GW

Notitie

Ingenieursbureau

Bezoekadres: Galvanistraat 15
Postadres: Postbus 6633
3002 AP Rotterdam
Website: www.gw.rotterdam.nl

Van: ir. T. Blokland MSc.
Kamer: 16.12 Europoint III
Telefoon: (010) 4894642
Fax: (010) 4896159
E-mail: T.Blokland@gw.rotterdam.nl

Aan : L. Boskma; H.J. Verhagen; F. Jonker; J.G. de Gijt; P.M. Kuijper
Datum : 15 september
Betreft : kosten en duurzaamheid van oever- en bodembeschermingsconstructies met Ground Consolidator
Versie : 6

Inhoud

Inleiding 1
Gangbare bodem- en oeverbeschermingsconstructies 1
Ontwerp van bodem- of oeverbescherming met GC 3
Corrosie van stalen elementen 4
Kosten van conventionele constructies 4
Kosten van stalen GC-constructie 5
Kosten van kunststof GC-constructie 9
Conclusies 11

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 onderwater-bodem 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.

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 (β=0,7)	3,6 m/s	4,4 m/s	4,8 m/s
hoog turbulente stroming (schroefstralen) (β=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 zinkstuk[1] 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.

[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.

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.

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 à 150 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

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 ton/m^3 in verhouding tot 1,5 à 1,8 ton/m^3 bij kunststof. Onder water is dit 6,8 ton/m^3 in verhouding tot 0,5 à 1,5 ton/m^3.

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 mm/jaar,
- in zout water gemiddeld 0,12 mm/jaar, maar bij bepaalde condities (zoals veel stroming) ook hogere waarden tot 1,0 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.

Kosten van conventionele constructies

Voor een aantal gangbare oever- en bodembeschermingen is een globale raming van de directe bouwkosten per m^2 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/m^2 met opgestikt

nonwoven geotextiel170 g/m^2, met een roosterwerk van twee lagen rijshouten wiepen h.o.h. 1,0 m). Kosten van zinkstuk ca. € 9,= per m^2.

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

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

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/m^2) financieel aantrekkelijk als maximaal 11 kg staal wordt gebruikt in de toplaag. In vergelijking met breuksteen 60-300 kg (1670 kg/m^2, incl. onderlaag) is maximaal 24 kg staal nog rendabel.

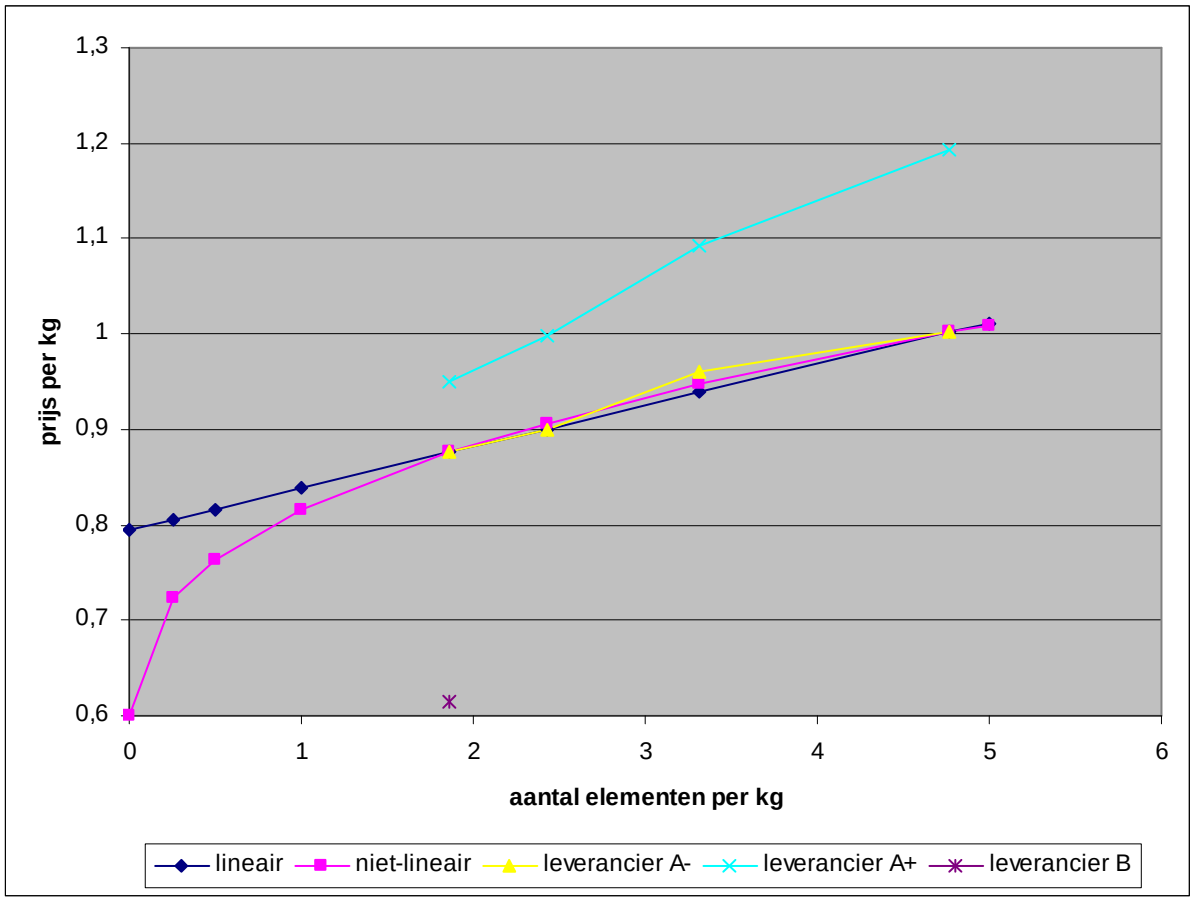
Uitgangspunten m.b.t. prijs van stalen GC-elementen

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

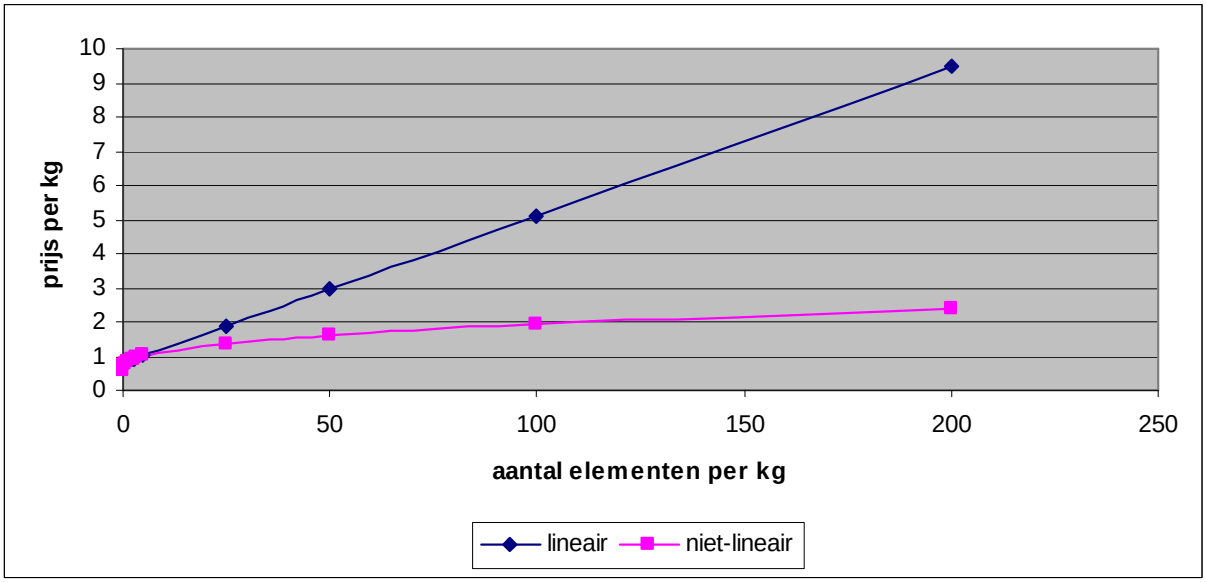
Deze prijzen omgerekend naar prijzen per kg staal zijn in grafieken uitgezet in figuur 1. De ondergrens van de prijsopgave is uitgezet als ‘leverancier A-’. De bovengrens is uitgezet als ‘leverancier A+’.
Leverancier B heeft een lagere prijs opgegeven van leverancier A, namelijk € 0,33 voor 200/8, overeenkomend 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.



Figuur 1 Prijsopgave leverancier A en B en regressie grafieken



Figuur 2 Extrapolatie van regressie grafieken

Overige uitgangspunten voor kostenanalyse

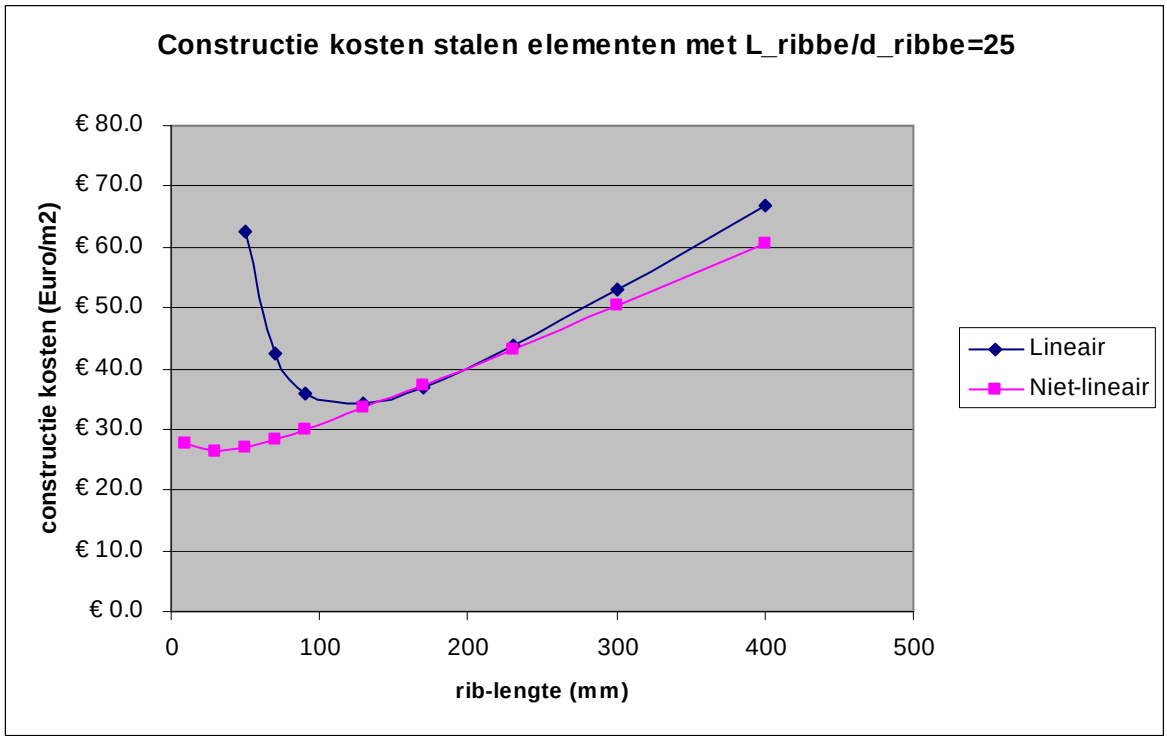
In het vervolg wordt er van uit gegaan dat een GC-constructie in vergelijking tot een conventionele constructie alleen financieel aantrekkelijk is als de kosten van de GC-constructie maximaal 80% van de kosten van de conventionele constructie bedragen.

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

1. Royalties 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 constructieprijs 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 constructieprijs 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 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)

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 kunststofbouw), 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 royalties (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**

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 èn 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.

OG

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

						afwijkende aannames (zie omkadering)		
	vergelijkbaar met:	**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**	**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 royalties (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*	

0G

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

						afwijkende aannames (zie omkadering)		
	vergelijkbaar met:	**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 royalties (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*	

ΘG

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

						afwijkende aannames (zie omkadering)		
	vergelijkbaar met:	**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 royalties (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*	

Filename: Kosten GC constructies v6.doc
Directory: D:\archief\Projecten\Anome
Template: K:\IRI_HuisstijlXPNL_S\Correspondentie\Sjablonen\Notitie.dot
Title: Notitie
Subject:
Author: teblok
Keywords:
Comments:
Creation Date: 9/15/2005 9:54:00 AM
Change Number: 4
Last Saved On: 9/15/2005 2:04:00 PM
Last Saved By: teblok
Total Editing Time: 205 Minutes
Last Printed On: 8/17/2009 3:18:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 14
Number of Words: 4.610 (approx.)
Number of Characters: 26.282 (approx.)