaan is grof zand met een diameter van 1 a 2 mm.

De erosiesnelheid $v(k)$ van dit onstabiele materiaal is 0,45m/s.



A.2.2. Door de stroomsnelheid op te voeren bepalen wat de grenswaarde van de stroomsnelheid is wanneer er erosie van het bodemmateriaal optreedt en het vaststellen van het aantal weggespoelde GC-elementen.



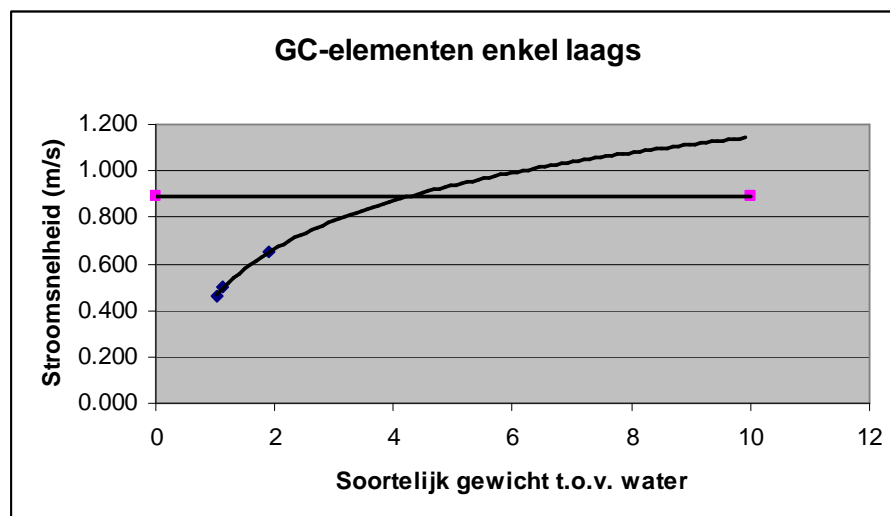
Voordat het onstabiele bodemmateriaal gaat eroderen faalt de kunststof GC mat door het oprullen aan de voorzijde. Hieruit blijkt dat de stabiliteit van de mat de maatgevende factor is, de reducerende werking op de stroming van de elementen is zeer goed. Tijdens deze proef werd duidelijk dat de stroomgoot de betrouwbaarheid van de proef beïnvloedt.

Dit kwam naar voren op het moment dat de proefopstelling werd blootgesteld aan grotere stroomsnelheden. Bij deze grotere stroomsnelheden stond het debiet van de stroomgoot op maximaal. Om toch grotere snelheden te bereiken moest aan het eind van de stroomgoot de stuw worden verlaagd, hierdoor ontstond er in de goot een groot verhang in de waterspiegel. Door dit verhang kwamen er grootte verschillen voor in stroomsnelheid wat het moeilijk maakte de kritische snelheid vast te stellen. Misschien zijn onze snelheden wat aan de lage kant.

Er kwam nog een probleem naar voren bij het grote verhang van de waterspiegel, de waterdiepte boven de GC mat werd zeer klein. Hierdoor vindt er aan het begin van de mat een grote snelheidsverhoging plaats die er voor kan zorgen dat de eerste elementen van hun plek worden getrokken. Deze elementen krullen op de mat wat er voor zorgt dat de doorstroomopening nog kleiner wordt en het effect van oprullen versterkt. Het kan dan ook voorkomen dat de mat soms plotseling faalt. Dit probleem zal in realiteit niet gebeuren, omdat de waterdiepte boven de mat velen malen groter is. Hierdoor zullen uitgewaaide elementen niet zorgen voor zulke grote snelheidsverschillen. De stabiliteitsfaalsnelheid voor de verschillende kunststoffen:

Kunststof	Faalsnelheid (m/s)	
	Meting: 1	Meting: 2
1,91 (2,3)	0,65	0,62
1,12 (1,8)	0,50	0,48
1,03 (1,3)	0,46	0,47

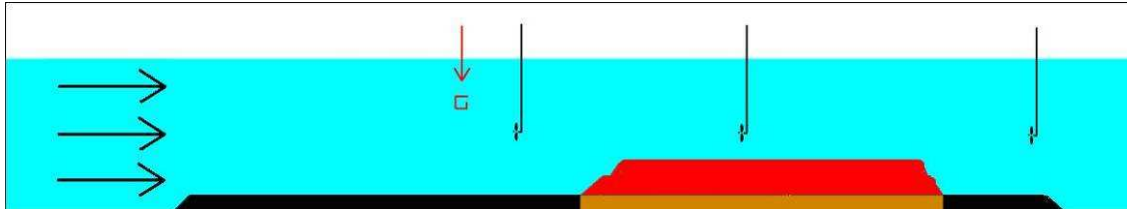
Om toch een idee te krijgen waar de erosiegrens lag, is de proef ook uit gevoerd met de stalen GC elementen. In de onderstaande grafiek zijn de verschillende gemeten kritische snelheden uitgezet tegen de gebruikte soortelijke gewicht van de GC elementen (enkel laags). Er is ook een rechte lijn te zien, dit is de kritische erosiesnelheid met stalen elementen. Het snijpunt van de twee trendlijnen, wijst het optimale punt aan van het soortelijk gewicht van de GC elementen. Zwaardere elementen hebben geen zin omdat de reducerende werking op de stroming dan al maximaal is. Bij lichtere elementen is de maatgevende factor de stabiliteit, waardoor de maximale reducerende werking van de elementen niet gehaald zal worden.



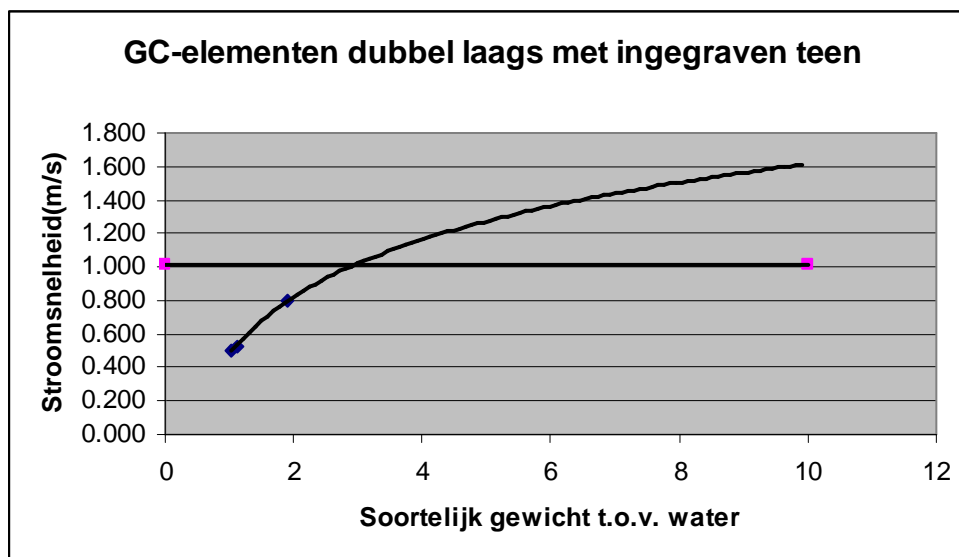
Opmerking bij de grafiek: Met soortelijk gewicht t.o.v. water wordt bedoelt $\Delta = \frac{\rho_{GC\ element}}{\rho_{water}}$

A.2.3. Het bepalen van de grenswaarde van de stroomsnelheid voor de stabiliteit van de bodelaag bij een verschillende laagdiktes van GC-elementen. Aan de hand van deze grenswaarde kan de snelheidsreductie bepaald worden. Dit geeft ons een reeks stroomsnelheden $v(3)$

Bij een dubbele laag gaat de geringe diepte een nog grote rol spelen. De snelheidsverhoging is nog groter dan bij de enkele laag waardoor de eerste elementen nog sneller van hun plek worden getrokken. Ook de verdichting van de mat is hier een probleem, dus de stabiliteit zal hoogstwaarschijnlijk ook hier maatgevend zijn. Vandaar dat in deze proefopstelling er voor gekozen is de teen van de constructie in te storten met een steenbestorting (1-1,5 cm).



Hieronder is weer een zelfde grafiek gemaakt als hiervoor echter nu is een twee a drie dubbel laags GC mat gebruikt in de proefopstelling. Te zien in de grafiek is dat de kritische snelheid van de verschillende matten hoger ligt, dit wordt veroorzaakt doordat de mat pas bij een dikte van 2-2.5 gc-elementen als één gehele mat kan worden gezien. Bij enkel laags proeven gebeurde het regelmatig dat de mat slechts deels faalde. Bij de dikkere laagdikte was het veel vaker een collectief falen van de mat. Door de hogere kritische snelheid van de mat is te zien dat een lager soortelijke gewicht, in vergelijking met de enkel laags gc mat, van een GC element optimaal is. Het optimale soortelijke gewicht ligt hier rond de drie keer zwaarder dan water.

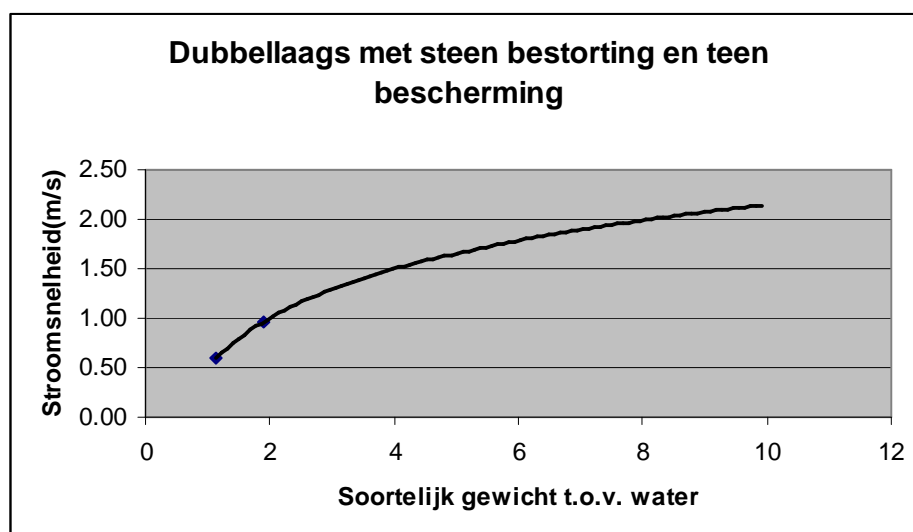


Opmerking bij de grafiek: Met soortelijk gewicht t.o.v. water wordt bedoelt $\Delta = \frac{\rho_{GC\ element}}{\rho_{water}}$

A.2.4. Het bepalen van de grenswaarde van de stroomsnelheid voor de stabiliteit van de bodemlaag bij een langgerekte laag van GC-elementen met breuksteen als vulmateriaal. Dit vulmateriaal is grover dan het te beschermen bodemmateriaal, maar is onstabiel als het onbeschermd in de stroomgoot wordt geplaatst.



Er bleekt direct tijdens de proeven dat de steenbestorting een goede werking had op de pakkingdichtheid van de mat. Zeker naarmate de stenen wat groter waren, bleek een inklinking van de mat waar te nemen. Dit bevorderde de stabiliteit, doordat de GC elementen beter in elkaar haakte. Korreldiameters tot een kwart van de lengte van de ribben van een GC element zijn gebruikt. Dit was de maximale steen grootte die kan worden toegepast als steenbestorting op een reeds liggende mat. Wanneer een grotere steen diameter wordt gebruikt dan een kwart van de ribben lengte, zal het merendeel van de steenbestorting op de mat blijft liggen. Het doel van de steenbestorting is dat de onderste laag van de GC elementen deels ingegraven wordt, hierdoor moet een betere verankering van de mat ontstaan. Een ander voordeel van een goede steenbestorting is dat het natuurlijk ook werkt als een bodembescherming. Hieronder is weer een grafiek gemaakt, echter was hier geen vergelijkingsproef mogelijk met de stalen GC elementen. De kritische snelheid van de mat lag te hoog voor de mogelijke snelheid in de stroomgoot. Echter is de verwachting dat het optimaal soortelijk gewicht nog lager komt te liggen dan bij de vorige proefopstelling. Er wordt vanuit gegaan dat het optimale gewicht van de GC elementen, uitgevoerd in een mat met een steenbestorting en een beschermde teenconstructie, net onder de 3 ligt t.o.v. water.



Opmerking bij de grafiek: Met soortelijk gewicht t.o.v. water wordt bedoelt $\Delta = \frac{\rho_{GC\ element}}{\rho_{water}}$

A.2.6. *Het bepalen van de grenswaarde van stroomsnelheid bij een vrij kleine korrelgrootte, als functie van het aantal opgebrachte GC (grafiek). Dit geeft voor een eventueel volgend pilotproject informatie over de benodigde GC laagdiktes bij bekende stroomsnelheid en korrelgrootte.*

Tijdens de proeven kwam al snel naar voren dat er dus een aardige laagdikte aanwezig moet zijn, om de stabiliteit van mat te waarborgen. Dit kwam mede doordat de geleverde GC elementen veel lichter waren dan van te voren afgesproken, waardoor de stabiliteit van de elementen een groot probleem was. Vandaar dat deze proef niet verder is uitgevoerd omdat het simpel weg geen realistische vraagstelling meer was.

A3 Uitzoeken slimme puin (/grint) - maat, t.o.v. GC maat (vanwege luwtedam)

Doel: uitzoeken hoe een pakket GC gemaakt kan worden dat gedeeltelijk ingegraven ligt in puin, met zo weinig mogelijk procesgangen. Dit zal een volledig schaalbaar proces zijn.

Een pakket GC (te definiëren dikte, ca. 3 ribbes dik) aanbrenge en hierover een volume steentjes equivalent aan 5 cm laag uitstrooien. Dit wordt uitgevoerd met steentjes met een diameter van bijvoorbeeld 0.5 cm, 1 cm en 2 cm. Eventueel een andere waarde nemen indien de bevindingen er aanleiding voor geven. De grootst mogelijke redelijke waarde steentjes bepalen, en hiervoor een v(3) vaststellen.

Deze proeven zijn tijdens A.2.5. in grote maten reeds uitgevoerd. Hier is de invloed van de steenbestorting op de stabiliteit van de mat bekeken. Er zijn drie soorten korreldiameters gebruikt: 1,0-1,5 cm, 1,0-0,6 cm en 0,6-0,2 cm. De twee kleinste typen (1-0,6 en 0,6-0,2) vielen makkelijk door de gc mat, het voordeel van de grootste van de twee was dat deze de mat meer verdichtte. Dit komt waarschijnlijk door het grotere eigen gewicht.

De proeven met het slimme puin zijn niet uitgevoerd in verband met het afwezig zijn van het te gebruiken materiaal.

4 Experimenten in een golfgoot

In de golfgoot wordt een tweetal experimenten uitgevoerd om de stabiliteit van een GC pakket te onderzoeken. Bij één experiment wordt de stabiliteit van een GC pakket als gevolg van een overtrekkende golfbeweging getest. Bij het andere experiment wordt een GC pakket onder een talud gelegd en wordt het effect van golfslag op het talud bekeken.

B.1. Stabiliteit van een mat

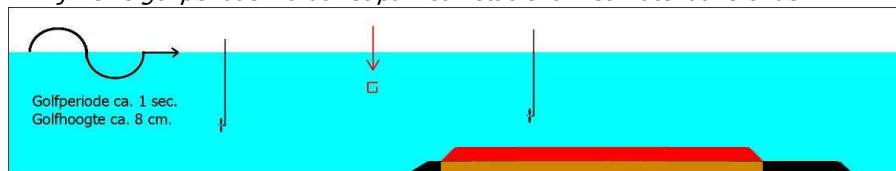
Doel: Inzicht krijgen in de stabiliteit van een GC-mat wanneer er een golfbeweging overheen komt..

Aantal GC-elementen $n=400$

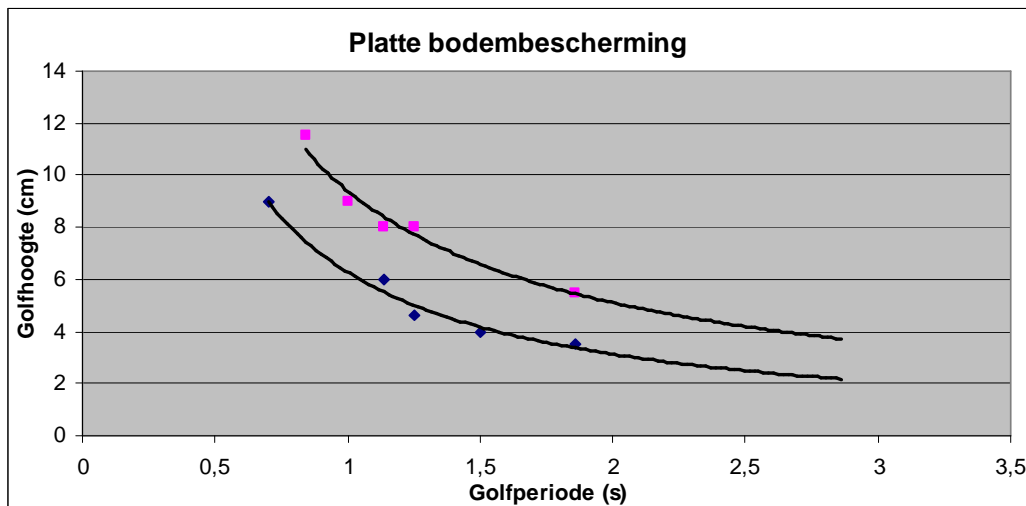
Door GC-elementen van boven het wateroppervlak in de golfgoot te laten vallen wordt een GC-mat opgebouwd.

B.1.1. In een afgesloten golfgoot wordt een golfgenerator gehangen waarbij naar de volgende punten wordt gekeken:

- Bij welke golfhoogte wordt het pakket instabiel of het materiaal eronder,
- Bij welke golfperiode wordt het pakket instabiel of het materiaal eronder.



In de figuur hieronder staan de golfperiode en golfhoogte waarbij het pakket GC-elementen gaat bewegen, de bovenste lijn beschrijft de bodembescherming met instorting van breuksteen en de onderste de bodembescherming zonder instorting.



Uit de figuur is af te lezen dat het pakket eerder gaat bewegen naarmate de golfperiode toeneemt. Het gebruikte bodemmateriaal was breuksteen dat zonder bescherming ging bewegen bij een golfperiode van één seconde met een golfhoogte van 8 centimeter.

De ingestorte mat kregen we bij een periode van 0,7s niet in beweging, de maximale golfhoogte die we in de golfbak konden opwekken was bij deze periode 8cm.

B.2. Stabiliteit van een GC-pakket op een talud

Doel: Inzicht krijgen in de stabiliteit van een GC-pakket ter plaatsen van een talud, terwijl het bloot wordt gesteld aan golfslag.

Aantal GC-elementen n=400

Door GC-elementen van boven het wateroppervlak in de golfgoot te laten vallen wordt een GC-pakket opgebouwd.

B.2.1. *Getest wordt of een GC pakket onder een talud stabiel is onder golfslag. Aandachtspunten bij dit experiment zijn:*

- *Stabiliteit van de teen*
- *Stabiliteit van het talud*

Deze proef is uitgevoerd met staal en de zwaarste kunststof variant. Na het plaatsen van de kunststof elementen zijn ze ingegraven met breuksteen (1-0,6cm). Bij deze elementen was er in de brekerzone al beweging bij kleine golven. Deze geringe beweging is al ongewenst in verband met vermoeiingsverschijnselen. Ter plaatsen van de teen kwam nog geen beweging in de GC mat voor. Dit kwam doordat er boven de teen nog voldoende waterdiepte aanwezig was, hierdoor blijven de stroomsnelheden klein genoeg om geen beweging te veroorzaken. Wat nog meer interessant was bij de proeven met de kunststof elementen was, dat de periode van de golven en daarmee de steilheid van de golf van grote invloed is op het bewegen van de elementen.

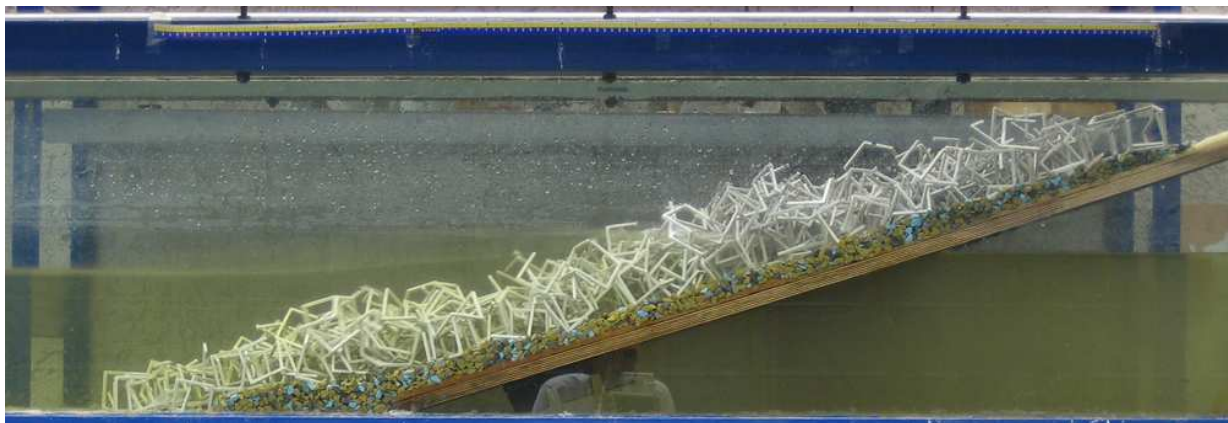
	H (cm)	T (s)
Meting 1	5	0,9
Meting 2	4,5	0,78

Wat nog meer opviel was dat wanneer de elementen gaan bewegen zij zich eigenlijk loswrikken uit de bestorting en dus na verloop van tijd steeds meer bewegingsvrijheid krijgen. Dit leidt dan weer tot meer en snellere vermoeiing van het materiaal.

Met stalen elementen, zonder instorting, was de stabiliteit vele malen groter dan de ingestorte kunststof elementen. Er was hier ook weer duidelijk te zien dat het grote eigen gewicht zorgt voor een hele hechte pakking, als hier ook nog een steen op gestort wordt zal stabiliteit van de mat nog meer toenemen en zal het faalmechanisme waarschijnlijk niet de instabiliteit van de mat zijn maar de erosie van het onderliggende materiaal.

De individuele stalen elementen (in de brekerzone) gingen pas bewegen bij de volgende golfhoogte en periode:

Staal zonder bestorting	H (cm)	T (s)
Meting 1	10,5	1,6
Meting 2	11	1,6



B.3. Artificial reef

Het idee is om een bundel gc elementen in een gebied te plaatsen waar golfreductie nodig is. Hierbij wordt een constructie gemaakt waarbij de gc's onder een helling deels boven en deels onder water komen te liggen. De hoogte boven de waterspiegel is de helft van de waterdiepte.

Dit experiment is alleen uitgevoerd met de zwaarste kunststof elementen. Voor verschillende golfperiodes is er voor en na het reef een golfhoogte gemeten. De resultaten van deze meting staan in de tabel hieronder. De termen GBew, Bew en EBew staan voor "Geen Beweging", "Beweging" en "Extreme Beweging".

Art. Reef	GBew	Bew	EBew	GBew	Bew	GBew	Bew	EBew	GBew	Bew	EBew	EBew
Periode (s)	0,84	0,84	0,84	0,63	0,63	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5
Hvoor (cm)	5,0	6,5	9,3	6,0	7,5	5,5	7,5	11,5	3,0	3,5	6,0	10,0
Hna (cm)	2,5	3,8	5,8	3,0	4,0	4,0	5,5	8,0	2,5	2,8	4,8	8,5
Reductie (%)	50%	42%	38%	50%	47%	27%	27%	30%	17%	20%	20%	15%

Er treedt een aanzienlijke reductie op, maar er treedt ook snel beweging in het pakket op. Dit zorgt weer voor vermoeiing. Net als in experiment B.1. zijn langere golven nadelig voor de stabiliteit van de mat, hoe langer de golf hoe kleiner de reductie.

In vervolproeven zal deze proef over een langere duur moeten worden uitgevoerd om het inklinken van de elementen te bekijken, en wat hiervan de invloed is op de reductie.

B.4. Schaalmodel Iuwtedam

Het maken van een 1:3 talud van een plank met sponslaagje gevolgd door een laag GC van ca 3 (?) ribbes hoog waarover een laag equivalent aan 1 ribbe hoog steen wordt uitgestrooid (met de afmeting bepaald in A4).

Getest wordt of dit pakket onder een talud stabiel is onder golfslag. Aandachtspunten bij dit experiment zijn:

- Stabiliteit van de teen
- Stabiliteit van het talud
- Stabiliteit van het vulmateriaal

Er zal nog contact zijn met Boskalis om enige specificaties voor de te gebruiken golfslag te achterhalen.

Omdat bij proef B.2.1. al snel bleek dat de experimenten zonder vulmateriaal niet mogelijk waren is er bij proef B.2.1. meteen gebruik gemaakt van vulmateriaal. Dit experiment is dus eigenlijk al uitgevoerd bij B.2.1.

Hieronder enkele foto's hoe deze opstelling.



Nauwkeurig en aanbeveling voor pilot studie

4.1 Nauwkeurigheid

Nauwkeurigheid in snelheidsmetingen:

Bij het maken van het draaiboek van deze experimenten werd er vanuit gegaan dat de onnauwkeurigheid van de snelheids meter bepalend zou zijn bij de uiteindelijke foutmarge in de metingen. Echter bleek al snel dat de snelheidsbepalingen erg afhankelijk waren van de plaats van de meting. Dit kwam doordat wanneer bij groter stroomsnelheden in de goot gewerkt moet worden met de stuw stroomafwaarts van de GC mat. Hierdoor ontstaat er een groot verhang in de waterspiegel. De diepte boven de GC mat neemt strekt af, zosterk zelfs dat de snelheidsmeter het doorstroomprofiel sterk kan beïnvloeden. Dit betekent dat ter plaatsen van de snelheidsmeter, een stroomversnelling kan plaats vinden. Vandaar dat veel metingen zijn verricht met behulp van het debiet en de snelheidsmeter samen om zo een betere zicht te krijgen op daadwerkelijk aanwezige stroomsnelheid.

Beïnvloeding van de stroomgoot op de nauwkeurigheid:

De stroomgoot heeft een breedte van 0,24 cm. Deze breedte had een grote invloed op de constructie sterkte een GC mat. Doordat de breedte zosmal was ten opzichte van de grote van de C elementen bleek al snel dat hierdoor zwakke plekken in de mat konden ontstaan. Deze zwakke plekken waar te vinden aan de glazen wanden van de stroomgoot. Op deze plekken begon de te beschermen laag het eerst te eroderen. Tijdens de proeven werd erosie aan de wanden daarom ook genegeerd en werd gekeken naar de erosie die in het midden van de mat optreden.

Excel grafieken gegeven in dit rapport:

In dit rapport zijn een aantal grafieken gegeven waar de stroomsnelheid uitgezet staat tegen het soortelijke gewicht van de GC elementen. Deze grafieken zijn gemaakt door middel van de meet waarden van de verschillende GC elementen te plote in een grafiek en daarna door middel van een trendlijn functie te extrapoleren. Doordat het uiteindelijk soortelijk gewicht van de GC elementen veel dichterbij elkaar lag heeft dit de nauwkeurigheid van deze extrapolatie verslechterd. Echter was het idee van deze experimenten om meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van de GC mat. De grafieken zijn ook gemaakt met dit idee. Men gaat er wel vanuit dat het optimale soortelijk gewicht van de GC-elementen tussen de 2,5-3 een aardige aanname is. Dit komt voort uit ervaringen opgedaan tijdens de proeven.

Opschaling

Het opschalen van deze meetresultaten is een complex gebeuren. Dit komt doordat niet alle variabelen opschalen behoeven. Het duidelijkste voorbeeld hier van is dat de te beschermen bodem (zand). In de proefopstelling is grof zand gebruikt, omdat fijn zand niet gebruikt kan worden doordat het de waterpomp kan beschadigen. In realiteit zal het vaak voor komen dat zand bodems met nog fijner zand bescherm moeten worden. Bij de experimenten in de golfgoot werd duidelijk dat het opschalen van golven erg moeilijk blijkt te zijn. Vandaar dat alle resultaten met voorzichtigheid moeten worden gebruikt, het geeft vooral meer inzicht in dit nieuwe materiaal.

4.2 Aanbevelingen voor pilot studie

Pakkingdichtheid

Tijdens het doorlopen van de proeven werd duidelijk dat door stortten van GC elementen er een mat ontstaat met zeer losse pakking. Langzaam zal de pakkingdichtheid steeds dichter worden, echter is tijdens dit proces de mat gevoelig voor het uitspoelen van lossen elementen en het oprullen van de teen constructie. Een steenbestorting kan het proces van verdichten van de mat aanzienlijk versnellen. Het beste kunnen hiervoor kan een korreldiameter van een kwart van de ribbenlengte gebruikt worden. Bij deze grootte valt namelijk niet alles meteen door de mat heen maar blijft er ook een gedeelte liggen. De stenen die op de mat blijven liggen zorgen door middel van hun gewicht ervoor dat de mat verdicht. Met het mechanisch verdichten van de mat na de bestorting, moet worden opgelet dat de elementen niet beschadigd worden.

Steenbestorting

Uit de proeven bleek dat het gebruiken van een steenbestorting de stabiliteit van de elementen duidelijk vergrootte. De hoogte van de bestorting stond ongeveer gelijk aan de ribbenlengte van de GC-elementen. Een aanbeveling voor de Pilot studie is, het gebruiken van twee soorten diameters stenen. Een kleinere (1/8 van ribbenlengte) die makkelijk door de GC mat heen valt en daar zorgt voor de verankering van de mat op de bodem. De groter stenen die als laatste gestort worden, zorgen ervoor dat de mat een grotere pakkingdichtheid krijgen.

Versterken van de GC elementen

Om twee reden moeten de GC elementen versterkt te worden:

- Tijdens het stortten bleek als snel dat veel elementen vervormt waren. Deze vervorming verhinderde het makkelijk stortten. Indien de stalen elementen in een rij gelegd worden, kan men gemakkelijk door het afschuiven deze elementen boven het water een mat stortten. Bij de vervormde elementen bleek het onmogelijk ze in een rij te leggen, velen elementen haakten toen al in elkaar. Het vervormen van de elementen na fabricage kan voorkomen worden door de elementen sterker te maken.
- Tijdens de testmiddagen bleek velen elementen te breken. Hier bleek dat vermoeiing het GC element sterk verzwakte en dat er veel brosse breuken op traden.

Stalen elementen zijn niet geschikt



Filename: Resultaten GC-proeven.doc
Directory: D:\archief\Projecten\Anome
Template: H:\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title: Draaiboek stabiliteit proeven kunstof/stalen GC-elementen
Subject:
Author: van der Hoeven
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/14/2006 7:33:00 AM
Change Number: 2
Last Saved On: 3/14/2006 7:33:00 AM
Last Saved By: H.J. Verhagen
Total Editing Time: 1 Minute
Last Printed On: 8/17/2009 3:17:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 18
Number of Words: 4.533 (approx.)
Number of Characters: 25.841 (approx.)