



Gemeentewerken
Gemeente Rotterdam



TU Delft
Technische Universiteit Delft



CUR

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Anome BV
*Innovatie
Management*

Oever- en Bodembescherming met Ground Consolidators

**Eindrapport Bureaustudie, project C1
September 2005**

Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam, J. de Gijt, T. Blokland
TU Delft Civiele Techniek, H. J. Verhagen
Rijkswaterstaat DWW, Innovatie Test Centrum, P. Kuijper
CUR, F. Jonker
Anome BV, L. Boskma

Inhoudsopgave

1 Inleiding	
1.1 Scope	3
1.2 Partners	3
1.3 Opbouw van dit verslag	4
2 Executive Summary	5
3 Quick Scan	
3.1 In de stromingsgoot	6
3.2 In de golfslagbak	8
4 Hydraulische Aspecten van GC	
4.1 Inleiding	9
4.2 Eerste waarnemingen, hydr. Stab.	9
4.3 Hoeveelheden	10
4.4 Materiaalkeuze	10
4.5 Haalbaarheid	11
4.6 Opschaalbaarheid	11
4.7 Nader onderzoek	11
5 Financiële haalbaarheid	
5.1 Inleiding	13
5.2 Gangbare constructies	13
5.3 Ontwerp met GC	15
5.4 Corrosie van stalen elementen	16
5.5 Kosten conventionele constr.	16
5.6 Kosten stalen GC constr.	17
5.7 Kosten kunststof GC constr	21
5.8 Conclusies	23
Bijlage	24
6 Conclusies en aanbeveling	
6.1 Conclusies	27
6.2 Aanbeveling 2 ^e fase	28

1 Inleiding

1.1 Scope

Het innovatie Test Centrum (ITC) van de Dienst Weg en Waterbouw van Rijkswaterstaat en Anome BV hebben een samenwerkingsovereenkomst gesloten om te onderzoeken in hoeverre Ground Consolidators interessant zouden kunnen zijn voor gebruik in Oever- en bodembescherming. Binnen deze overeenkomst is geregeld dat het ITC de helft van de onderzoekskosten betaalt, en ook waar nodig expertise inbrengt. Tevens is omschreven dat voor het feitelijke onderzoek partners gezocht zouden worden met autoriteit op het vakgebied.

Het onderzoek is onderverdeeld in 3 fasen: een bureaustudie, een testfase en een pilot. Dit document is het verslag van de bureaustudie. De bureaustudie heeft als doel de financiële haalbaarheid te onderzoeken, en daarnaast te beredeneren of er technische redenen zouden kunnen zijn waarom de GC voor genoemde toepassing niet zouden kunnen werken. Tussen de fasen is een Go / No-Go punt afgesproken, gebaseerd op de bevindingen van de voorliggende fase.

1.2 Partners

Het onderzoek is voor wat het onderzoek naar financiële haalbaarheid betreft uitgevoerd door het ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam, met name door Ir. T. Blokland en Ir. J. de Gijt. Hydraulische aspecten zijn bekeken door de TU Delft afd. Civiele Techniek, Prof. Henk-Jan Verhagen. Alvorens aan deze bureaustudie te beginnen hebben deze partijen een zogenaamde praktische Quick scan uitgevoerd in de stromingsgoot resp. golfslagbak van de TU Delft, om in korte tijd een indicatie te krijgen van de hydraulische aspecten van de GC. Verdere projectbegeleiding werd gegeven door Ing. Jonker van de CUR, terwijl namens DWW/ITC dhr. Paul Kuijper deelnam. Namens Anome BV zat Ir. Lieuwe Boskma in het team. Deze groep heeft vele malen vergaderd en gerekend, hetgeen uiteindelijk geleid heeft tot een positieve "Go" beslissing op een deelgebied, nl een aanbeveling voor verder onderzoek naar de stabiliteit van kunststof GC. Zowel de TU als het Ingenieursbureau van de Gemeente Rotterdam hebben hun bijdrages "om niet" geschonken aan het samenwerkingsverband. ITC betaalt de helft van de onderzoekskosten. Deze beide zaken maken het voor een klein innovatiebedrijf als Anome BV mogelijk dit type projecten uit te voeren. Het Anome team is hen daar zeer erkentelijk voor. Dezelfde groep partners heeft te kennen gegeven te willen blijven deelnemen aan de volgende projectfase.

1.3 Opbouw van het verslag

Dit verslag is in feite de bundeling van een aantal documenten. Hierbij is de chronologische volgorde aangehouden. Hoofdstuk 2 is een korte samenvatting van het gehele onderzoek. Hoofdstuk 3 is het verslag van de eerder genoemde Quick Scan. Hoofdstuk 4 is een bijdrage van Henk Jan Verhagen over hydraulische aspecten. Hoofdstuk 5 is een uitgebreid document, voornamelijk opgesteld door Teus Blokland, over financiële haalbaarheid. Dit hoofdstuk is echter breder opgezet, het behandelt ook vele materiaalaspecten. Hoofdstuk 6 tenslotte vat de conclusies van het onderzoek samen, aangevuld met een aanbeveling voor een 2^e fase.

Namens het team, Lieuwe Boskma, September 2005

2 Executive Summary

GC voor Bodem- en Oeverbescherming

Er is bureaustudie verricht naar technische en financiële aspecten van GC in stroming of golfslag. Ook zijn al enkele kwalitatieve experimenten uitgevoerd in een stromings- en golfslaggoot. Conclusies zijn dat GC inderdaad een sterke hydraulische werking hebben en wellicht gebruikt kunnen worden als bescherming. Het gebruik van stalen GC ligt minder voor de hand vanwege kostprijs en corrosiegevoeligheid in de meeste toepassingen. Het gebruik van kunststof GC lijkt financieel haalbaar, maar de stabiliteit dient praktisch onderzocht te worden omdat het soortelijk gewicht relatief laag is. Het onderzoeksteam heeft besloten tot een "Go" voor een volgende projectfase, waarin in een korte testperiode de stabiliteit van kunststof GC gemeten zal worden.

Hoofdstuk 3 Verslag Quick Scan

Quick Scan: Gebruik van GC als stromingsremmer 23 Maart 2005

H. J. Verhagen (TU), J de Gijt (TU), J. Hoebe (Anome), L. Boskma (Anome)

Doel: De TU Delft overwoog deel te nemen in een project waarin onderzocht zal worden in hoeverre Ground Consolidators ("GC", zie www.anome.nl) in water interessante stromingsremmende eigenschappen zouden hebben die gebruik als bescherming van bodem of talud zinvol zouden maken. Alvorens deelname toe te zeggen wilde men in een enkele testsessie een snelle maar ruwe indicatie (Quick Scan) van die eigenschappen krijgen.

Er zijn testen gedaan op een vlakke bodem (A) en op een talud (B), als schaalmodel, in de stromingsgoot resp. golfslagbak aan de TU Delft, afd. Hydraulische Engineering.

Bij A is een stroomsnelheidsmeter gebruikt. Precieze ijking hiervan was enigszins onduidelijk (" $v=0.0432*n + 0.82$ " ?), vandaar dat in dit kwalitatieve rapportje alleen het aantal omwentelingen (n) van de meetschroef is gegeven. $n=200$ zal ongeveer overeenkomen met 1 m/s. Gootbreedte 20 cm, waterhoogte ca 30 cm.

3.1 A In de stromingsgoot

A1 Referentie

Er is een bodem van steentjes aangebracht (breuksteuntjes, ca 1 – 1.5 cm afm). De maximale stroomsnelheid (op 20 cm hoogte) was $n=190$, waarbij steentjes juist gaan wegstromen.

A2 Losse GC

Goot met daarin een handvol GC. Stroomsnelheid achter deze GC op 20 cm hoogte $n=155$.

Note: GC gaan op het deel met gladde ondergrond glijden totdat ze haken in andere GC waarna het pakket blijft liggen.

A3 Enkele laag GC

Achter de laag, op 20 cm hoogte, is de stroomsnelheid toegenomen van de oorspronkelijke tot $n=175$

A4 Grotere bult (10 a 15 cm hoog, 200 stuks)

Middenvoor het begin van de bult: $n=113$. Stroomsnelheid op 20 cm hoogte ter plekke van het einde van de laag is toegenomen tot $n=258$

A5 Korte laag GC, metingen voor, halverwege en achter deze laag, op dezelfde hoogte. Voor: $n=104$, boven: $n=299$, achter $n=227$

A6 Langgerekte (ca 1 m) vrij dunne laag GC met grind als vulmateriaal.

Meting van de stroomsnelheid boven deze laag, aan het begin,

halverwege en aan het einde, steeds op dezelfde hoogte :

begin $n=129$, halverwege: $n=167$, einde: $n=232$.

Volledig stabiel pakket.

A7 Klein afgerond talud in stromingsbak, waarachter vlak gedeelte.

Voor het talud: $n=68$, boven bodem op vlakke deel: $n=127$.

Indien vervolgens enkele GC met als vulmateriaal een laagje kleinere steentjes op dit talud gelegd worden is de stroomsnelheid voor het talud nog steeds $n=68$, maar boven de bodem op het vlakke deel hierachter is deze gezakt tot $n=110$

A8 Goot gevuld met klein grind

Meting: Klein grind gaat weglopen bij $n=218$

A9 Als A8, maar nu met enkele GC

Gedrag als bij gladde bodem. Enkele GC stromen weg totdat ze in andere exemplaren haken waarna het pakket blijft liggen. Maximale stroomsnelheid is nu onvoldoende hoog in te stellen om het kleine grind te laten wegstromen.

A10 Als A9, maar nu GC storten in volle stroom

Rollen over bodem. Uiteindelijk wordt één samenhangend pakket gevormd

(Water sroomt van rechts naar links. Let op verloop waterhoogte)



A11 Hoge bult GC (ca 18cm). Water stroomt hierdoor en hierover. Waterhoogte ca 21 cm. Stroomsnelheid gemeten achter de bult als functie van de afstand tot de bodem.

Hoogte (cm)	Snelheid (n)
3	86
6	90
9	139
12	163
15	177
18	184

Conclusies van A:

1 GC hebben inderdaad een sterk stromingsremmend effect

2 Grind waaraan GC toegevoegd zijn zal pas bij veel hogere stroomsnelheden erosie vertonen

3 GC zullen indien uitgestort een samenhangend pakket gaan vormen

3.2 B In de golfslagbak

In de golfslagbak zijn alleen enkele kwalitatieve proeven gedaan om na te gaan of er iets van de verwachte eigenschappen m.b.t. demping en stabiliteit te zien zou zijn.

In eerste instantie is gewerkt met een talud van 1:3, een waterdiepte van 31 cm, een golfhoogte van 8 cm en een periode van 1.25 sec.

Zoals te verwachten viel na de experimenten van A wordt ook hier stroming sterk geremd, waardoor een golf uitdempt. De foto's geven enkele impressies. Het GC pakket vertoonde geen noemenswaardige beweging.



Tenslotte is een talud van 45 graden gemaakt om stabiliteit van het GC pakket na te gaan. Zie de foto rechtsonder. Ook bij deze hoek was geen noemenswaardige beweging waar te nemen.

Conclusie van B:

1 GC lijken op talud energie te kunnen absorberen en daarmee een taludbeschermende eigenschap te hebben

2 GC vormen op talud (tenminste tot 45 graden) een stabiel pakket.

Slotconclusie:

De uitgevoerde Quick Scan m.b.t. mogelijk gebruik van GC voor bodem en oeverbescherming geeft resultaten die interessant genoeg zijn voor de TU om in samenwerking met ITC, Anome en partners mee te doen in het voorgestelde detailonderzoek.

Hoofdstuk 4 Hydraulische Aspecten

Hydraulische aspecten van de Anome Ground Consolidator

H.J. Verhagen; TU Delft, sectie waterbouwkunde

4.1 Inleiding

De Anome Ground Consolidator (GC) is een gepatenteerd haakvormig stortelement met het kenmerk dat een ruimtelijke structuur gevormd wordt indien vele GC op elkaar uitgestort worden. De GC kan onder andere gebruikt worden als bodembescherming bij belasting van een onderwaterbodembodem van granulair of cohesief materiaal, belast door stroming (veroorzaakt door stromend water, schroefstralen of golven). Een andere vorm van toepassing is het gebruik van de GC bij taluds als bescherming van een constructie tegen golfaanval rond de waterlijn. In dit rapportje zal ingegaan worden op de hydraulische aspecten van de GC in beide genoemde toepassingen. Andere toepassingsvormen van de GC worden in dit rapportje niet behandeld.



4.2 Eerste waarnemingen: de hydraulische stabiliteit

Bij de stabiliteit moet onderscheid gemaakt worden tussen stabiliteit in stroming (met turbulentie) en de stabiliteit onder golfaanval (dus rond de waterlijn).



De stabiliteit van de GC onder golfaanval zal vrij groot zijn. Door het in elkaar haken van de elementen kan een vrij steil talud opgebouwd worden. Doordat de elementen een zeer grote doorlatendheid hebben, zijn de krachten op de elementen relatief gering. Bij een simpele proef in een golfgoet bleek dat bij (regelmatige) golven van 8cm de model GC's van 5 cm stabiel blijven. Het model had in dit geval een talud van 1:1. Kwantitatief kunnen er uit deze proef geen conclusies getrokken worden, vanwege de uitermate simpele opzet, en het feit dat er geen

enkele vorm van instrumentatie aangebracht was. Zoals gebruikelijk bij dit soort constructies is de stabiliteit van de teen uitermate belangrijk. Het blijkt geen probleem om met de GC een goede teenconstructie te maken. Onder de CG-laag is de waterbeweging nog steeds zeer turbulent. De steenlaag die onder de GC's ligt moet dus geometrisch volledig stabiel zijn.

De stabiliteit van de GC onder stroming blijkt bij een aantal simpele proeven heel groot te zijn. Doordat de elementen in elkaar haken, wordt de schuifkracht van het water vrij gelijkmatig overgebracht op de bodemelementen. Doordat deze aan elkaar haken, wekt het totale gewicht van alle GC's in de laag mee aan de stabiliteit. Zelf bij een vrij extreme situatie waarbij er een behoorlijk groot verval over de GC's gecreëerd wordt, blijven de elementen goed liggen. Bij het plaatsten blijkt dat de GC's wel enige tijd schuiven, maar zodra ze in elkaar haken, vormen zij een stabiele matrix. Duidelijk blijkt uit de proefjes dat het geen zin heeft om te kijken naar de stabiliteit van een enkele GC, maar dat er gekeken moet worden naar de stabiliteit van het



systeem als geheel. Bij het plaatsen van een laag GC's op fijn materiaal blijkt dit fijne materiaal goed te blijven liggen. De stroomsnelheden op de grenslaag tussen GC en bodem blijken dus behoorlijk laag te zijn. Het is dus te verwachten dat een GC goed kan functioneren als een geometrisch open filter. Bij belastingen waarbij de stroming loodrecht op de filterlaag staat (bijv. bij uittredend grondwater) zal de GC dus niet goed kunnen functioneren zonder aanvullende filterlagen (en heeft de GC dus geen meerwaarde).

4.3 Hoeveelheden

Een goed overzicht van de hoeveelheid te gebruiken materiaal is niet beschikbaar, maar wel essentieel voor de beoordeling van de economische rentabiliteit van de GC. Bij de proeven in de goot is een oppervlakte van ongeveer $0,2 \text{ m}^2$ bestort met 200 units, die een laag van ongeveer 7,5 cm dik vormden ($1,5 d_n$). Dit betekent dus een verbruik van ongeveer 1000 units per m^2 op deze schaal. De model GC's hebben een staafdikte van (d_s) 5 mm en een elementhoogte van (d_n) 50mm. In hoeverre deze verhouding optimaal is, moet onderwerp van verdere studie zijn. De GC heeft 7 ribben met materiaal, dus is het gewicht is $7d_n \cdot \frac{1}{4}\pi d_s^2 \cdot \rho = 0,047 \text{ kg}$. Qua gewicht is dit dus identiek aan een steen met een d_n van 2.6 cm..Op modelschaal betekent het dus dat ongeveer 47 kg staal per m^2 is aangebracht. Eenheden van 10 cm met een staafdikte van 1 cm wegen 380 gram. Er zullen er dan ongeveer 250 in een m^2 gaan, wat resulteert in een laagdikte van ongeveer 15 cm.

Het blijkt uit de proeven dat een GC van 5 cm in een dek van ongeveer $1,5 d_n$ dik in staat is om een stroomsnelheid van ongeveer 1 m/s goed te weerstaan. Het lijkt er op dat voor de stabiliteit dus geen dikke laag nodig is. Wel is het belangrijk dat de laag voldoende dit is om de stroomsnelheid bij de bodem terug te brengen tot een voldoende laag niveau. Hoe dik deze laag moet zijn, is vrijwel niet in te schatten zonder nader onderzoek. Hierbij komt dan nog dat ook de plaatsingsnauwkeurigheid onderzocht moet worden. Het zal waarschijnlijk niet mogelijk zijn om een laag GC's op enige meters waterdiepte af te storten met een nauwkeurigheid van minder dan 2 dm. Om bijv. een laagdikte van 20 cm te garanderen zal dus een gemiddelde laag van ca 40 cm gestort moeten worden. Bij 5cm eenheden geeft dat dan een laag van ongeveer 250 kg/m^2 . Bij eenheden van 10 cm en 1 cm staafdikte zullen ongeveer $800 \text{ units per m}^2$ gestort moeten worden. Dat is dus ca. 300 kg/m^2 .

Overigens is het goed om te weten dat voor bescherming tegen stroomsnelheden van ongeveer 3 m/s en een waterdiepte van 5 m (en nogal wat turbulentie) een steengrootte van ca 20 cm nodig is; dat vereist een steenklasse LMA5-40 (5-40 kg). Zo'n laag moet minimaal 25 cm dik zijn, en vereist 500 kg steen per m^2 . In de praktijk zal meestal een wat dikkere laag gestort worden.

4.4 De materiaalkeuze

De GC ontleent haar sterkte als stabiliserend element aan het feit dat de elementen na storten uit zichzelf in elkaar haken, en zodoende een matrix vormen. Essentieel daarbij is dat de dikte van het materiaal zelf klein is ten opzichte van de maat van de GC zelf. Krachten uitgeoefend op een enkel element worden door het feit dat de elementen in elkaar haken, overgedragen op de matrix. Het totaal van de matrix heeft een groot gewicht en is daardoor stabiel. Vanwege de eis dat de

dikte van het materiaal klein is t.o.v. de maat van het element, en dat het element zelf goed krachten (en vooral ook moment) moet kunnen overbrengen, is het noodzakelijk dat het materiaal een behoorlijke treksterkte heeft, en bovendien behoorlijk stijf is. Verder is een groot eigen gewicht nodig. Stalen GC's voldoen aan deze eis. Bij andere materialen is e.e.a. vermoedelijk heel slecht te realiseren. Ongewapend betonnen elementen zullen moeilijk de momenten in de hoeken kunnen opnemen, bij gewapend betonnen elementen kan dat wel, maar vermoedelijk wordt dan de materiaaldikte te groot ten op zicht van de elementgrootte. Kunststof elementen hebben voldoende treksterkte, maar zijn vrij licht, en vervormen zeer sterk, met name bij het opnemen van moment. Op grond van bovenstaande overwegingen lijkt het zinvol om het onderzoek voorlopig te beperken tot stalen GC's. De stalen GC kan natuurlijk wel corroderen, maar bij toepassing op grotere waterdiepten (moeilijk toegankelijk voor zuurstof) zal dit wel meevallen.

Op grond van bovenstaande overwegingen lijkt toepassing van de GC rond de waterlijn (dus als bescherming van een constructie tegen golfaanval) dus wat minder in de rede te liggen.

4.5 Haalbaarheid

In eerste instantie zal het kostenaspect bekeken moeten worden. Het loont alleen de moeite om nader onderzoek te doen als de GC concurrerend is ten opzichte van een klassieke breuksteenconstructie. Uit de globale inventarisatie hierboven blijkt dat voor een bodembescherming met GC's een zelfde orde aan gewicht nodig is als bij het gebruik van breuksteen. Gezien de veel hogere kostprijs van staal is dit een punt van zorg.

Een speciale nichemarkt voor de GC als bodembescherming is het gebruik van de GC als tijdelijke constructie. Het is zeer eenvoudig om een bodembescherming met een GC weer te verwijderen. De elementen haken in elkaar, en de mat kan daardoor eenvoudig opgevoerd worden. Losliggende elementen kunnen vervolgens eenvoudig met een magneet weggehaald worden. De GC heeft een aanzienlijke restwaarde, omdat het schroot gerecycled kan worden.

4.6 Opschaalbaarheid

Er is geen enkel zicht op schaalregels met betrekking tot de GC. Bij modelonderzoek moet er daarom vooral naar de fysische processen gekeken worden en niet zozeer geprobeerd worden proeven precies op schaal uit te voeren.

4.7 Nader onderzoek

De verwachting is dat de GC's gebruikt kunnen worden als geometrisch open filterconstructie, en dus direct op een zandbodem geplaatst kunnen worden. Als dit niet kan, is een aanvullend filter, in de vorm van een kunststofdoek of grindbestorting nodig. Als een dergelijke laag echt nodig blijkt te zijn, is de GC waarschijnlijk niet meer concurrerend ten opzichte van een klassieke steenbestorting.

Als uit een kostenafweging blijkt dat de GC toch economisch aantrekkelijk is, dan zijn de belangrijkste onderzoekspunten:

- Nagaan bij welke stroomsnelheden de GC op zand geplaatst kan worden, zodat het zand blijft liggen.
- Nagaan hoe dik de laag GC's moet zijn om dit te realiseren.
- Onderzoek doen met GC's met een d_n van 5, 10 en 15 cm op een zandbodem.
- Bij de GC met een d_n van 15 cm nagaan wat het effect is van een d_s van 5 mm, en 10 mm.

Daarnaast zal onder onderzoek gedaan moeten worden naar de plaatsing van de GC. Er bestaat op dit moment een stortgoot voor het regelmatig afstorten van de GC. Onderzocht zal moeten

worden welke laagdikte op deze manier gerealiseerd kan worden, en hoe de laagdikte veranderd na de eerste keer belasten door een aanzienlijke stroomsnelheid.

Aangezien het aanbevolen wordt om schaalproeven zo veel mogelijk te voorkomen, zullen de proeven vrij grootschalig uitgevoerd moeten worden. Ze moeten dus uitgevoerd worden in een goot waarin een laag GC's van ca 50 cm mogelijk is, en waarin stroomsnelheden in de orde van zo'n 4 m/s mogelijk zijn. Stroommetingen in de laag met GC's is uitvoerbaar met laser-doppler apparatuur, maar wordt in eerste instantie niet aanbevolen. Aanbevolen wordt om het stroombeeld boven de laag GC's te meten met eenvoudige mechanische apparatuur (het gebruik van een elektromagnetische stroommeter is niet mogelijk). Uit deze metingen kan de ruwheid van een GC-laag bepaald worden; voor het ontwerp is het nodig om een goede Manning of Chézy waarde voor de de GC te weten.

Gezien het feit dat staal onder water altijd corrodeert, is het noodzakelijk om een eenvoudige (bureau)studie uit te voeren naar het corrosiegedrag. Toekomstige gebruikers zullen zeker een uitspraak willen over de levensduur van de GC in dit soort situaties.

Hoofdstuk 5 Financiële haalbaarheid

Datum : 15 september
Betreft : kosten en duurzaamheid van
oever- en
bodembeschermingsconstructies
met Ground Consolidator
Versie : 6

Inhoud

Hydraulische aspecten van de Anome Ground Consolidator.....	9
4.1 Inleiding	9
4.2 Eerste waarnemingen: de hydraulische stabiliteit.....	9
4.3 Hoeveelheden	10
4.4 De materiaalkeuze	10
4.5 Haalbaarheid	11
4.6 Opschaalbaarheid	11
4.7 Nader onderzoek.....	11
5.1 Inleiding.....	13
5.2 Gangbare bodem- en oeverbeschermingsconstructies	14
5.3 Ontwerp van bodem- of oeverbescherming met GC	15
5.4 Corrosie van stalen elementen	16
5.5 Kosten van conventionele constructies.....	17
5.6 Kosten van stalen GC-constructie.....	17
5.7 Kosten van kunststof GC-constructie.....	21
5.8 Conclusies.....	23

5.1 Inleiding

De Anome Ground Consolidator (GC) is een gepatenteerd haakvormig stortelement met het kenmerk dat een ruimtelijke structuur gevormd wordt indien vele GC op elkaar uitgestort worden. De GC kan onder andere gebruikt worden als:

- bodembescherming ter bescherming van een onderwaterbodembodem tegen stroming (veroorzaakt door stromend water, schroefstralen of golven).
- oeverbescherming ter bescherming van een oevertalud tegen golfaanval (rond de waterlijn) of tegen stroming (bijv. van schroefstralen).



In deze notitie zal worden ingegaan op de kosten van een GC-constructie in beide genoemde toepassingen, in vergelijking tot de kosten van een conventionele constructie. Tevens wordt bij stalen GC's ingegaan op het aspect corrosie.

5.2 Gangbare bodem- en oeverbeschermingsconstructies

Bij traditionele ontwerpen van bodem- en oeverbeschermingen in havens, langs rivieren en in kanalen kunnen de volgende typen worden onderscheiden:

- I) breuksteen, los gestort,
- II) breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton of met asfalt,
- III) matten van betonblokken of (open) steenasfalt,
- IV) bijzondere constructies zoals 'geotubes' (geotextiel gevuld met zand) of 'gabions' (gaas gevuld met stenen).

De ad IV genoemde bijzondere constructies zullen in het vervolg buiten beschouwing worden gelaten. Elk van de genoemde typen kan in verschillende zwaarte (c.q. dikte) worden uitgevoerd.

De meest gangbare oeverbescherming in havens, langs rivieren en in kanalen bestaat uit losse breuksteen 10-60 kg op een kraagstuk. Deze bestorting is bestand tegen scheepsgolven en tegen windgolven bij beperkt wateroppervlak. Dit betreft golven tot een hoogte van ca. 1,0 m.

Bodembeschermingen die alleen door normale getijde- of rivierstromingen worden belast (snelheden tot 1,5 m/s) kunnen bestaan uit lichtere sorteringen breuksteen, zoals 50-150 mm of 80/200 mm.

Breuksteen 10-60 kg is bestand tegen stroomsnelheden van 3 à 4 m/s bij normale turbulentie en ca. 2 m/s bij hoge turbulentie (schroefstralen). In situaties met zeer hoge stroomsnelheden of met sterk turbulente stroming kan een zwaardere sortering nodig zijn dan 10-60 kg.

Bij bodembeschermingen belast door schroefstralen is in veel situaties een bestorting met breuksteen 40-200 kg of 60-300 kg nodig. In situaties met de straal van een hoofdschroef tegen een verticale wand (bijv. in de hoek van een haven) en bij hoofd- of boegschroeven dicht boven een oevertalud kan een bescherming met gepenetreerde breuksteen nodig zijn omdat breuksteen 60-300 kg niet zwaar genoeg is.

In onderstaande tabel zijn opneembare snelheden vermeld van breuksteensorteringen:

	10-60 kg	40-200 kg	60-300 kg
uniforme stroming, normale turbulentie ($\beta=0,7$)	3,6 m/s	4,4 m/s	4,8 m/s
hoog turbulente stroming (schroefstralen) ($\beta=1,4$)	1,9 m/s	2,3 m/s	2,6 m/s

Indien voor een kademuur slechts beperkte verticale ruimte aanwezig is om een bodembescherming aan te brengen, dan kan worden gekozen voor asfaltmatten of blokkenmatten. Blokkenmatten hebben als nadeel dat deze relatief kleine horizontale afmetingen hebben. De kleinste constructiedikte kan worden gerealiseerd met asfaltmatten, maar dit is een relatief dure constructie.

Verticale opbouw van gangbare oever- en bodembeschermingen

Een gangbare oever- en bodembescherming bestaat uit een toplaag met zware stenen en een onderliggende filterconstructie die uitspoeling van de ondergrond moet tegengaan.

De filterconstructie bestaat meestal uit een zinkstuk¹ met een geotextiel.

De filterconstructie kan ook granulair filter zijn, bestaan uit één of meerder lagen fijne breuksteen zonder geotextiel. Een granulair filter, dat onder water wordt aangebracht, dient een ontwerp-laagdikte van minimaal 30 à 40 cm te hebben om te garanderen dat overal een laagdikte van 10 à 20 cm wordt gerealiseerd.

Breuksteen tot een zwaarte van 10-60 kg kan rechtstreeks op het geotextiel worden aangebracht (waarbij het geotextiel extra tegen vallende stenen kan worden beschermd door een opgestikt non-woven geotextiel). Bij breuksteen vanaf 40-200 kg wordt op het geotextiel een circa 20 cm dikke laag fijne breuksteen aangebracht (320 kg/m^2), met als functies het afzinken van het zinkstuk en het beschermen van het geotextiel tegen vallende stenen.

5.3 Ontwerp van bodem- of oeverbescherming met GC

Een bodem- of oeverbescherming met GC-elementen zal evenals een conventionele constructie bestaan uit een toplaag van GC-elementen en een onderliggende filterconstructie.

Filterconstructie

Als bij conventionele constructies een filterconstructie noodzakelijk is, dan zal bij GC-elementen naar verwachting zeker een filterconstructie noodzakelijk zijn. Deze verwachting is gebaseerd op het feit dat het holle ruimte percentage van een toplaag van GC-elementen (veel) hoger is dan van een toplaag met breuksteen, waardoor stroomsnelheid en turbulentie aan de onderzijde van een GC-toplaag naar verwachting minder sterk worden gereduceerd dan aan de onderzijde van een breuksteen-toplaag.

Uit de kostenvergelijking zal blijken dat het economisch rendabele gewicht aan GC-elementen zodanig laag is, dat een conventioneel zinkstuk met rijshouten wiepen niet met GC-elementen kan worden afgezonken. Indien een GC-constructie zou worden gecombineerd met een zinkstuk, dan dient dit zinkstuk dus afgezonken te worden met minimaal $100 \text{ à } 150 \text{ kg/m}^2$ fijne breuksteen (laagdikte 6 à 10 cm). Dan is nog de vraag of het opdrijvende vermogen van de wiepen voldoende wordt gecompenseerd door de bovenbelasting van breuksteen en GC-'s, om instabiliteit van het zinkstuk door de stroming te voorkomen.

Een roosterwerk van twee lagen wiepen heeft een dikte van 20 cm en veroorzaakt vanwege deze dikte een onderbreking in de laag van de in elkaar gehaakte GC-elementen. Dus ook om deze reden is een combinatie van GC-elementen met wiepen niet gunstig.

Resumerend kan worden gesteld dat een zinkstuk onder GC-elementen uit het oogpunten van kosten en stabiliteit geen goede constructie is. (Tenzij een ander zinkstuk ontwerp wordt bedacht, waarbij geen roosterwerk van rijshouten wiepen wordt gebruikt, maar bijvoorbeeld een roosterwerk van dunne houten latten of PVC-buisjes).

In het vervolg wordt uitgegaan van een granulaire filterconstructie bestaande uit één laag fijne breuksteen 550 kg/m^2 (laagdikte 34 cm).

Toplaag constructie

¹ In deze notitie wordt met 'zinkstuk' bedoeld 'zinkstuk of kraagstuk'. Een kraagstuk is een zinkstuk dat wordt aangebracht op een oever vanaf de waterlijn.

Ten aanzien van de gewenste zwaarte van de GC-elementen en de gewenste laagdikte is nog geen kennis beschikbaar. Het beschouwen van de stabiliteit van een individueel GC-element heeft in ieder geval geen enkele zin, want het in elkaar haken van de elementen is essentieel voor de stabiliteit. Door het in elkaar haken gaan de GC-elementen zich als een 'plaat' gedragen. Door de open structuur zullen drukfluctuaties geen oplichting van de 'plaat' kunnen veroorzaken. De krachten op de 'plaat' bestaan dus alleen uit stromingskrachten.

De ontwerpcriteria zijn:

1. de stroomsnelheid en turbulentie aan de onderzijde van de GC-laag dienen zodanig gedempt te zijn, dat het onderliggende bodemmateriaal of de onderliggende steenslag geen beweging vertoont;
2. de 'plaat' van GC-elementen dient als geheel stabiel te zijn.

De dempende werking van de GC-laag (ad 1) zal toenemen met de dikte van de laag en afnemen met het holle ruimte percentage.

De stabiliteit van de GC-laag (ad 2) zal worden bepaald door sterkte en stijfheid van de individuele elementen, door de dikte van de laag en door de haakwerking tussen de elementen.

Een belangrijke kostenbepalende parameter is de vereiste dikte van de GC-laag. Hierover kan met de huidige kennis nog geen uitspraak worden gedaan.

Materiaal van GC-elementen

Het materiaal van de GC-elementen kan staal zijn of kunststof.

Voordeel van staal is het grote soortelijke gewicht: $7,8 \text{ ton/m}^3$ in verhouding tot $1,5$ à $1,8 \text{ ton/m}^3$ bij kunststof. Onder water is dit $6,8 \text{ ton/m}^3$ in verhouding tot $0,5$ à $1,5 \text{ ton/m}^3$.

5.4 Corrosie van stalen elementen

Nadeel van de staal is het optreden van corrosie.

In zout water is corrosie een orde van grootte sterker dan in zoet water.

Verder is corrosie in een zone van circa 2 m onder de laagwaterlijn wat sterker dan op grotere diepte onder water. Maar het verschil in corrosie tussen de oppervlaktelaag en de diepere lagen is beperkt. Er zijn ook waarnemingen waarbij nauwelijks verschil wordt geconstateerd tussen oppervlaktelaag en diepere lagen.

Bij stalen damwanden in de haven van Rotterdam zijn de volgende corrosie snelheden geconstateerd:

- in zoet water gemiddeld circa $0,075 \text{ mm/jaar}$,
- in zout water gemiddeld $0,12 \text{ mm/jaar}$, maar bij bepaalde condities (zoals veel stroming) ook hogere waarden tot $1,0 \text{ mm/jaar}$.

In zout water is de variatie in corrosiesnelheid veel groter dan in zoet water. Bij toepassing in zout water is de levensduur van stalen GC-elementen dus geheel onbetrouwbaar: al na enkele jaren kunnen de GC-elementen doorgeroest zijn.

Ook in zoet water zal de diameter van stalen elementen door corrosie afnemen met circa 3 mm in 20 jaar. Hieruit kan worden geconcludeerd dat stalen elementen met een ribdiameter van 5 mm of minder in zoet water waarschijnlijk een levensduur hebben die kleiner is dan 20 jaar.

5.5 Kosten van conventionele constructies

Voor een aantal gangbare oever- en bodembeschermingen is een globale raming van de directe bouwkosten per m² voor het leveren en aanbrengen van de gehele constructie, inclusief de filterconstructie. Bij alle breuksteen constructies is uitgegaan van een filterconstructie bestaande uit een zinkstuk (bestaande uit geotextiel 325 g/m² met opgestikt nonwoven geotextiel 170 g/m², met een roosterwerk van twee lagen rijshouten wiepen h.o.h. 1,0 m). Kosten van zinkstuk ca. € 9,- per m².

Tabel 1 Kosten van conventionele constructies (incl. filterconstructie met geotextiel).

materiaal toplaag	gewicht toplaag breuksteen	laagdikte toplaag	onderlaag gewicht	kosten per m ²
80-200 mm	480 kg/m ²	30 cm	0	€ 18
10-60 kg	750 kg/m ²	47 cm	0	€ 24
40-200 kg	1.100 kg/m ²	70 cm	320 kg/m ²	€ 38
60-300 kg	1.350 kg/m ²	85 cm	320 kg/m ²	€ 44
5-40 kg met colloïdaal beton	640 kg/m ²	40 cm	0	€ 52
10-60 kg met colloïdaal beton	700 kg/m ²	45 cm	0	€ 57
blokkenmat		15 à 22,5 cm	0	€ 60 à € 70
asfaltmat		10 à 25 cm	0	€ 70 à € 140

5.6 Kosten van stalen GC-constructie

Eerste inschatting op grond van materiaalkosten

Als wordt aangenomen dat het verschil in kosten tussen een bescherming met GC-elementen en een bescherming met breuksteen alleen vooral bepaald door het verschil in materiaalkosten tussen staal en breuksteen, dan kan een eerste inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid staal die economisch in een GC-constructie kan worden toegepast. De materiaalkosten van breuksteen bedragen circa € 15,- per ton (€ 14,- à € 16,- per ton voor resp. 10-60 kg en 60-300 kg).

De materiaalkosten van stalen GC-elementen bedragen € 780,- per ton (incl. 20% royalty's). Dit betekent dat een constructie met GC-elementen – volgens het 80% criterium – financieel aantrekkelijk is als het materiaalgewicht in de toplaag bij een GC-constructie slechts 1,5% bedraagt van dat bij een breuksteen constructie. Een toplaag met GC-elementen is in vergelijking met breuksteen 10-60 kg (750 kg/m²) financieel aantrekkelijk als maximaal 11 kg staal wordt gebruikt in de toplaag. In vergelijking met breuksteen 60-300 kg (1670 kg/m², incl. onderlaag) is maximaal 24 kg staal nog rendabel.

Uitgangspunten m.b.t. prijs van stalen GC-elementen

De prijs van de GC-elementen wordt berekend op basis van een 'prijs per kg'.

De 'prijs per kg' wordt bepaald door de staalprijs en door de prijs van de productie van de elementen. De kg-prijs van de productie zal groter worden naarmate het aantal bewerkingen per kg groter wordt. Dit aantal bewerkingen is evenredig met het aantal (N) elementen in één kilogram staal.

Voor vier stalen elementen is een realistische prijsopgave beschikbaar van één leverancier A.

Deze prijsopgave luidt:

200/5: 21 – 25 Eurocent per element

200/6: 29 – 33 Eurocent per element

200/7: 37 – 41 Eurocent per element

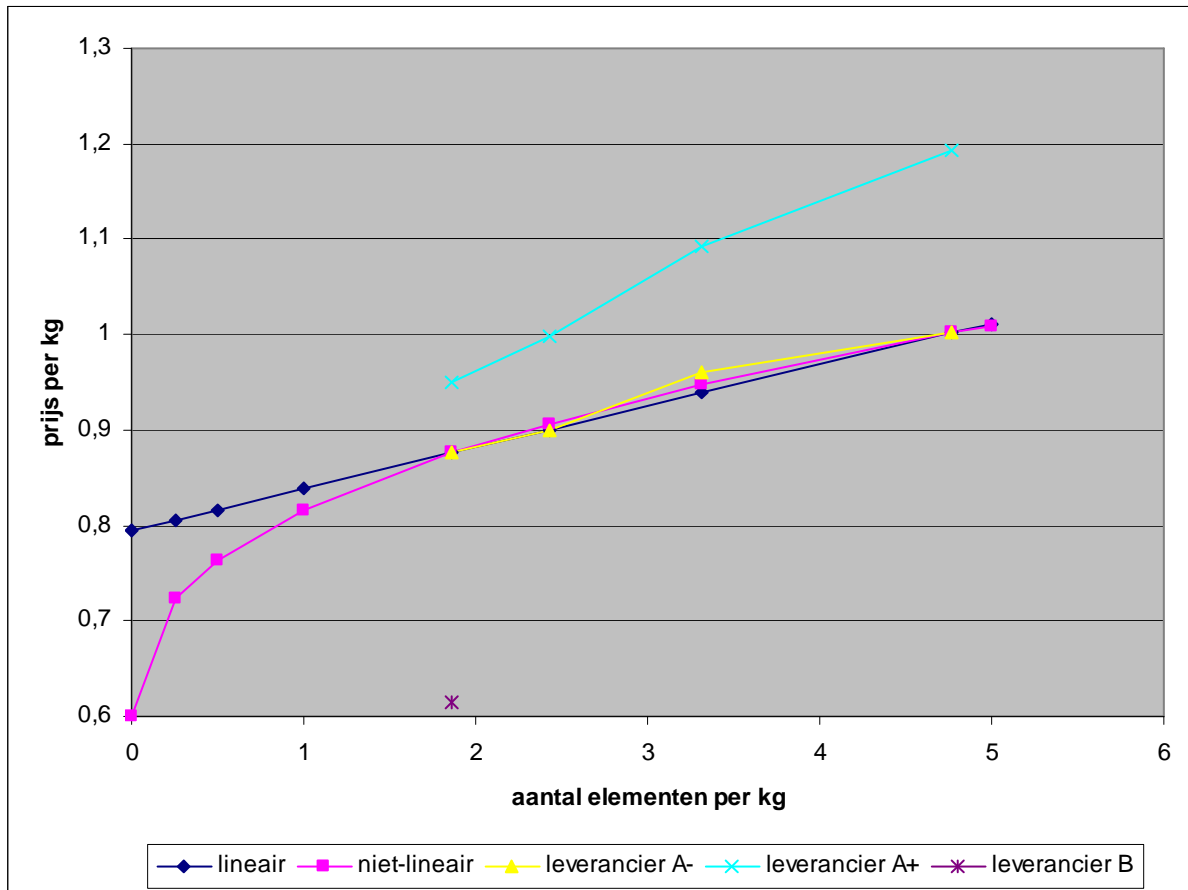
200/8: 47 – 51 Eurocent per element

Deze prijzen omgerekend naar prijzen per kg staal zijn in grafieken uitgezet in figuur 1. De ondergrens van de prijsopgave is uitgezet als 'leverancier A-'. De bovengrens is uitgezet als 'leverancier A+'.

Leverancier B heeft een lagere prijs opgegeven van leverancier A, namelijk € 0,33 voor 200/8, overeenkomend met € 0,61 per kg. Deze prijs is ongeveer gelijk aan de staalprijs. Betwijfeld kan worden of deze prijs wel realistisch is. Met de prijs van leverancier B is verder geen rekening gehouden.

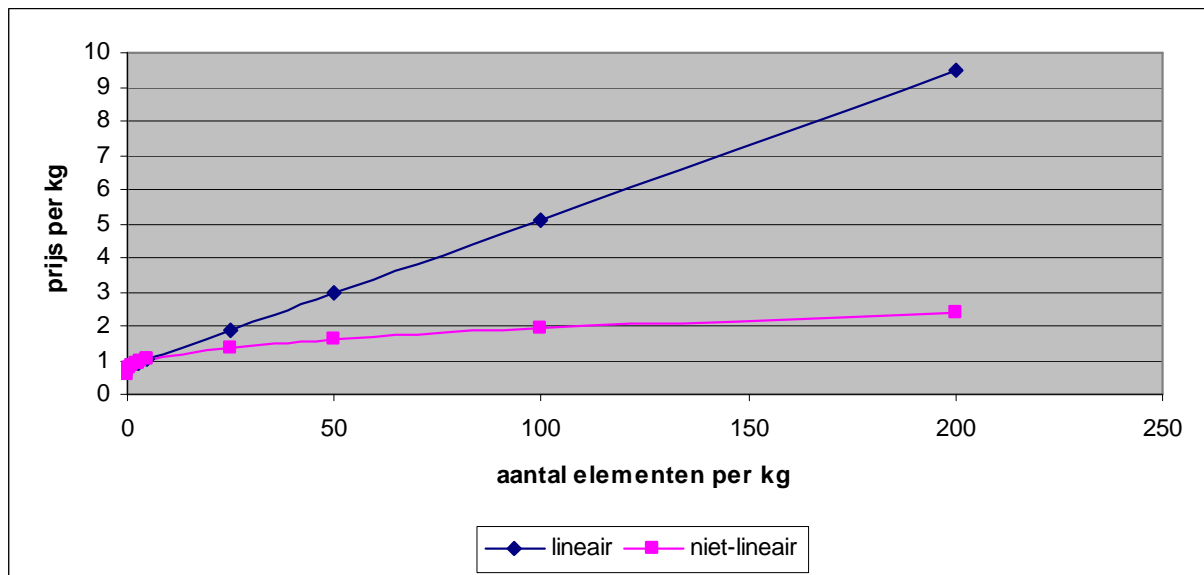
M.b.v. een regressie door de prijzen van leverancier A is de prijs per kg bepaald als functie van het aantal elementen in één kg. Er is een lineaire en een niet-lineaire regressie bepaald (zie figuur 1). Bij de niet lineaire regressie is aangenomen dat de prijs per kg gelijk wordt aan de staalprijs van €0,60 als $N=0$. De regressie is uitgevoerd op basis van de ondergrens van de prijsopgave van leverancier A. In figuur 2 zijn de regressielijnen geëxtrapoleerd naar grotere aantallen elementen per kg (d.w.z. naar kleinere GC-elementen).

Een probleem is dat de regressielijnen onbetrouwbaar zijn bij extrapolatie naar zeer grote aantallen per kg. De niet-lineaire grafiek lijkt bij kleine elementen niet erg betrouwbaar, want bij kleine elementen blijft de stuksprijs erg laag: een 40/1,6 element kost 1,1 cent per stuk. Waarschijnlijk ligt de werkelijkheid tussen de lineaire en de niet-lineaire relatie.



Fig

uur 1 Prijsopgave leverancier A en B en regressie grafieken



Fi

guur 2 Extrapolatie van regressie grafieken

Overige uitgangspunten voor kostenanalyse

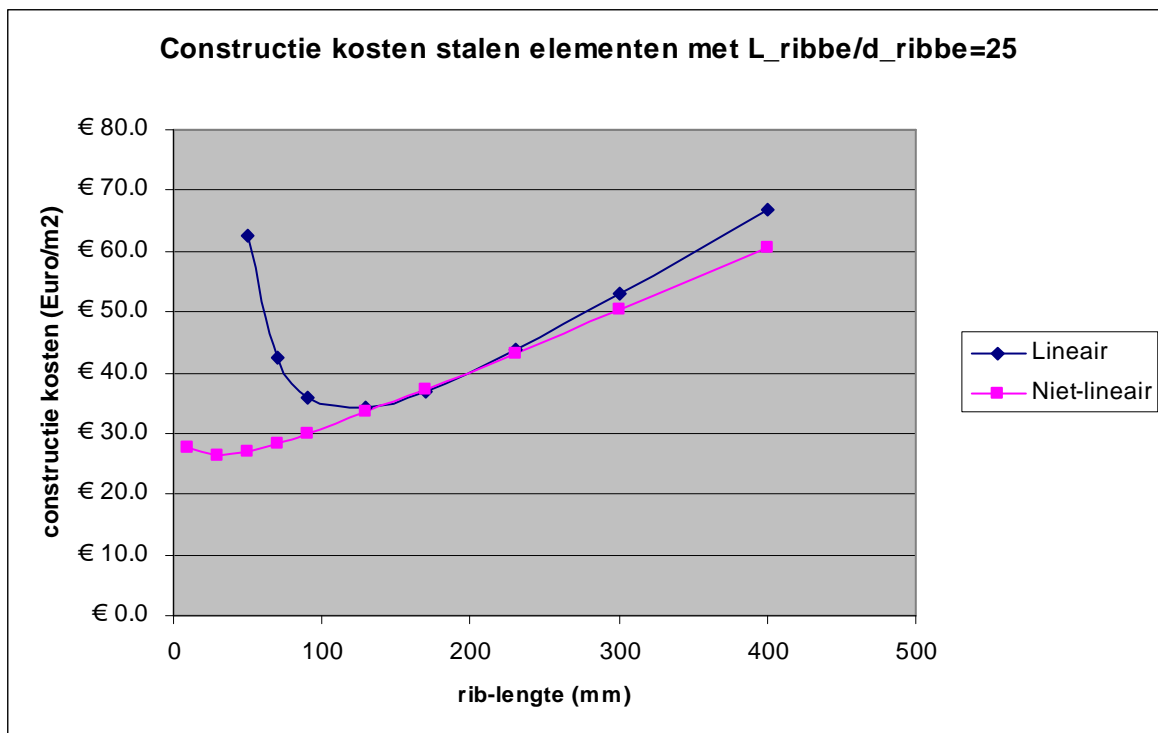
In het vervolg wordt er van uit gegaan dat een GC-constructie in vergelijking tot een conventionele constructie alleen financieel aantrekkelijk is als de kosten van de GC-constructie maximaal 80% van de kosten van de conventionele constructie bedragen.

Voor de bepaling van de kosten van een GC-constructie wordt het volgende aangenomen:

1. Royalty's voor de patenthouders zullen worden verrekend als percentage van de materiaalkosten. Voor het royalty percentage wordt uitgegaan van 20%.
2. De kosten voor het transport en aanbrengen van de GC-elementen bedragen circa 30% van de materiaalkosten.
3. Onder de GC-elementen wordt een filterconstructie aangebracht bestaande uit één laag fijne breuksteen 550 kg/m^2 (laagdikte 34 cm); kosten € 8,50 per m^2 .
4. De optimale verhouding tussen lengte en diameter van GC-ribben is 25 (dit impliceert een holle ruimte percentage van 98,5%);
5. De volumefactor van de GC-laag bedraagt 1,8;
6. De dikte van de GC-laag bedraagt 1,0 maal de lengte van de GC-ribbe (hetgeen een minimaal uitgangspunt is).

Gedetailleerdere kostenbeschouwing

Uitgaande van de bovengenoemde uitgangspunten is de m²-prijs van een complete GC-constructie (incl. filterlaag van € 8,50) berekend als functie van de rib-lengte van de GC-elementen. Het resultaat hiervan is uitgezet in figuur 3. Figuur 3 toont twee grafieken, welke zijn gebaseerd op resp. de lineaire als de niet-lineaire regressielijn uit figuur 1 en 2 voor de kg-prijs van GC-elementen.



Figuur 3 Kosten GC-constructie als functie van de GC-maat

Uit figuur 3 blijkt dat de m²-prijs van een GC-constructie als functie van de GC-maat ergens een optimum vertoont. Bij kleinere GC-maten dan het optimum neemt de m²-prijs toe als gevolg van het groter wordende aantal bewerkingen bij de fabricage van GC-elementen; bij grotere GC-maat dan het optimum nemen de kosten toe als gevolg van de toename van de hoeveelheid materiaal in de constructie.

Bij een lineaire kg-prijsgrafiek worden – bij bovengenoemde uitgangspunten – de laagste kosten bereikt bij GC 120/4,8, met een totale constructieprijis van € 33,90.

Dit betekent dat een GC-constructie altijd duurder is dan breuksteen 10/60 kg en maximaal € 4,00 per m² goedkoper dan breuksteen 40/200 kg.

Bij een niet-lineaire kg-prijsgrafiek worden – bij bovengenoemde uitgangspunten – de laagste kosten bereikt bij GC 30/1,2, met een totale constructieprijis van € 26,40.

Dit betekent dat een GC-constructie altijd duurder is dan breuksteen 10/60 kg.

De kenmerken van een GC-constructie met 120/4,8 elementen en 30/1,2 elementen kunnen worden afgelezen in tabel 3 en 4.

In de tabellen 3 en 4 wordt een overzicht gegeven van de kenmerken en de kosten van een aantal mogelijke GC-constructies, die financieel aantrekkelijk zijn t.o.v. een aantal conventionele constructies, namelijk breuksteen 10-60 kg, 40-200 kg en 60-300 kg en gepenetreerde breuksteen.

In tabel 3 en 4 de lengte van de GC-ribbe (en daarmee ook de dikte van GC-laag) zodanig gekozen dat de kosten van de GC-constructie 20 % lager zijn dan de kosten van een bepaalde breuksteen-constructie. Bij tabel 3 is de lineaire prijsgrafiek gebruikt en in tabel 4 de niet-lineaire.

Financieel aantrekkelijke GC-constructies zijn:

1 laag 95/3,8 i.p.v. breuksteen 40-200 kg, alleen bij niet-lineaire prijsgrafiek

1 laag 150/6 i.p.v. breuksteen 60/300 kg (bij beide prijsgrafieken)

1 laag 240/9,6 i.p.v. gepenetreerde breuksteen (bij beide prijsgrafieken)

Dit geldt alleen bij de aanname dat een enkele laag van GC-elementen met een volumefactor van 1,8 voldoende is. Dit is constructief twijfelachtig. Uit een speelproef van Boskma volgt dat een laag ontstaat met een volumefactor van 2,45.

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van kosten bij een laagdikte van 1,5*Dribbe met een volumefactor 1,8. Dit komt overeen met een enkele laag met een volumefactor van 2,7.

In dit geval is de enige financieel aantrekkelijke GC-constructie:

1,5 laag 115/4,6 i.p.v. gepenetreerde breuksteen (bij niet-lineaire prijsgrafieken)

5.7 Kosten van kunststof GC-constructie

Van kunststof GC-elementen zijn de volgende prijsopgaven beschikbaar:

50/4: € 0,06 per stuk (Omefa Nieuwkoop, glasvezelversterkt PE)

80/6: € 0,08 per stuk (Polynorm, X-profiel versterkte kunststof)

200/8: € 0,91 per stuk (Omefa Nieuwkoop, glasvezelversterkt PE)

200/8: € 0,20 à € 0,31 per stuk (Prince kunststofbuw), welke prijs als volgt is opgebouwd:

- materiaalkosten: € 0,10 per stuk (incl. glasvezelversterking)

- bewerkingskosten: € 0,10 à € 0,21 per stuk

Spuitgieten in een mal kost € 50,= per uur.

In één definitieve mal kunnen minimaal 8 stuks tegelijk worden gemaakt.

De tijdsduur van het spuitgieten bedraagt 1 à 2 minuten per uur.

In tabel 2 (zie volgende pagina) is de m2-prijs van een oever- of bodembescherming met kunststof GC-elementen 80/6 en 200/8 berekend. Er is gerekend met een laagdikte van 1,0 maal de GC-ribbe en er is gerekend met een volumefactor van 1,8 en van 2,4. (De factor 2,4 volgt uit een speelproef van de heer Boskma). De totale constructieprijs is berekend incl. 20% royalties, 30% kosten transport en aanbrengen en € 8,50 voor de filterconstructie.

Bij de 80/6 elementen met volumefactor 1,8 komt de totale constructieprijs op € 42,= per m2. Deze prijs is hoger dan die van een conventionele constructie van breuksteen 40-200 kg en ca. € 2,00 lager dan de m2-prijs van breuksteen 60-300 kg. Het moet echter als uitgesloten worden beschouwd dat één laag van 80/6 kunststof elementen bestand is tegen de hydraulische belasting van breuksteen 60-300 kg.

Als voor de 200/8 elementen wordt uitgegaan van een stuksprijs van €0,25, dan wordt de m2-prijs van een constructie met 200/8 elementen € 25,= of € 31,=, resp. bij een volumefactor van 1,8 of 2,4. Deze prijs is resp. 35% en 18% lager dan de prijs van € 38,= van een conventionele constructie met breuksteen 40-200 kg. De constructie met 200/8 elementen is duurder dan breuksteen 10-60 kg (€ 24,= per m2).

Door het relatief lage soortelijke gewicht van kunststof zijn de kunststof elementen ook relatief licht: 200/8 elementen wegen circa 100 gram per stuk en de laag van 200/8 elementen weegt 5 à 6 kg per m2. Het is de vraag of dit gewicht groot genoeg is om de hydraulische belasting passend bij breuksteen 40-200 kg te weerstaan. Deze vraag zou door een fysische test beantwoord moeten worden.

Tabel 2 Kosten bescherming met kunststof GC-elementen

Primaire constructieparameters

L_ribbe	80	200	200	mm
d_ribbe	6	8	8	mm
laagdikte	0.08	0.20	0.20	m
==> volumefactor	1.8	1.8	2.4	
dichtheid kunststof	1.5	1.5	1.5	ton/m3
prijs per stuk	€ 0.08	€ 0.25	€ 0.25	€/stuk

Afgeleide parameters (L_totaal = 6,8*L_ribbe)

laagdikte / L_ribbe	1	1	1	
L_ribbe / d_ribbe	13.33333	25	25	
gewicht per stuk	0.023	0.103	0.103	kg
aantal per m3	3,516	225	300	1/m3
holle ruimte perc.	94.6%	98.5%	97.9%	
vol. gewicht	81	23	31	kg/m3
aantal per m2	281	45	60	1/m2
gewicht/m2	6.5	4.6	6.2	kg/m2

Kosten

materiaalkosten	€ 22.5	€ 11.3	€ 15.0	€/m2
kosten royalty's (20%)	€ 4.5	€ 2.3	€ 3.0	€/m2
kosten transport en aanbrengen (30%)	€ 6.8	€ 3.4	€ 4.5	€/m2
kosten filterconstructie	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€/m2
totale kosten	€ 42	€ 25	€ 31	€/m2

5.8 Conclusies

De m²-prijs van een GC-constructie als functie van de GC-maat vertoont ergens een optimum. Bij kleinere GC-maten dan het optimum neemt de m²-prijs toe als gevolg van het groter wordende aantal bewerkingen bij de fabricage van GC-elementen; bij grotere GC-maat dan het optimum nemen de kosten toe als gevolg van de toename van de hoeveelheid materiaal in de constructie.

GC-elementen kunnen alleen financieel aantrekkelijk zijn als de afmetingen niet te klein zijn: riblengte minimaal 10 cm. Bij kleinere riblengte wordt de stuksprijs van de elementen te hoog. GC-elementen met een riblengte van minimaal 10 cm zijn alleen financieel aantrekkelijk als zij worden aangebracht in plaats van een zware conventionele bescherming, d.w.z. bij zeer hoge hydraulische belasting (uniforme stroomsnelheid van 5 m/s).

Stalen GC-elementen

Een constructie met stalen GC-elementen is in geen enkele maat financieel concurrerend met breuksteen 10/60 en breuksteen 40-200 kg. (Alleen met zeer optimistische uitgangspunten is de constructie mogelijk concurrerend met 40-200 kg).

Stalen GC-elementen kunnen mogelijk financieel concurrerend zijn met breuksteen 60-300 kg. Maar bij wat ongunstigere uitgangspunten is een GC-constructie alleen concurrerend met andere dure constructies zoals gepenetreerde breuksteen, blokkenmatten of asfaltmatten.

Uitgaande van een laagdikte van 1,5*Dribbe met een volumefactor 1,8 is de enige constructie die financieel aantrekkelijk is: 115/4,6 elementen i.p.v. gepenetreerde breuksteen. Het is onwaarschijnlijk dat deze GC-elementen dezelfde stabiliteit hebben als gepenetreerde breuksteen.

Stalen GC-elementen hebben in zout water vanwege corrosie een geheel onbetrouwbare levensduur (ook beneden de waterlijn). In zoet water wordt verwacht dat de ribdiameter van stalen elementen door corrosie zal afnemen met 3 mm in 20 jaar. Dit betekent dat voor een levensduur van 20 jaar in zoet water de ribdiameter minimaal 5 mm moet bedragen.

Op grond van de in deze notitie gehanteerde uitgangspunten is een constructie met stalen GC-elementen vanuit het oogpunt van kosten en levensduur geen reële optie.

Kunststof elementen

Kunststof elementen 200/8 zijn qua kosten concurrerend met een conventionele constructie met breuksteen 40-200 kg.

Door het relatief lage soortelijke gewicht van kunststof zijn de kunststof elementen ook relatief licht: 200/8 elementen wegen circa 100 gram per stuk en de laag van 200/8 elementen weegt 5 à 6 kg per m². De stabiliteit van de elementen zou door een fysische test aangetoond moeten worden.

Bijlage bij Hoofdstuk 5: tabellen

Tabel 3 Kosten bescherming met stalen GC-elementen
kg-prijs lineair met aantal per kg, laagdikte 1,0*Dribbe

vergelijkbaar met:	10-60 kg	40-200kg	60-300kg	penetratie	afwijkende aannames (zie omkadering)		
					40-200	40-200	
Materiaalparameters							
dichtheid van staal	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	ton/m3
staalprijs	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	€/kg
Primaire constructieparameters							
==> L_ribbe	120	120	150	230	180	135	mm
d_ribbe	4.8	4.8	6	9.2	6.00	4.5	mm
laagdikte	0.12	0.12	0.15	0.23	0.18	0.20	m
volumefactor	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
Afgeleide parameters (L_totaal = 6,8*L_ribbe)							
==> laagdikte / L_ribbe	1	1	1	1	1	1.5	
==> L_ribbe / d_ribbe	25	25	25	25	30	30	
volume per stuk	14.77	14.77	28.84	103.97	34.61	14.60	cm3
gewicht per stuk	0.116	0.116	0.226	0.816	0.272	0.115	kg
aantal per m3	1,042	1,042	533	148	309	732	1/m3
holle ruimte perc.	98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	98.9%	98.9%	
vol. gewicht	121	121	121	121	84	84	kg/m3
aantal per m2	125	125	80	34	56	148	1/m2
gewicht/m2	14	14	18	28	15	17	kg/m2
aantal per kg staal	8.6	8.6	4.4	1.2	3.7	8.7	
prijs per stuk (alleen staalprijs)	€ 0.070	€ 0.070	€ 0.136	€ 0.490	€ 0.163	€ 0.069	€/stuk
LIN: prijs per kg (staal+productie)	€ 1.169	€ 1.169	€ 0.986	€ 0.848	€ 0.955	€ 1.173	
prijs per stuk (staal en productie)	€ 0.135	€ 0.135	€ 0.223	€ 0.692	€ 0.259	€ 0.134	
Kosten							
materiaalkosten (lineair)	€ 16.9	€ 16.9	€ 17.9	€ 23.6	€ 14.4	€ 19.9	€/m2
kosten royalty's (20% van materiaalkosten)	€ 3.4	€ 3.4	€ 3.6	€ 4.7	€ 2.9	€ 4.0	€/m2
kosten transport en aanbrengen (30% van materiaalkosten)	€ 5.1	€ 5.1	€ 5.4	€ 7.1	€ 4.3	€ 6.0	€/m2
kosten filterconstructie	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€/m2
totale kosten	€ 33.9	€ 33.9	€ 35.3	€ 43.8	€ 30.1	€ 38.4	€/m2
kosten breuksteen constructie	€ 24	€ 38	€ 44	€ 55	€ 38	€ 38	€/m2
80% van kosten breuksteen	€ 19.2	€ 30.4	€ 35.2	€ 44.0	€ 30.4	€ 30.4	

Tabel 4 Kosten bescherming met stalen GC-elementen
kg-prijs niet lineair met aantal per kg, laagdikte 1,0*Dribbe

	vergelijkbaar met:						afwijkende aannames (zie omkadering)	
		10-60 kg	40-200kg	60-300kg	penetratie	40-200	40-200	
Materiaalparameters								
dichtheid van staal		7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	ton/m3
staalprijs		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	€/kg
Primaire constructieparameters								
==> L_ribbe		30	95	150	240	35	60	mm
d_ribbe		1.2	3.8	6	9.6	1.4	2	mm
laagdikte		0.03	0.10	0.15	0.24	0.05	0.09	m
volumefactor		1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
Afgeleide parameters (L_totaal = 6,8*L_ribbe)								
==> laagdikte / L_ribbe		1	1	1	1	1.5	1.5	
==> L_ribbe / d_ribbe		25	25	25	25	25	30	
volume per stuk		0.23	7.33	28.84	118.13	0.37	1.28	cm3
gewicht per stuk		0.002	0.058	0.226	0.927	0.003	0.010	kg
aantal per m3		66,667	2,099	533	130	41,983	8,333	1/m3
holle ruimte perc.		98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	98.9%	
vol. gewicht		121	121	121	121	121	84	kg/m3
aantal per m2		2,000	199	80	31	2,204	750	1/m2
gewicht/m2		4	11	18	29	6	8	kg/m2
aantal per kg staal		552.1	17.4	4.4	1.1	347.7	99.4	
prijs per stuk (alleen staalprijs)		€ 0.001	€ 0.035	€ 0.136	€ 0.556	€ 0.002	€ 0.006	€/stuk
NIET prijs per kg (staal+productie)		€ 3.290	€ 1.274	€ 0.990	€ 0.822	€ 2.836	€ 1.954	
LIN: prijs per stuk (staal en productie)		€ 0.006	€ 0.073	€ 0.224	€ 0.762	€ 0.008	€ 0.020	
Kosten								
materiaalkosten (niet-lineair)		€ 11.9	€ 14.6	€ 17.9	€ 23.8	€ 18.0	€ 14.7	€/m2
kosten royalty's (20% van materiaalkosten)		€ 2.4	€ 2.9	€ 3.6	€ 4.8	€ 3.6	€ 2.9	€/m2
kosten transport en aanbrengen (30% van materiaalkosten)		€ 3.6	€ 4.4	€ 5.4	€ 7.1	€ 5.4	€ 4.4	€/m2
kosten filterconstructie		€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€/m2
totale kosten		€ 26.4	€ 30.4	€ 35.4	€ 44.2	€ 35.5	€ 30.6	€/m2
kosten breuksteen constructie		€ 24	€ 38	€ 44	€ 55	€ 38	€ 38	€/m2
80% van kosten breuksteen		€ 19.2	€ 30.4	€ 35.2	€ 44.0	€ 30.4	€ 30.4	

Tabel 5 Kosten bescherming met stalen GC-elementen
kg-prijs niet lineair met aantal per kg, laagdikte 1,5*Dribbe

	vergelijkbaar met:						afwijkende aannames (zie omkadering)	
		10-60 kg	40-200kg	60-300kg	penetratie	40-200	40-200	
Materiaalparameters								
dichtheid van staal		7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	ton/m3
staalprijs		0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	€/kg
Primaire constructieparameters								
==> L_ribbe		30	30	40	115	35	60	mm
d_ribbe		1.2	1.2	1.6	4.6	1.4	2	mm
laagdikte		0.05	0.05	0.06	0.17	0.05	0.09	m
volumefactor		1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
Afgeleide parameters (L_totaal = 6,8*L_ribbe)								
==> laagdikte / L_ribbe		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
==> L_ribbe / d_ribbe		25	25	25	25	25	30	
volume per stuk		0.23	0.23	0.55	13.00	0.37	1.28	cm3
gewicht per stuk		0.002	0.002	0.004	0.102	0.003	0.010	kg
aantal per m3		66,667	66,667	28,125	1,184	41,983	8,333	1/m3
holle ruimte perc.		98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	98.5%	98.9%	
vol. gewicht		121	121	121	121	121	84	kg/m3
aantal per m2		3,000	3,000	1,688	204	2,204	750	1/m2
gewicht/m2		5	5	7	21	6	8	kg/m2
aantal per kg staal		552.1	552.1	232.9	9.8	347.7	99.4	
prijs per stuk (alleen staalprijs)		€ 0.001	€ 0.001	€ 0.003	€ 0.061	€ 0.002	€ 0.006	€/stuk
NIET prijs per kg (staal+productie)		€ 3.290	€ 3.290	€ 2.504	€ 1.136	€ 2.836	€ 1.954	
LIN: prijs per stuk (staal en productie)		€ 0.006	€ 0.006	€ 0.011	€ 0.116	€ 0.008	€ 0.020	
Kosten								
materiaalkosten (niet-lineair)		€ 17.9	€ 17.9	€ 18.1	€ 23.7	€ 18.0	€ 14.7	€/m2
kosten royalty's (20% van materiaalkosten)		€ 3.6	€ 3.6	€ 3.6	€ 4.7	€ 3.6	€ 2.9	€/m2
kosten transport en aanbrengen (30% van materiaalkosten)		€ 5.4	€ 5.4	€ 5.4	€ 7.1	€ 5.4	€ 4.4	€/m2
kosten filterconstructie		€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€ 8.5	€/m2
totale kosten		€ 35.3	€ 35.3	€ 35.7	€ 44.0	€ 35.5	€ 30.6	€/m2
kosten breuksteen constructie		€ 24	€ 38	€ 44	€ 55	€ 38	€ 38	€/m2
80% van kosten breuksteen		€ 19.2	€ 30.4	€ 35.2	€ 44.0	€ 30.4	€ 30.4	

Hoofdstuk 6 Conclusies en aanbeveling

6.1 Conclusies Bureaustudie naar het gebruik van GC voor Bodem- en Oeverbescherming

- 1) Er zijn enkele eenvoudige experimenten uitgevoerd om een impressie te krijgen van hydraulische aspecten van de Ground Consolidator. Hierbij zijn kwalitatief de stabiliteit in stroming (met turbulentie) en de stabiliteit onder golfaanval (dus rond de waterlijn) bekeken. De stabiliteit onder stroming bleek heel groot te zijn, ook in extreme situaties blijven de GC goed liggen. De stabiliteit van de GC onder golfaanval is vrij groot. Er kan een redelijk steil talud gebouwd worden. Onder de GC laag is de waterbeweging nog steeds zeer turbulent hetgeen betekent dat de laag onder de GC's geometrisch volledig stabiel moet zijn.
- 2) Er is gekeken naar materialen, met name naar staal en glasversterkte kunststoffen. Staal heeft het voordeel van grote stijfheid en hoge soortelijke massa. Een belangrijk nadeel is corrosie, met name in zout water. In zout water is de duurzaamheid van stalen GC's geheel onbetrouwbaar. In zoet water kunnen GC-elementen een levensduur van 20 jaar hebben, mits de ribdiameter minimaal ca. 5 mm bedraagt. Conclusie is dat staal een aantrekkelijk materiaal is bij tijdelijke constructies in zout water en bij relatief zware constructies in zoet water. Kunststof kent niet of nauwelijks genoemd corrosieprobleem. Er is veel kennis van, en regelgeving voor het gebruik van bepaalde kunststoffen in het milieu, bijvoorbeeld voor leidingen, en het ligt voor de hand GC's dan ook van dit kunststoffen (polyethyleen, Polycarbonaat etc) te maken. Nadeel van kunststof is het lage soortelijk gewicht (ca 1.4 bij maximale glasvulling). Uit deze bureaustudie kunnen we echter niet goed voorspellen wat de invloed van dit lagere gewicht zal zijn op de stabiliteit van het pakket, en dit is dan ook het logische thema voor een praktisch vervolgonderzoek.
- 3) Er is in detail gekeken naar kosten van de diverse oplossingen. Er zijn offertes aangevraagd voor GC's in staal en kunststof, in diverse maten. Tevens zijn kosten berekend van het aanbrengen van traditionele (steen) bodem- en oeverbescherming, en deze zijn vergeleken met de diverse GC oplossingen. De kostprijs van beschermingsconstructies met GC's als functie van de GC-maat kent een optimum. Bij kleine maten worden de fabricagekosten excessief, bij grote maten is de absolute hoeveelheid materiaal prijsbepalend. Stalen GC's blijken in geen enkele maatvoering op kostprijs te kunnen concurreren met een traditionele stenen bescherming. Ze kunnen alleen concurreren met andere dure constructies, zoals blokkenmatten

of asfaltmatten, waarbij betwijfeld wordt of de GC-constructie een vergelijkbare stabiliteit kan hebben. Kunststof GC blijken bij maatvoering in de range 150 – 200 mm ribbe wel financieel concurrerend te zijn.

6.2 Aanbeveling 2^e fase

Het onderzoeksteam komt tot de conclusie dat het zinvol is om het gebruik van kunststof GC's verder te onderzoeken. Een risicopunt is verminderde stabiliteit t.g.v. het lagere soortelijke gewicht.

Het voorstel is dan ook om een korte tweede testfase te starten, waarin de stabiliteit van GC's van kunststof in de stromings- en in de golfslagoot worden getest, en vergeleken met stalen GC's in dezelfde maatvoering, nl 50/4 mm.

Bij de tweede testfase zal tevens aandacht worden besteed aan de stabiliteit van het filtermateriaal onder de GC's.

Filename: Eindverslag C1, versie 1.doc
Directory: D:\archief\Projecten\Anome
Template: H:\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title:
Subject:
Author: lieuwe
Keywords:
Comments:
Creation Date: 9/16/2005 9:11:00 AM
Change Number: 6
Last Saved On: 9/16/2005 2:25:00 PM
Last Saved By: lieuwe
Total Editing Time: 309 Minutes
Last Printed On: 8/17/2009 3:20:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 28
Number of Words: 8.394 (approx.)
Number of Characters: 47.847 (approx.)