

# De Anome Ground Consolidator als pijplijnbescherming

*Een onderzoek naar de valpijp als aanlevermethode voor Ground Consolidators  
op diepte*

Datum: 19-06-2011

Onderzoek door:

Michiel Veldman (1334158)

Mark de Kloet (1363336)

Begeleider:

Ir. H.J. Verhagen

In opdracht van:





# Voorwoord

---

Het rapport voor u omvat het onderzoek naar Anome Ground Consolidators als alternatieve manier voor pijplijnbescherming. In dit onderzoek is voornamelijk gekeken naar het gebruik van een verticale valpijp als geleidingsmethode voor de Ground Consolidators naar de zeebodem.

Dit onderzoek is gedaan in het kader van het bachelor eindwerk van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit te Delft.

Voor dit onderzoek zijn gedurende zeven weken verscheidene modelproeven uitgevoerd op de Breebot werf van Koninklijke Boskalis Westminster NV te Dordrecht. De uit deze modelproeven verkregen resultaten en andere bevindingen worden in het rapport besproken.

Onze dank gaat uit naar ir. H.J. Verhagen die ons met de nodige raad heeft bijgestaan. Wij bedanken ook Lieuwe Boskma voor het leveren van de model GC's en Dries Hof voor het in ons gestelde vertrouwen. Ook danken wij Paul van Langen, Jan Korver en de overige werknemers aan de Breebot werf voor de assistentie tijdens de experimenten. Daarnaast zijn wij Koninklijke Boskalis Westminster NV als geheel dankbaar voor het beschikbaar stellen van een proefopstelling en alle daarvoor benodigde middelen.

Mark de Kloet  
Michiel Veldman  
Delft, 19 juni 2011



# Samenvatting

---

Voor het beschermen van pijpleidingen op de zeebodem wordt gebruik gemaakt van stortsteen.

Echter is er nu een alternatief materiaal ontwikkeld, de ground consolidator. Een met barium verzaard, van kunststof gemaakt voorwerp bestaande uit zeven staven die gezamenlijk de vorm van een open kubus hebben. Dit geeft de ground consolidator de eigenschap in elkaar te haken en door het gecreëerde luwtegebied zand vast te houden.

Ons onderzoek moet uitwijzen of deze ground consolidator een goed alternatief is voor het tot nu toe gebruikte stortsteen. Hierbij beperken wij ons tot het storten door middel van een valpijp. Daarnaast bestaat de proefopstelling uit een bak met stilstaand water. Er is dus geen sprake van een horizontale stroming.

Er zijn verschillende proeven uitgevoerd, beginnende met het afwerpmechanisme van de ground consolidators, de aanlevermethode. Het grote probleem van vroegtijdig klitten moest opgelost worden. Uiteindelijk is er, na een ontwerpfasen met vijf verschillende varianten, met de beste oplossing, de gefixeerde goot met inkepingen, verder gegaan.

Vervolgens is er een aantal proeven met de valpijp gedaan. Zo zijn de verschillende valsnelheden van de ground consolidator in de valpijp bepaald door al dan niet gebruik te maken van een toegevoegd debiet. Met deze gegevens valt de dosering van de ground consolidators in de valpijp te bepalen. Ook is de ideale hoogte die de valpijp moet hebben ten opzichte van de bodem onderzocht. Bepalend hiervoor is de spreiding die de ground consolidators hebben wanneer ze in open water worden losgelaten.

Met de resultaten die uit deze onderzoeken voortkwamen kan een formule opgesteld worden die de verhouding tussen de vaarsnelheid, zijdelingse beweging en lossnelheid weergeeft.

Uiteindelijk, met het in acht nemen van onze randvoorwaarden, is het mogelijk een voorwaartse vaarsnelheid te behalen van 2,5 meter per minuut. Dit is een stuk sneller dan de snelheid die er met stortsteen bereikt wordt. Hiermee lijkt er vooralsnog toekomst te zitten in het gebruik van GC's als bescherming. Echter zal er nog naar vele punten gekeken moeten worden die wij niet in ons onderzoek hebben meegenomen.

# Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>- 9 -</b>
1.1	PROBLEEMSTELLING	- 9 -
1.2	DOELSTELLING	- 9 -
1.3	AANPASSINGEN TIJDENS ONDERZOEKSFASE	- 10 -
1.3.1	<i>De probleemstelling</i>	- 10 -
1.3.2	<i>De doelstelling</i>	- 10 -
1.4	OPBOUW VAN HET VERSLAG	- 10 -
<b>2.</b>	<b>HET ONDERZOEK</b>	<b>- 11 -</b>
2.1	DE PROEFOPSTELLING	- 11 -
2.2	AANLEVERMETHODEN	- 11 -
2.3	HET VALPIJPONDERZOEK	- 12 -
2.4	HOOGTE VALPIJP TEN OPZICHTE VAN DE BODEM	- 14 -
2.4.1	<i>Spreiding</i>	- 14 -
2.4.2	<i>Wegblaaseffect</i>	- 14 -
2.4.3	<i>De GC deken en overige bevindingen uit het videomateriaal</i>	- 14 -
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>- 17 -</b>
3.1	AANLEVERMETHODE	- 18 -
3.1.1	<i>Conclusie</i>	- 18 -
3.1.2	<i>Aanbeveling</i>	- 18 -
3.2	DE VALPIJP	- 18 -
3.2.1	<i>Conclusie</i>	- 18 -
3.2.2	<i>Aanbeveling</i>	- 19 -
3.3	DEBIET	- 19 -
3.3.1	<i>Conclusie</i>	- 19 -
3.3.2	<i>Aanbeveling</i>	- 20 -
3.4	HOOGTE VALPIJP TEN OPZICHTE VAN BODEM	- 20 -
3.4.1	<i>Conclusie</i>	- 20 -
3.4.2	<i>Aanbeveling</i>	- 20 -
3.5	DE GC DEKEN	- 21 -
3.5.1	<i>Conclusie</i>	- 21 -
3.6	BEVOORRADING	- 22 -
3.6.1	<i>Aanbeveling</i>	- 22 -
3.7	VERGELIJKING STORTSTEEN/GC'S	- 22 -
3.8	SCHAALVERGROTING	- 23 -
3.8.1	<i>Aanlevermethode</i>	- 23 -
3.8.2	<i>De valpijp</i>	- 23 -
3.8.3	<i>Debiet</i>	- 23 -
3.8.4	<i>Hoogte valpijp ten opzichte van bodem</i>	- 23 -
3.8.5	<i>De GC deken</i>	- 23 -
3.9	BEANTWOORDING DEELVRAGEN	- 24 -
<b>A.</b>	<b>ANOME GROUND CONSOLIDATORS</b>	<b>- 25 -</b>
A.1.	DE ANOME GROUND CONSOLIDATOR	- 25 -
A.2.	DE VORM VAN DE GC	- 25 -
A.3.	BEKENDE TOEPASSINGEN	- 25 -
A.3.1.	<i>Grondverankering</i>	- 26 -
A.3.2.	<i>Oeverbescherming (B-Shore)</i>	- 26 -
A.3.3.	<i>Kunstriffen</i>	- 27 -
A.4.	DE GC ALS PIJPLIJN BESCHERMING	- 27 -
<b>B.</b>	<b>DE VALPIJP</b>	<b>- 29 -</b>

B.1.	HET VALPIJPPRINCIPE .....	- 29 -
B.2.	SNELHEID IN DE VALPIJP .....	- 29 -
B.3.	SOORTEN VALPIJP .....	- 30 -
<b>C.</b>	<b>DE PROEFOPSTELLING .....</b>	<b>- 31 -</b>
C.1.	DE PROEFOPSTELLING .....	- 31 -
C.2.	SCHALING .....	- 31 -
C.3.	HULPMIDDELEN .....	- 32 -
C.3.1.	<i>De goot</i> .....	- 32 -
C.3.2.	<i>De geautomatiseerde goot</i> .....	- 32 -
C.3.3.	<i>Het schepnet</i> .....	- 32 -
C.3.4.	<i>De haak</i> .....	- 32 -
C.3.5.	<i>De knipper</i> .....	- 33 -
C.3.6.	<i>De pomp</i> .....	- 33 -
C.3.7.	<i>De waterbak</i> .....	- 33 -
C.3.8.	<i>De waterdecelerator</i> .....	- 33 -
C.3.9.	<i>De onderwatercamera</i> .....	- 33 -
<b>D.</b>	<b>DE EXPERIMENTEN .....</b>	<b>- 35 -</b>
D.1.	MEETONNAUWKEURIGHEID .....	- 35 -
D.2.	AANLEVERMETHODE .....	- 35 -
D.2.1.	<i>Vrij zijdelings vallen</i> .....	- 35 -
D.2.2.	<i>Boveninklemming</i> .....	- 36 -
D.2.3.	<i>Gefixeerde goot met inkepingen</i> .....	- 36 -
D.2.4.	<i>Gefixeerde goot</i> .....	- 36 -
D.2.5.	<i>Spanning/snelheid verhouding</i> .....	- 37 -
D.2.6.	<i>De spindel</i> .....	- 38 -
D.3.	VALSNELHEID GC IN WATER .....	- 38 -
D.3.1.	<i>Kleine GC (5x5cm) van boven wateroppervlak</i> .....	- 38 -
D.3.2.	<i>Grote GC (30x30cm) van boven wateroppervlak</i> .....	- 39 -
D.3.3.	<i>Kleine GC (5x5cm) van onder wateroppervlak</i> .....	- 40 -
D.3.4.	<i>Grote GC (30x30cm) van onder wateroppervlak</i> .....	- 41 -
D.3.5.	<i>Weerstandscoefficiënt voor grote en kleine GC</i> .....	- 42 -
D.4.	VALSNELHEID GC IN VALPIJP .....	- 43 -
D.4.1.	<i>GC in valpijp (∅10cm)</i> .....	- 43 -
D.4.2.	<i>GC in valpijp (∅15cm)</i> .....	- 44 -
D.4.3.	<i>GC's in valpijp (∅20cm)</i> .....	- 45 -
D.5.	GC'S IN VALPIJP MET TOEGEVOEGD DEBIET .....	- 46 -
D.5.1.	<i>GC's in valpijp ∅10cm, gevuld tot 5cm boven wateroppervlak</i> .....	- 46 -
D.5.2.	<i>GC's in valpijp ∅10cm, gevuld tot 10cm boven wateroppervlak</i> .....	- 47 -
D.5.3.	<i>GC's in valpijp ∅15cm, gevuld tot 1cm boven wateroppervlak</i> .....	- 47 -
D.6.	GC'S IN VALPIJP MET MINDER TURBULENT DEBIET .....	- 48 -
D.6.1.	<i>GC's in valpijp ∅10cm, gevuld tot 5cm boven wateroppervlak</i> .....	- 48 -
D.6.2.	<i>GC's in valpijp verschillende diameters met verschillende debieten</i> .....	- 49 -
D.7.	AFSTAND TUSSEN DE VALPIJP EN DE ZEEBODEM .....	- 51 -
D.7.1.	<i>Hoogte valpijp door invloed van wegblazen</i> .....	- 51 -
D.7.2.	<i>Hoogte valpijp door invloed van spreiding</i> .....	- 52 -
D.8.	BEPALING DEBIET/STROOMSNELHEDEN .....	- 55 -
D.9.	DE DICHTHEID VAN DE GC DEKEN .....	- 58 -
D.10.	VIDEO GERELATEERDE EXPERIMENTEN .....	- 58 -
D.10.1.	<i>Gedrag GC's onder valpijp ∅20 cm met toegevoegd debiet</i> .....	- 58 -
D.10.2.	<i>Verskil GC's buiten de valpijp en binnen de valpijp</i> .....	- 58 -
D.10.3.	<i>Meerdere GC's snel achter elkaar</i> .....	- 59 -
D.10.4.	<i>GC's in schuine valpijp</i> .....	- 59 -
D.10.5.	<i>Transparante valpijp 15cm</i> .....	- 59 -
D.10.6.	<i>Gedrag GC's onder de valpijp (wegspoelen)</i> .....	- 60 -
D.10.7.	<i>GC-mat</i> .....	- 60 -

<b>E.</b>	<b>VIDEOLIJST OP CHRONOLOGISCHE VOLGORDE .....</b>	<b>- 61 -</b>
E.1.	GC'S IN WATER .....	- 61 -
E.2.	VERSCHILLENDE AANLEVERMETHODEN .....	- 62 -
E.3.	PLANKJE GC'S MET DIAMETERS BUIS.....	- 63 -
E.4.	IJZEREN GOOT MET GC'S .....	- 63 -
E.5.	EXPERIMENTEN 17-5 .....	- 64 -
E.6.	EXPERIMENTEN 23 MEI.....	- 65 -
E.7.	EXPERIMENTEN 24 MEI.....	- 65 -
E.8.	EXPERIMENTEN 26 MEI.....	- 66 -
E.9.	EXPERIMENTEN 30-31 MEI .....	- 66 -
<b>F.</b>	<b>POMPGEGEVENS .....</b>	<b>- 69 -</b>
<b>G.</b>	<b>BRONNENLIJST .....</b>	<b>- 71 -</b>
<b>H.</b>	<b>LITERATUURLIJST .....</b>	<b>- 73 -</b>
<b>I.</b>	<b>SYMBOLENLIJST .....</b>	<b>- 75 -</b>



# 1. Inleiding

---

## 1.1 Probleemstelling

Een recent ontwikkeld product is de Anome Ground Consolidator (GC). Dit is een cradle-to-cradle element van met barium verzwaard kunststof dat bestaat uit de ruimtelijke structuur van zeven ribben van een kubus. Het ontwerp van een GC is zo dat verschillende GC's als een grote deken in elkaar haken wanneer ze los bij elkaar worden gegooid.

Omdat de GC een recent ontwikkeld product is, zijn er nog veel onduidelijkheden over wat de mogelijkheden voor de toepassing van de elementen zijn. Nadat in een eerder stadium succesvol naar grondverbetering, oeverbescherming, dijkbescherming en kunstriffen is gekeken, heeft het Havenbedrijf Rotterdam geïnformeerd naar de mogelijkheid om GC's te gebruiken als bescherming voor onderzeese pijpleidingen. Dit houdt in dat de GC's een mat van aaneengesloten elementen over de pijpleiding zullen moeten gaan vormen die deze beschermd tegen de schadelijke invloeden van stroming en corrosie. Hedendaags wordt voor deze toepassing stortsteen gebruikt, maar de verwachting is dat GC's op een efficiëntere en dus goedkopere manier kunnen worden toegepast. Met name de zandvangende eigenschappen van de GC's, welke in eerdere onderzoeken zijn bepaald, zijn relevant voor deze toepassing. Bij pijpleidingen treedt vaak het verschijnsel op dat door corrosie geulen ontstaan onder de pijpleiding, waardoor te grote overspanningen kunnen ontstaan en de pijp kan gaan trillen.

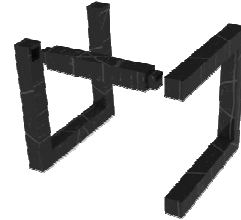
Omdat er nog nooit onderzoek naar deze toepassing van de GC gedaan is, zijn er nog veel vragen die beantwoord moeten worden met betrekking tot de aanleveringsmethode van de GC's, het gedrag van de GC's tijdens het plaatsen en de stabiliteit van de GC's op locatie. De algehele probleemstelling kan dus als volgt worden geformuleerd:

- Is de Anome Ground Consolidator een verbetering ten opzichte van de huidige methoden voor pijplijnbescherming, en wat is de beste manier om de GC's op hun plaats te krijgen?

## 1.2 Doelstelling

Omdat voor dit onderzoek een voorgeschreven maximumtijd staat is het noodzakelijk een selectie te maken welke onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden. Er is in overleg met de opdrachtgever besloten om externe stromingsinvloeden buiten beschouwing te laten. Er wordt uitsluitend gekeken naar de verticale valpijp, andere gelijdingsmechanismen worden binnen dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. Tevens is besloten dat een computermodel niet tot de gewenste resultaten behoort voor dit onderzoek en zullen wij ons dus beperken tot het analyseren en verklaren van de empirisch bepaalde resultaten. Het onderzoek heeft als doel de volgende vragen op een wetenschappelijk onderbouwde manier te beantwoorden:

- Op welke manier kunnen GC's op een constante en efficiënte manier op het schip opgeslagen en verwerkt worden?
- Is de verticale valpijp (zie bijlage B) een geschikte methode om de GC's van het schip naar de zeebodem te krijgen en wat zijn de bijbehorende optimale karakteristieken van deze methode?
- Wat is de dichtheid van de GC-deken als functie van de vaarsnelheid, lossnelheid, zijdelingse beweging en diameter van de valpijp?



Figuur 1 - De Anome Ground Consolidator

## 1.3 Aanpassingen tijdens onderzoeksfase

Omdat tijdens de onderzoeksfase vaak blijkt dat de opstelling van het probleem niet volledig dekkend is, en de gestelde doelen ietwat aangepast dienen te worden, wordt in de komende paragraaf kort aandacht besteed aan de elementen uit de oorspronkelijke probleem- en doelstelling die aangepast dienden te worden tijdens het onderzoek.

### 1.3.1 De probleemstelling

#### 1.3.1.1 Aanlevermethode

Tijdens het onderzoek bleek dat de aanlevermethode een zeer dominant probleem was binnen het onderzoek. De vorm van de GC's zorgen ervoor dat deze snel in elkaar klitten, en dat het niet vanzelfsprekend is dat de GC's afzonderlijk van elkaar gelost kunnen worden. Minstens zo belangrijk als het onderzoek naar de haalbaarheid van de valpijp bleek dus het onderzoek naar hoe de GC's op een constante doch individuele wijze in de valpijp terecht zouden kunnen komen.

#### 1.3.1.2 De valpijp

Zoals in de initiële probleemstelling al naar voren kwam, is de valpijp de meest voor de hand liggende manier om de GC's op hun plaats te krijgen. Het is echter niet noodzakelijkerwijs waar dat dezelfde karakteristieken als bij het leggen van stortsteen, ook gelden bij het leggen van GC's. De GC heeft immers een veel lagere dichtheid dan stortsteen, en zal derhalve minder snel zinken dan dat stortsteen zou doen. Hierbij kan de mogelijkheid onderzocht worden om het omliggende water een snelheid mee te geven, maar levert dit wel het gewenste resultaat? Worden de GC's wel versneld door het water, en zo ja, spoelen ze aan de onderzijde niet weg?

#### 1.3.1.3 De GC deken

Aan ander probleem dat opgelost dient te worden is de dichtheid van de GC deken op de bodem. Voor de reeds bekende toepassingen van GC's is wel ongeveer bekend wat een ideale dichtheid zou zijn, maar geldt dit ook bij de toepassing als pijplijnbescherming? En als de gewenste dichtheid bekend is, kan deze dichtheid dan ook met een acceptabele snelheid bereikt worden? Kortom, is de GC een verbetering ten opzichte van stortsteen?

### 1.3.2 De doelstelling

Met deze nieuwe problemen volgt natuurlijk ook een aangepaste doelstelling. Niet alle hiervoor genoemde problemen zijn op te lossen met de beschikbare materialen en de beschikbare tijd. Daarom worden aan de eerder opgestelde deelvragen de volgende vragen toegevoegd:

- Op welke manier kan de GC met een constante snelheid en individueel in de valpijp worden gelost?
- Wat is de invloed van een gegeven debiet op het wegspoelen van al gelegde GC's?
- Is de GC een verbetering ten opzichte van het gebruik van stortsteen?

## 1.4 Opbouw van het verslag

In het volgende hoofdstuk wordt er beknopt ingegaan op de proefopstelling, de verscheidene proeven en de daaruit voortgekomen resultaten. In hoofdstuk 3 worden de uit de resultaten behaalde conclusies besproken gevolgd door de door ons gedane aanbevelingen. In de daaropvolgende bijlagen wordt er dieper op de verschillende gedane proeven ingegaan.

## 2. Het onderzoek

---

De experimenten worden behandeld in de volgorde waarin de problemen zich voordeden. Allereerst waren er de problemen met het aanleveren van de GC's, gevolgd door de distributie van de GC's door de valpijp, de afdaling door het water, de grootte van de spreiding tot de uiteindelijke plaatsing van de deken. Naast alle meetresultaten uit de experimenten zijn er ook video-opnamen gemaakt waaruit conclusies konden worden getrokken.

Bij het analyseren van de gedane experimenten is rekening gehouden met een bepaalde meeton nauwkeurigheid, fouten zijn immers onvermijdelijk bij het meten. Voor een uitleg hierover wordt verwezen naar bijlage D.1.

### 2.1 De proefopstelling

Om de gestelde vragen afdoende te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk om verschillende experimenten te doen. Het feit dat de toepassing van de GC's als pijplijnbescherming geheel nieuw is betekent dat er niets over bekend is, en dat het onderzoek dus volledig vanaf de basis zal moeten worden opgestart. Het onderzoek is uitgevoerd met een vooraf gemaakte proefopstelling aan de Breebot werf van Boskalis in Dordrecht. Hier is een waterdichte zeecontainer met water gevuld, waar vervolgens door middel van een beweegbaar karretje en verschillende perspex buizen het gedrag van de GC's boven, in en onder de valpijp onderzocht kan worden. Voor meer informatie over de proefopstelling en de gebruikte hulpmiddelen, zie bijlage C.



Figuur 2 - de Proeflocatie

### 2.2 Aanlevermethoden

Het eerste probleem deed zich voor bij de aanlevering van de GC's. Doordat de GC's een aparte vorm hebben waardoor ze in elkaar kunnen blijven haken, was het nodig om een speciale manier te bedenken waardoor ze één voor één in het water gelost konden worden. Dit zodat de valpijp (het volgende probleem) niet verstopt raakt. Om de aanlevermethode zo optimaal mogelijk te maken is er getracht de GC's zo snel mogelijk één voor één te kunnen lossen. Hiervoor zijn meerdere methoden bedacht: het vrij zijdelings vallen, de boveninklemming, de gefixeerde goot met inkepingen, de normale gefixeerde goot, en de spindel. Deze zijn allen te vinden in bijlage D.2.

Hierbij viel de gefixeerde goot met inkepingen door zijn souplesse en eenvoud het meest op en is verder uitgewerkt. De werking is vrij simpel, de GC's staan onder een hoek in een goot. Deze hoek wordt verkregen door een opstaande strip in het midden die de GC's "fixeren". Aan het einde van deze goot zijn inkepingen aangebracht. Aan de ene zijde eerder dan aan de andere kant. Hierdoor krijgt de GC een rotatie mee, die genoeg is om over de andere GC af te draaien. Een snelle en losse afworp is het gevolg.



Figuur 3 - Uiteinde van geautomatiseerde goot

Na proeven met manueel afduwen gedaan te hebben, is er toch gekozen voor een geautomatiseerde werking. Hierna zijn met verschillende voltages, verscheidene snelheden gemeten.

Voltage [V]	Aantal GC's	Tijd [s]	Snelheid [GC's/s]
1	29	$\infty$	-
2	29	14,6	1,99
3	29	8,45	3,43
4	29	5,9	4,92
5	29	4,63	6,26
6	29	3,8	7,63
7	29	3,1	8,39
8	29	2,65	10,94
9	29	2,18	13,30
10	29	2,17	13,36
11	26	2,02	12,87

**Tabel 1 De lossnelheid van de geautomatiseerde goot**

Het is dus mogelijk met de gefixeerde goot een snelheid van 13 GC's per seconde te bereiken.

## 2.3 Het valpijponderzoek

Om het gedrag van de GC's in de valpijp te onderzoeken is besloten om een aantal buizen met verschillende diameters op te hangen in de waterbak. Hierbij is gekozen voor de al aanwezige valpijp met een diameter van 20 cm, een buis met een diameter van 10 cm, en een tussenmaat met een diameter van 15 cm. Alle buizen zijn afgezaagd op een lengte van 1,50 meter.

Vervolgens is bekeken wat de GC's doen in de buis. Met name de valsnelheid van de GC's en de invloed van de verschillende buisdiameters is hierbij interessant om te observeren. Zoals in bijlagen D.3 en D.4 is toegelicht. Het blijkt dan ook dat de invloed van de valpijp een licht vertragende werking heeft op de GC's.

Om de snelheid van de GC's in de valpijp op te voeren is vervolgens gekeken naar verschillende manieren om de snelheid in de valpijp op te voeren. Allereerst is een pomp gebruikt die direct op de valpijp werd aangesloten. Dit leverde echter te veel turbulentie op in de buis, waardoor de GC's vaak bleven hangen in de turbulente stroming die in de buis optrad, en de snelheid waarmee de bodem bereikt werd sterk afnam. Derhalve is besloten om de methode van het toevoeren van het debiet te veranderen en een bak bovenop de valpijp te bevestigen (zie bijlage C.3.7) waar het water geleidelijker in kon stromen. Dit alleen bleek echter niet genoeg om de snelheid uit het water te halen, daar het water



**Figuur 4 - Hetonderzoek met de GC in de 20cm valpijp**

aan de andere zijde van de bak nagenoeg net zo hard over de rand stroomde als het er via de slang ingepompt werd, en daarom is besloten om een waterdecelerator te ontwerpen die de snelheid zodanig uit het water haalt dat het water wel geleidelijk de valpijp instroomt (zie bijlage C.3.8). Met deze bak zou, in theorie, ook de hoeveelheid debiet geregeld kunnen worden, ware het niet dat de gebruikte pomp niet het benodigde debiet had om de capaciteit van de gebruikte buis te overstijgen en de bak te vullen (zie bijlage D.7.3).

De behaalde snelheden van de GC's tijdens het onderzoek zijn als volgt (zie bijlagen D.5 en D.6):

GC grootte [m]	Buis diameter [m]	Hoogteverschil [m]	Snelheid [m/s]
0,05 x 0,05 x 0,05	∞	0 (boven water)	0,246 ± 0,046
0,05 x 0,05 x 0,05	∞	0 (onder water)	0,240 ± 0,046
0,30 x 0,30 x 0,30	∞	0 (boven water)	0,357 ± 0,108
0,30 x 0,30 x 0,30	∞	0 (onder water)	0,307 ± 0,111
0,05 x 0,05 x 0,05	0,10	0	0,222 ± 0,030
0,05 x 0,05 x 0,05	0,15	0	0,219 ± 0,055
0,05 x 0,05 x 0,05	0,20	0	0,230 ± 0,046
0,05 x 0,05 x 0,05	0,10	0,05 (turbulent)	0,296 ± 0,051
0,05 x 0,05 x 0,05	0,10	0,10 (turbulent)	0,324 ± 0,044
0,05 x 0,05 x 0,05	0,15	0,01 (turbulent)	0,211 ± 0,048
0,05 x 0,05 x 0,05	0,10	0,05	0,358 ± 0,080
0,05 x 0,05 x 0,05	0,15	0,05	0,536 ± 0,249
0,05 x 0,05 x 0,05	0,15	0,10	0,446 ± 0,206
0,05 x 0,05 x 0,05	0,20	0,05	0,433 ± 0,171
0,05 x 0,05 x 0,05	0,20	0,10	0,457 ± 0,220

Tabel 2 - Overzicht snelheden GC's in water

Het blijkt echter dat een buisdiameter van 0,1 meter (2 x riblengte) bij grote hoeveelheden GC's niet toereikend is en tot verstoppingen leidt. Deze optie valt dus af voor de uiteindelijke oplossing.

## 2.4 Hoogte valpijp ten opzichte van de bodem

Na de val door de valpijp moet de GC op een bepaalde hoogte de valpijp weer verlaten. Daar de snelheid van de GC in de valpijp hoger is dan buiten de valpijp is dit gunstiger, wanneer dit zo laat mogelijk gebeurt. Tegenstrijdig aan dit gegeven zijn de spreiding en het wegblaaseffect van de GC's. Beiden worden juist gunstiger naarmate de valpijp verder van de bodem verwijderd is.

Uit de experimenten (bijlage D.7) is de invloed van de hoogte op zowel de spreiding als het wegblaaseffect gebleken.

### 2.4.1 Spreiding

Uit de proeven met betrekking tot de spreiding zijn zowel voor de proef met debiet als de proef zonder debiet de volgende resultaten gekomen:

	zonder debiet	met debiet
Hoogte	max diameter	diameter
0	15	15
25	25	26
35	28	28
60	30	31

Tabel 3 - Diameter spreiding bij bepaalde hoogte

Hieruit blijkt dat de verhouding tussen de hoogte van de valpijp met de spreiding ongeveer overeen te komen met  $\varnothing_{mat} = \varnothing_{buis} + 2 \cdot \sqrt{\Delta h}$ .

### 2.4.2 Wegblaaseffect

De proef om het wegblaaseffect in kaart te brengen had een ander resultaat. Op alle verschillende hoogtes die zijn beproefd, verschillend van 10 tot 60 centimeter hoogte kwam hetzelfde resultaat naar voren. De GC's verroerden zich niet, en leken geen last te hebben van een debiet.

### 2.4.3 De GC deken en overige bevindingen uit het videomateriaal

Voor het onderzoek naar de complete legging van de GC deken is vooral gebruik gemaakt van video-opnames. De legging van de GC deken en de daarbij behorende dichtheid hangt af van de volgende onderdelen: de lossnelheid, de spreiding en de vaarsnelheid. (zie bijlage D.9)

$$\rho_{GC} = \frac{v_{los}}{(\varnothing_{buis} + 2\sqrt{h}) \cdot \sqrt{v_{schip}^2 + v_{zijdelings}^2}}$$

waarbij:

$$v_{los} = \text{lossnelheid} \left[ \frac{m}{s} \right]; (\varnothing_{buis} + 2\sqrt{h}) = \text{spreiding} [m]; \sqrt{v_{schip}^2 + v_{zijdelings}^2} \left[ \frac{m}{s} \right] = \text{buissnelheid}$$

Uit deze formule blijkt dat bij een constante dichtheid, de maximale vaarsnelheid afhankelijk is van de lossnelheid.

Met de lossnelheden bij 4, 7 en 9 volt is er bij verschillende vaarsnelheden naar de GC deken en de behaalde dichtheid gekeken. De vaarsnelheden zijn bepaald door de te behalen dichtheid op 1,5 GC/cm' vast te stellen en hiervandaan terug te rekenen. Dit leverde voor de spanningen 4, 7 en 9 volt

een maximale vaarsnelheid op van respectievelijk 0,0333, 0,06 en 0,08333 meter/s. Uit de test bleek elke combinatie van snelheden een andere dichtheid te hebben.

Lossnelheid (GC's/s)	Vaarsnelheid (m/s)	Voldoende dichtheid
<b>4.92 (4 volt)</b>	0.033	Bijna, maar geen optimale snelheid.
	0.06	Nee te lang gerekt.
<b>8.39 (7 volt)</b>	0.06	Bijna, ziet er verder goed uit.
<b>13.3 (9 volt)</b>	0.083	Nee, te groot gat er midden in

Tabel 4 - Dichtheid analyse deken

Maar niet alleen voor de GC deken is er gebruik gemaakt van video-opnames. Met de onderwatercamera zijn ook de valpijpxperimenten vastgelegd. Tijdens deze experimenten was te zien hoe de GC's tijdens hun val beïnvloedbaar zijn door turbulentie en draaikolken. Onder invloed van turbulentie is het mogelijk dat de GC's blijven hangen in de buis, wanneer water omhoog kolkkt. De draaikolken zorgen er op hun beurt voor dat de GC's rond de spiraal blijven tollen. (zie bijlage D.10)



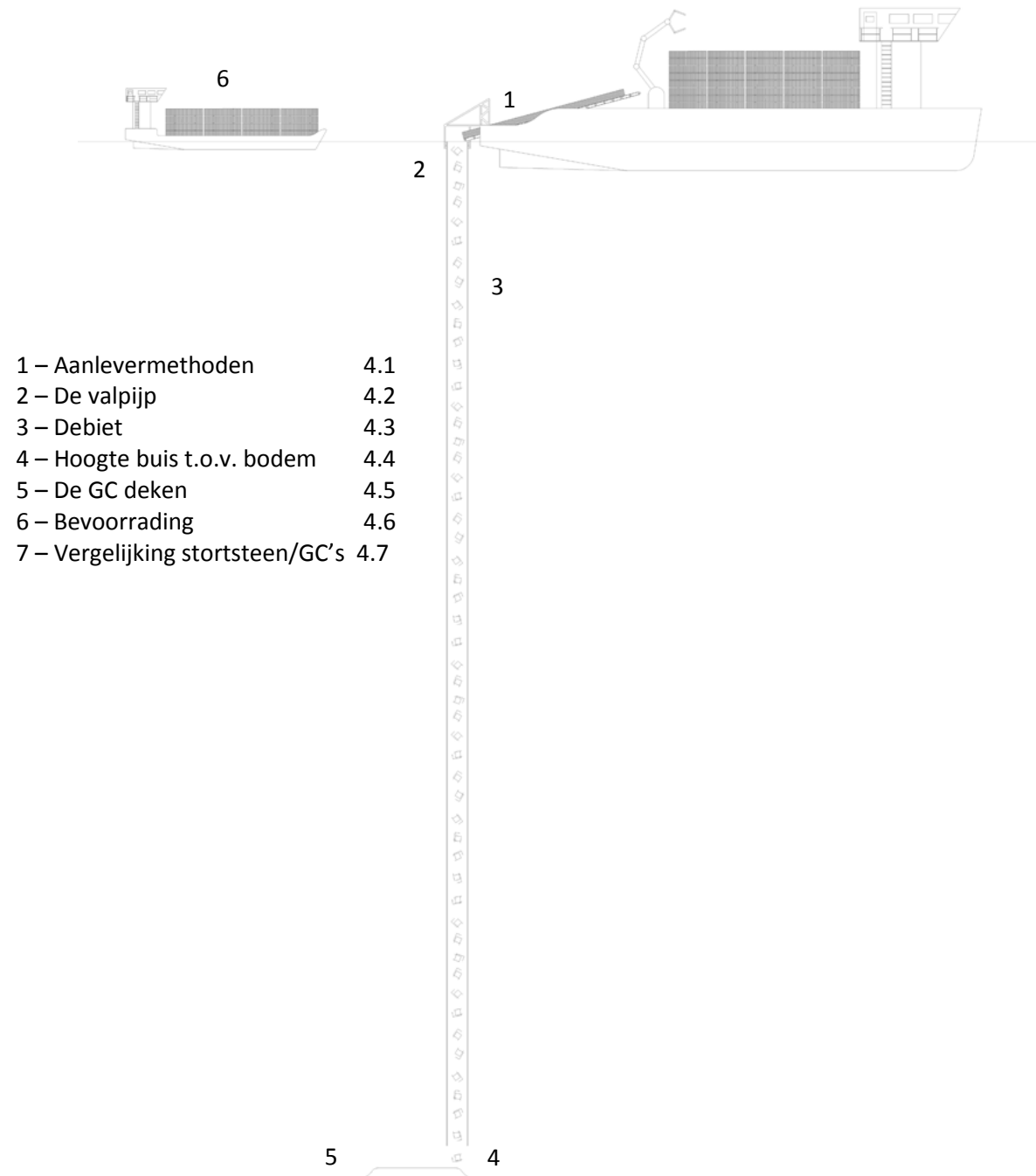
Figuur 5 - de uiteindelijke proefopstelling





# 3. Conclusies en aanbevelingen

Het is allicht verstandig even stil te staan bij wat het voorafgaande onderzoek nou eigenlijk opgeleverd heeft. Zijn de gestelde vragen beantwoord en welke overige conclusies kunnen getrokken worden uit het gedane onderzoek. De komende paragrafen geven antwoord op deze stellingen en vragen.

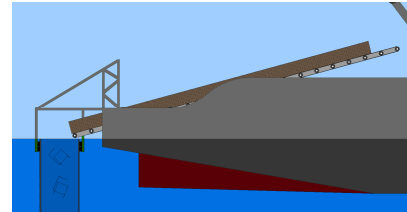


Figuur 6 - Overzicht methode

## 3.1 Aanlevermethode

### 3.1.1 Conclusie

Het blijkt dat de aanlevermethode met de inkepingen en de opstaande rand (zie bijlage D.2.3) een goede manier is om binnen dit experiment GC's te lossen. Er kan een constante snelheid bereikt worden, en de GC's kunnen met een gecontroleerde snelheid los van elkaar van de goot geworpen worden. Het probleem van deze aanlevermethode is echter dat de aandrijving achter de GC's geplaatst is, en het blok in zijn geheel naar achter gehaald moet worden om een nieuwe reeks GC's te kunnen plaatsen. Daarnaast heeft deze manier van aandrijven tot gevolg dat de GC's erg in elkaar gedrukt worden naar mate er meerdere GC's voor het blok geplaatst worden. De wrijving die dit tot gevolg heeft zorgt ervoor dat het aantal GC's dat voortgestuwd kan worden zeer beperkt wordt (tot  $\pm 29$  GC's bij een vlakke goot, tot iets meer als de goot onder een helling geplaatst wordt).



Figuur 7 - De Aanlevermethode

### 3.1.2 Aanbeveling

Zoals in de conclusie over de aanlevermethode reeds naar voren is gekomen is het een probleem dat het gebruikte mechanisme niet continu is en teveel wrijving veroorzaakt. Om dit op te lossen is het noodzakelijk dat in de praktijk gebruik wordt gemaakt van een methode die aan de achterzijde open blijft om nieuwe GC's toe te kunnen voegen, en de GC's niet teveel in elkaar drukt tijdens het transport naar de valpijp. De juiste methode om dit te doen is door de GC's op meerdere plaatsen aan te drijven (denk bijvoorbeeld aan meerdere kleine haakjes die op verschillende plaatsen aangrijpen in de cassette), danwel over het geheel verdeeld aan te drijven (bijvoorbeeld door middel van een rolband aan de boven of onderzijde van de cassette).

Tevens is het aan te raden nauwkeuriger te bepalen wat de hoek moet zijn van de GC's ten opzichte van de rand, en de hoek van de inkepingen. De huidige methode werkt uitstekend, maar het ligt in de lijn der verwachting dat een aanpassing aan de hoeken er voor kan zorgen dat de GC's dichter op elkaar kunnen staan, en er dus nog efficiënter gebruik gemaakt kan worden van de ruimte.

## 3.2 De valpijp

### 3.2.1 Conclusie

Het gebruik van de verticale valpijp kent voor- en nadelen. Als voordelen zijn op te tekenen dat het een goede manier is om de GC's op hun plaats te krijgen. De GC's zijn goed aan de bovenzijde van de valpijp in te gooien en, mits de stroming in de valpijp niet te turbulent is, komen de GC's gelijkmatig onderaan de valpijp aan. Bovendien zorgt de stroming van bovenaf op de GC's ervoor dat deze minder geneigd zijn weg te spoelen dan wanneer de stroming van de zijkant zou komen. Verplaatsingen van de GC's treden maar zeer beperkt op bij enkele GC's, en indien de GC's in een mat gehaakt zijn, is verplaatsing t.g.v. de valpijp nagenoeg uitgesloten.

Nadelen van de methode van de verticale valpijp zijn onder andere dat de doorvaarthoogte beperkt wordt als gebruik wordt gemaakt van één lange valpijp dit bovenop het schip meegenomen dient te worden. Het zou nog voor te stellen zijn om de valpijp te strijken tijdens het transport, of om de valpijp op te bouwen uit segmenten, maar het zou vanuit het oogpunt van transport praktischer zijn om gebruik te maken van een diagonale valpijp.

De diameter van de valpijp lijkt ideaal te zijn op 3 x de riblengte. Hiermee is het plaatsen van de GC's redelijk nauwkeurig te doen, en wordt voorkomen dat de valpijp snel verstopt raakt (zoals bij de valpijp van 2 x de riblengte het geval was).

### 3.2.2 Aanbeveling

Aangezien de huidige vloot voornamelijk bestaat uit schepen met een diagonale valpijp, en het in verband met de doorvaarthoogte van de schepen praktischer is om geen gebruik te maken van een verticale valpijp (een oplossing met pijpsegmenten of een telescoopvalpijp zou een oplossing kunnen bieden voor het beperken van de benodigde doorvaarthoogte). De experimenten die tijdens dit onderzoek gedaan zijn met betrekking tot de valpijp onder een hoek zijn echter niet afdoende om een oordeel te kunnen vellen over de mogelijkheid tot het gebruik van een valpijp onder een hoek. De gedane experimenten tonen aan dat de opgewekte wrijving door het glijden van de GC's over de buiswand een zeer grote invloed heeft op het verplaatsen van de GC's door de valpijp (bij geringe hoeken blijven de GC's aan het eind van de valpijp stil liggen en vallen ze niet naar beneden, bij langere buizen zal dit al vrij snel in de valpijp optreden en tot verstoppingen leiden). Het is niet onderzocht of het toevoegen van een debiet op de diagonale valpijp er voor kan zorgen dat dit verschijnsel afdoende tegengegaan wordt. Het wordt dus geadviseerd om, indien men de optie tot het gebruik van een diagonale valpijp open wil houden, deze methode te proberen met een stroomsnelheid in de valpijp. Tevens dient hierbij rekening gehouden te worden met het feit dat de GC's op de zeebodem gevoeliger zijn voor stroming van de zijkant dan voor stroming van bovenaf, en dat de kans op wegspoelen door een gegeven debiet toeneemt bij het gebruik van een diagonale valpijp.

## 3.3 Debiet

### 3.3.1 Conclusie

Het blijkt in de gebruikte proefopstelling zeer lastig te zijn om op een goede manier het debiet te regelen. De drie eerder beschreven bakken die gebruikt zijn in het experiment blijken weinig toe te voegen aan het regelen van het debiet (al kan er wel voor een minder turbulente stroming gezorgd worden met deze hulpmiddelen. De berekeningen met betrekking tot het debiet laten ook zien dat het debiet van de pomp vrijwel altijd maatgevend is. Wel blijkt uit de experimenten dat het wel degelijk een positieve invloed heeft om een debiet toe te voegen aan de valpijp. Zij het een minimale verbetering, het bleek met de gebruikte pomp mogelijk om de GC's te versnellen tot twee maal de normale valsnelheid in water. Met een hoger debiet zou dit dus op te voeren zijn. Zoals in de experimenten ook naar voren is gekomen geldt voor een GC onder invloed van een debiet  $v_{GC} = v_{val} + v_{water}$  (zie bijlage D.8 voor verantwoording).

Het ligt in de lijn der verwachting dat de aanwezigheid van grote aantallen GC's in de valpijp, net als bij het storten van stortsteen, zorgt voor een waterspiegeldaling die een debiet met zich mee kan brengen indien van bovenaf water wordt bijgevuld. De hoeveelheid debiet die hiermee gecreëerd kan worden is echter afhankelijk van de diepte waarop de GC's neergelegd worden (immers, hoe langer de valpijp, hoe meer GC's er tegelijk in kunnen).

### **3.3.2 Aanbeveling**

Met behulp van de drie beschreven bakken is er een aanzienlijke hoeveelheid turbulentie uit het water gehaald, echter door de rechte hoek waarmee de valpijp aan de bak is bevestigd treden er nog veel intreeverliezen op. Door de overlaat die zo ontstaat wordt de instroomopening verkleind en ontstaan er vele luchtbelletjes door het plonzen van het water. Deze luchtbelllen hebben de eigenschap om meteen weer naar boven te komen drijven en remmen zo de GC's af. Door gebruik te maken van een geleidelijkere instroom, verkregen met een trechtervorm of afgeronde randen, danwel door een groter debiet op de gebruikte bak te zetten en zo de uitstroomopening te laten "verdrinken", kunnen deze problemen verminderd worden.

Met het vergroten van het debiet is er ook nog tijdwinst te behalen. Dit is op verschillende manieren te realiseren. Allereerst is het mogelijk om van een grotere pomp gebruik te maken. Tijdens de experimenten was vaak de pompcapaciteit maatgevend terwijl dit de doorstroomsnelheid in de bak behoorde te zijn.

Daarnaast is het mogelijk gebruik te maken van gaten in de wand van de valpijp. Wanneer het water in de valpijp al een snelheid van het aan de bovenzijde toegevoegde debiet heeft meegekregen, wordt er extra water door de gaten in de wand aangezogen. Dit gebeurt door het drukverschil dat is ontstaan tussen het bewegende water en het stilstaande water. Hier is niet naar gekeken tijdens de experimenten, maar liggen nog mogelijkheden voor een grotere GC valsnelheid.

## **3.4 Hoogte valpijp ten opzichte van bodem**

### **3.4.1 Conclusie**

De afstand tussen de valpijp en de bodem moet rond de 60 cm liggen. Dit zijn omgerekend 12 riblengten. Deze hoogte is volledig bepaald door invloed van de spreiding. De spreiding is op deze hoogte groot genoeg, met een kleine overlap om een goede GC deken te garanderen. En aangezien de GC's zich sneller verplaatsen in de valpijp is deze hoogte niet meer vergroot.

Daarnaast heeft het debiet door de valpijp op deze hoogte geen invloed op het verschuiven en verplaatsen van de GC's die op de bodem liggen.

### **3.4.2 Aanbeveling**

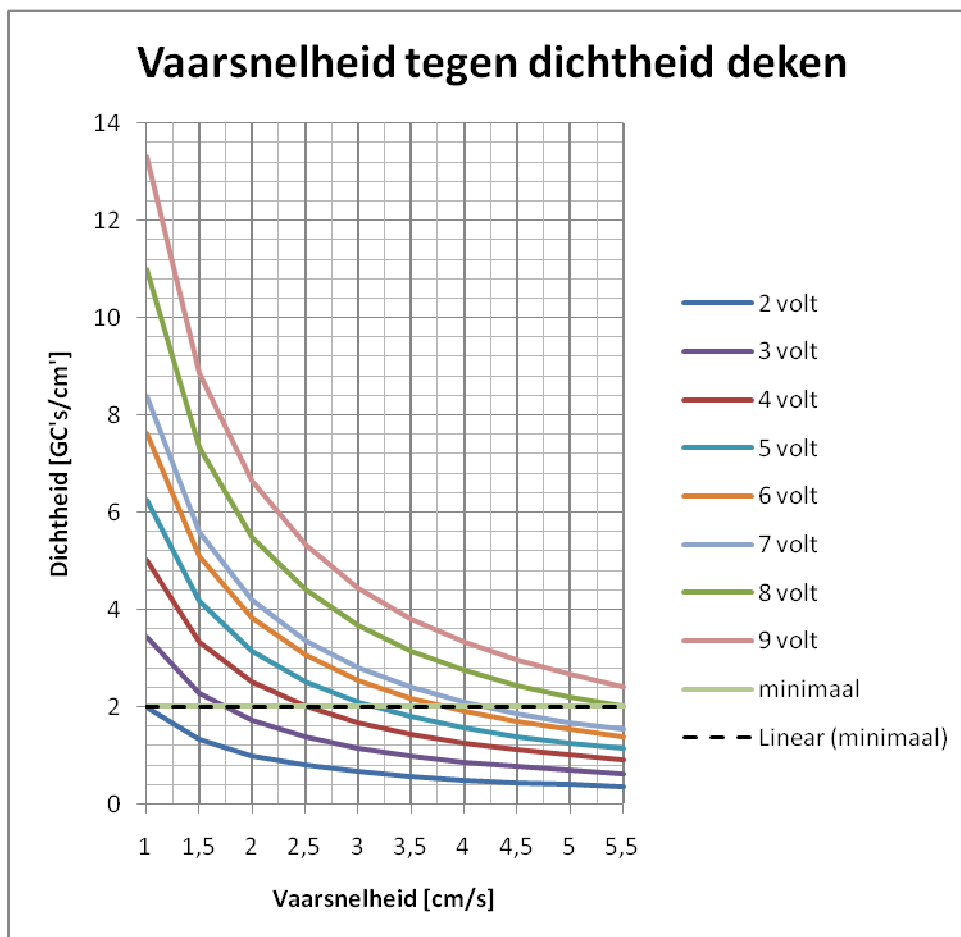
Bij het bepalen van de hoogte van de valpijp moet er wel rekening worden gehouden met het feit dat in de proefopstelling geen rekening is gehouden met horizontale stroming in de bak. Wanneer dit wel het geval is, zal de afstand tussen de valpijp en de bodem waarschijnlijk kleiner moeten zijn. Dit doordat de GC's vrij licht zijn en dus gevoelig voor meestroming. Hierdoor zullen ze veel meer uit elkaar komen te liggen en is er van de door ons gemeten spreiding geen sprake meer.

## 3.5 De GC deken

### 3.5.1 Conclusie

Volgens Anome BV zijn er voor de ideale dichtheid voor GC's met een riblengte van 20 centimeter, 50 GC's per vierkante meter nodig. Dit komt neer op een hoeveelheid van 200 GC's per strekkende meter wanneer er voor een breedte van vier meter wordt uitgegaan. Dit staat gelijk aan minimaal twee GC's per strekkende centimeter, dit is dus een halve GC meer dan in het gedane onderzoek gebruikt is. Kortom, de dichtheid is in werkelijkheid nog beter.

Verder zijn de gegevens over de verschillende aanleversnelheden en voortbewegingssnelheden bekend. Deze gegevens kunnen tegen elkaar uitgezet worden. Met op de horizontale as de voortbewegingssnelheid van de kar, op de verticale as de dichtheid GC's per strekkende cm, en met verscheidene lijnen de verschillende aanleversnelheden. In dit figuur kan vervolgens de minimale dichtheid geplot worden door middel van een horizontale streep ter hoogte van dichtheid van 2 GC's per cm'. Alles wat boven deze lijn uitkomt, is een combinatie voor een toe te passen dichtheid. Toch is het van belang een zo snel mogelijke variant te gebruiken, zodat de tijdswinst groter is.



Figuur 8 Plot van vaarsnelheid tegen dichtheid voor verschillende lossnelheden

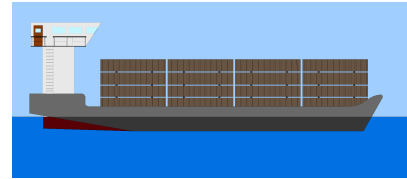
Deze combinatie is het snelst bij een zo'n hoog mogelijk spanning. Echter is uit proeven gebleken dat een snelheid van 13 GC's per seconde (9 volt) te weinig zelfherstellend zijn wanneer er een kleine hapering voorkomt, er ontstaat meteen een gat in de deken.

Bij een snelheid van 9 GC's per seconde (7 volt) kunnen de haperingen wel opgevangen worden. Echter is de maximale snelheid die de kar dan mag hebben 4,2 cm per seconde. Anders is de dichtheid niet voldoende.

## 3.6 Bevoorrading

### 3.6.1 Aanbeveling

Een tijdrovende onderneming tijdens het leggen van pijplijnbescherming is de noodzaak om terug naar de haven te moeten varen voor nieuwe lading. Omdat de GC's echter in cassettes kunnen worden geproduceerd, en daardoor van het ene schip relatief eenvoudig overgeladen kunnen worden op een ander schip, is de noodzaak voor het legschip om terug te gaan niet meer aanwezig. Pendelschepen kunnen terug naar de haven varen om nieuwe GC-cassettes op te halen terwijl het legschip doorgaat, en wanneer het pendelschip bij het legschip aankomt, kunnen de GC's overgeladen worden. Dit aspect zorgt ervoor dat een hoop tijd bespaard wordt en de GC's aan een stuk door gelegd kunnen worden. Wat op zijn beurt ook de uniformiteit van de mat ten goede komt. Het wordt hierbij aanbevolen om de manier van bevoorrading nog verder te onderzoeken, aangezien hier in het huidige onderzoek geen aandacht aan besteed is. Voornamelijk de benodigde bevoorradingssnelheid zou een probleem kunnen opleveren.



Figuur 9 - Pendelschip

Omdat er nauwelijks beperkingen zijn ten opzichte van de aanlevermethode en de valpijpcapaciteit, ligt het voor de hand te concluderen dat de handelingsnelheid op het schip, en dan met name de snelheid waarin de cassettes herladen kunnen worden, maatgevend is voor de snelheid waarin de GC's gelegd kunnen worden. Het is binnen dit onderzoek echter onmogelijk een oordeel te vellen over wat de mogelijkheden aan boord van een schip zijn.

## 3.7 Vergelijking Stortsteen/GC's

Met GC's kan een snelheid van 4,2 cm/s behaald worden voor het leggen van een deken van 4 meter breed. Dit komt neer op 2,5 meter per minuut.

Als referentiemateriaal is er gekeken naar het leggen van een stortstenen deken. Dit gebeurt nu met een snelheid van 0,5 meter per minuut. Dit zou betekenen dat het leggen van een deken met behulp van GC's zo'n vijf keer sneller kan gebeuren dan nu het geval is.

dichtheid	50	Per m <sup>2</sup>		
breedte	4	m		
	200	Per m'		
	2,0	Per cm'		
7 Volt	8,38	GC/s		
	4,19	Cm/s		
	0,0419	m/s		
	2,514	m/ minuut		
			verbetering	502,8%
stortsteen	0,5	m/ minuut		

Tabel 5 vergelijking Stortsteen/GC's

## 3.8 Schaalvergroting

Aangezien in het huidige project gebruik is gemaakt van een schaalmodel, is het relevant te kijken naar hoe de gevonden conclusies zich vertalen naar de werkelijkheid. Een aantal relevante onderdelen worden in deze paragraaf uitgelicht en vertaald naar een grotere schaal.

### 3.8.1 Aanlevermethode

Aangezien in de bepaalde aanlevermethode gebruik wordt gemaakt van een goot die aan de hand van de GC is ontworpen, is het noodzakelijk deze uit te vergroten om te volstaan voor de grotere GC. Het belangrijkste onderdeel van de gebruikte goot is de afstand tussen de opstaande rand in het midden, en de opstaande rand aan de zijkant van de goot. Zoals eerder bepaald is de hoek die de GC maakt ten opzichte van de goot  $51^\circ$ , wat betekent dat de afstand tussen de rand en het opstaande

deel voor een GC van 20cm  $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\text{aanliggende}}{\text{schuine}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{x}{20}\right) \approx 51^\circ \rightarrow x \approx 12,6\text{cm}$ .

### 3.8.2 De valpijp

De bepaalde diameter van de valpijp in het experiment bedroeg 15cm. Dit komt overeen met een diameter van 3 x de riblengte, en is in de praktijk dus eenvoudig op te schalen naar grotere GC's. In het voorlopige ontwerp wordt gebruik gemaakt van GC's met een riblengte van 20 cm, wat dus overeen zou komen met een valpijpdiameter van 60 centimeter.

### 3.8.3 Debiet

Voor het gebruikte debiet is bepaald dat de sommatie van de snelheid van het en de valsnelheid van de GC samen de snelheid van de GC oplevert. Dit betekent dat de snelheid van een grotere GC ook eenvoudig te bepalen is als men de valsnelheid van deze GC weet. Aangezien de exacte vorm van de GC van 20cm niet identiek is aan de vorm van de 5cm GC (waarschijnlijk dunnere ribben, en meer uitgerekte vorm, precieze vorm nog niet bekend) zou het noodzakelijk zijn om de valsnelheid van deze GC's in water te bepalen alvorens de bepaalde formule correct toegepast kan worden.

Omdat het effect van turbulentie niet te schalen is, valt niets te zeggen over het gedrag van een grotere GC in een grotere valpijp.

### 3.8.4 Hoogte valpijp ten opzichte van bodem

De hoogte van de valpijp wordt bepaald door de vrij ruimte die nodig wordt geacht tussen de valpijp en de GC deken om te voorkomen dat GC's de valpijp in stapelen en zo verstoppingen veroorzaken. Deze hoogte is gesteld op 3 x de riblengte van een GC en zou bij een GC van 20cm dus uitkomen op minimaal 60cm.

### 3.8.5 De GC deken

De dichtheid van de deken is afhankelijk van het aantal GC's dat op een vierkante meter neergelegd dient te worden. Dit aantal neemt dus af naarmate de GC's groter gemaakt worden. Aangezien de dichtheid alleen in het gebruikte oppervalk veranderd, er worden in het schaalmodel immers lagere hopen neergelegd dan dat in de werkelijkheid met grotere GC's gedaan zou worden, volstaat het om de dichtheid van de kleine GC's te delen door het kwadraat van de vergrotings factor, wat voor de vergroting van 5cm naar 20cm neerkomt op:

$$\left(\frac{L_{rib;groot}}{L_{rib;klein}}\right)^2 = \left(\frac{20}{5}\right)^2 = 4^2 = 16$$

Op een vierkante meter liggen dus 16x minder GC's van 20cm dan dat er van 5cm zouden liggen.

### 3.9 Beantwoording deelvragen

*Op welke manier kunnen GC's op een constante en efficiënte manier op het schip opgeslagen en verwerkt worden?*

De GC's kunnen in elkaar gestapeld worden in cassettes van  $\pm 100$  GC's en vervolgens via een loopband het water in gelost worden, zie §4.1 en §4.6.

*Is de verticale valpijp een geschikte methode om de GC's van het schip naar de zeebodem te krijgen en wat zijn de bijbehorende optimale karakteristieken van deze methode?*

Het is absoluut mogelijk om de GC's met een verticale valpijp naar de bodem te krijgen, de voornamelijk optimale valpijpdiameter is hierbij  $\varnothing_{buis} = 3 \cdot L_{rib}$ . Een gegeven debiet versneld een GC met de snelheid die het water krijgt, dit betekent dat de GC's de volgende snelheid krijgen:  $v_{GC} = v_{val} + v_{water}$ , zie ook §4.2, §4.3.

*Wat is de dichtheid van de GC-deken als functie van de vaarsnelheid, lossnelheid, zijdelingse beweging en diameter van de valpijp?*

De dichtheid van de gelegde deken kan als volgt worden weergegeven:

$$\rho_{GC} = \frac{v_{los}}{(\varnothing_{buis} + 2\sqrt{h}) \cdot \sqrt{v_{schip}^2 + v_{zijdelings}^2}}$$

waarbij:

$$v_{los} = \text{lossnelheid} \left[ \frac{m}{s} \right]; (\varnothing_{buis} + 2\sqrt{h}) = \text{spreiding} [m]; \sqrt{v_{schip}^2 + v_{zijdelings}^2} \left[ \frac{m}{s} \right] = \text{buissnelheid}$$

Waarbij het overlappen van "paden" (het meermaals kruisen van eenzelfde gebied) niet in rekening gebracht zijn, zie ook §4.5, §D.9.

*Op welke manier kan de GC met een constante snelheid en individueel in de valpijp worden gelost?*

De GC's kunnen door middel van een methode met een verdeelde aandrijving, en het controleren van de valbeweging van de GC's, constant en individueel van het schip gelost worden, zie ook §4.1.

*Wat is de invloed van een gegeven debiet op het wegspoelen van al gelegde GC's?*

Bij de gebruikte stromingen in de proefopstelling is het niet mogelijk de GC's weg te blazen, zie §4.4.

*Is de GC een verbetering ten opzichte van het gebruik van stortsteen?*

Door gebruik te maken van de methode met GC's kan een 5 maal zo groot gebied in dezelfde tijd bedekt worden, zie ook §4.7.



# A. Anome Ground Consolidators

---

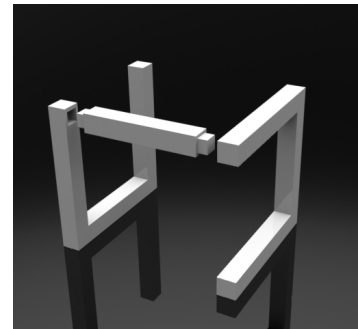
## A.1. De Anome Ground Consolidator

De Anome Ground Consolidator (verder GC) is een relatief nieuw en zeer veelzijdig stortelement. Het product is ontworpen en ontwikkeld door dhr. Jos Hoebe. De GC is op moment van schrijven gepatenteerd in Nederland (Mei 2007) en de VS (Juni 2010). Het principe van de GC is dat door de speciale vormgeving van de elementen een lichte doch stabiele ruimtelijke structuur kunnen vormen.

## A.2. De vorm van de GC

De GC bestaat in essentie uit 7 ribben van een kubus welke in de ruimte zo zijn gekozen dat bij elk knooppunt niet meer dan twee ribben elkaar raken. In het uiteindelijke ontwerp (niet in de huidig gebruikte modellen) is het de bedoeling de GC's op te bouwen uit twee U-vormige elementen (zijnde twee maal drie ribben van de kubus), die door middel van een derde element (zijnde de 7<sup>e</sup> ribbe) met elkaar verbonden worden. Het voordeel hiervan is dat de productie van de GC's eenvoudiger wordt en dat de symmetrie beter gegarandeerd kan worden.

De GC's zijn ontworpen op de eerder beschreven speciale manier om er voor te zorgen dat de elementen in elkaar blijven klitten en zo een samenhangend, poreus geheel van sterk materiaal gevormd kan worden. Risico bij dit ontwerp is natuurlijk dat de GC's, voordat ze op de plaats van bestemming aangekomen zijn, al tijdens transport in elkaar klitten. Dit is uiteraard geen wenselijk verschijnsel, omdat het gedrag van de GC's tijdens de transportfase danig anders zal zijn als er meerderen in elkaar geklit zitten. Er zal in de manier van transporteren dus rekening gehouden moeten worden met het voorkomen van dit verschijnsel.



Figuur 10 Exploded View van een Ground Consolidator

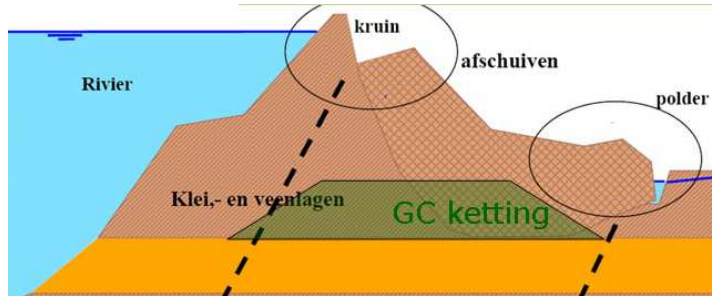
## A.3. Bekende toepassingen

In het tot op heden korte bestaan van de GC's is er al met een aantal toepassingen geëxperimenteerd. In de volgende paragrafen wordt kort uitgelegd welke toepassingen dit zijn en wat de redenering is achter het onderzoek naar de toepassing (voor een uitgebreider verslag van de bevindingen wordt verwezen naar de website van Anome Projects BV).

### A.3.1. Grondverankering

Om grond tegen afschuiven te beschermen kan het noodzakelijk zijn om er verankering in aan te brengen. Dit kan echter lastig te realiseren zijn als er geen lichaam aangrenzend aan de te verankeren grond ligt waar de ankers op aan kunnen grijpen. Eind 2010 is er daarom onderzoek gedaan naar het gebruik van GC's als oplossing voor dit probleem.

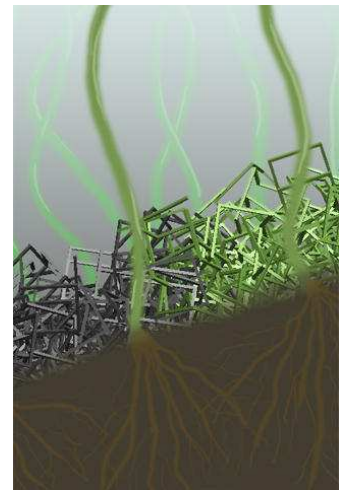
Het idee is dat de GC's als mat in de grond aangebracht worden om zo de bezwijklast te verhogen. Om dit te onderzoeken zijn twee terpen aangelegd, één met GC's en één zonder, waarop een gelijke last gezet werd zodanig dat de terp zonder GC's bezweek. De andere terp bezweek welliswaar ook, maar herstelde zich weer enigzins en bleek naast de reguliere bezwijklast nog een extra last aan te kunnen voordat GC-mat knapte en de terp in zijn geheel bezweek. Deze toepassing is uitermate geschikt voor het beschermen van dijklichamen tegen afschuiving. (bron: anome, 2011)



Figuur 11 De GC ketting als dijkversterking

### A.3.2. Oeverbescherming (B-Shore)

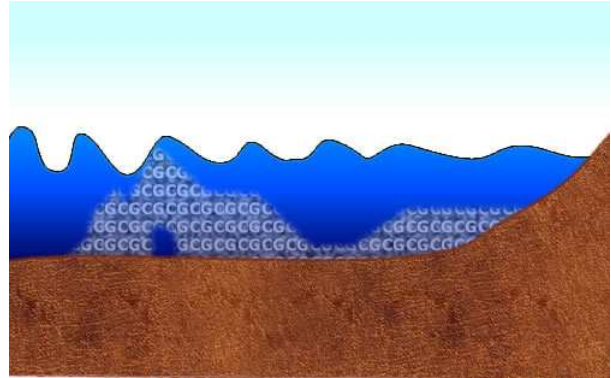
Door de poreuze eigenschappen van de GC's is het mogelijk om binnen het net van GC's allerlei kleine "activiteiten" plaats te laten vinden. Een uitstekend voorbeeld hiervan is de toepassing van de GC's als oeverbescherming. Het blijkt op sommige locaties zo te zijn dat nieuw aangelegde beplanting langs de oevers niet de kans krijgt om tot wasdom te komen (bijvoorbeeld omdat ganzen de jonge scheuten platstampen). Door op de locatie van de nieuwe beplanting een GC-net aan te leggen krijgt de nieuwe beplanting alle mogelijkheid te groeien, en kan klein dierlijk leven (zoals vissen en insecten) gewoon door blijven gaan in de "poriën" van het net. Door de GC's in deze toepassing te maken van een biologisch afbreekbaar materiaal, zullen de GC's na verloop van tijd gecomposteerd worden. En naar mate ze minder nodig zijn voor het beschermen van de oever, als bemesting dienen voor de planten die naar mate ze sterker worden de functie van de GC's overnemen. GC's als oeverbescherming zijn op het moment in ontwikkeling om toe te passen op een projectgebied in Haarlem, onder de noemer van B-Shore (Biodegradable Shoreline protection). (bron: anome, 2011)



Figuur 12 B-Shore

### A.3.3. Kunstriffen

Door de poreuze eigenschappen van de GC's, zoals eerder beschreven bij de toepassing als oeverbescherming, zijn ze ook uitermate geschikt om te gebruiken als kunstrif. Het is voor allerlei onderzees leven mogelijk om zich tussen de GC's te bewegen en er hun huis van te maken, terwijl er tevens een structuur geboden wordt waar allerlei onderwaterplanten en weekdieren zich aan kunnen hechten. Naast deze natuurvriendelijke eigenschappen van de GC's in deze toepassing dienen zij in deze vorm tevens het nut dat ze golfdempende eigenschappen hebben, en dus rustiger vaarwater, luwte en vermindert het de schadelijke erosie die een te sterke stroming oplevert. (bron: anome, 2011)



Figuur 13 Het principe van GC's als kunstrif

### A.4. De GC als pijplijn bescherming

Omdat de huidige methode voor pijplijnbescherming (stortsteen) zeer massief is, en daardoor veel ruimte in beslag neemt bij het vervoeren, denkt men dat het een goede optie is om te kijken naar GC's als vervanging voor deze toepassing. GC's hebben de unieke eigenschap dat er door de matvorming veel minder volume aan GC's nodig is dan dat er stortsteen nodig zou zijn. Daarnaast kunnen de GC's efficiënt in elkaar gestapeld worden waardoor er veel op een schip mee kunnen. Het is dus vanuit efficiëntie en financieel oogpunt zeer interessant om te onderzoeken of de GC's ook wat betreft het storten en de bescherming voldoen om over pijpleidingen heen te leggen.

De GC's die voor de pijplijnbescherming gebruikt zullen gaan worden, worden gemaakt van een natuurvezelversterkte kunststof met hoog soortelijk gewicht, welke voldoet aan het technische Cradle-to-Cradle principe. Dit betekent dat de GC's na gebruik met minimale toevoeging van extra stoffen hergebruikt kan worden als nieuw product. In tegenstelling tot de GC's die bij de oeverbescherming gebruikt zullen worden, blijven deze GC's gewoon bestaan tot ze handmatig verwijderd worden. Dit is natuurlijk een wenselijke eigenschap, omdat de GC's door de tijd niet automatisch vervangen zullen worden door een natuurlijk materiaal dat hun functie overneemt.



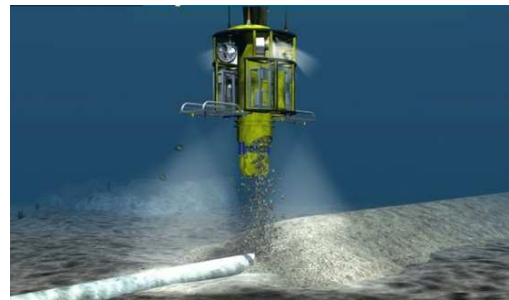
# B. De valpijp

## B.1. Het valpijpprincipe

Vele constructies onder water moeten om veiligheids- en stabiliteitsredenen worden afgedekt met materialen, bijvoorbeeld stortsteen. Schepen worden gebruikt om de stortstenen naar de juiste locatie te vervoeren en vervolgens te lossen. Nu zijn er verschillende manieren om stortsteen e.d. te lossen van de schepen. Zo heb je schepen met schuifstorters, onderlossers, bodemkleppen, kantelbakken en splijtbakken. Deze hebben echter allemaal een nadeel. Dit zijn methoden die voor een grote spreiding zorgen bij grote waterdiepten, doordat de stortstenen niet worden geleid maar hun eigen weg nemen naar de bodem. Hierdoor zal er meer materiaal gestort moeten worden om de leiding nog steeds goed te bedekken, iets wat geld kost.

Om op grote waterdiepte nog steeds nauwkeurig stenen te storten is de valpijp in het leven geroepen. De valpijp is een lange pijp die als een slang naar de af te dekken leiding fungeert. Hierdoor behouden de stenen een kleine vrije val (stuk tussen pijp en leiding) waar het zich nog kan verspreiden.

Jammer genoeg neemt de valpijp ook een gevaar met zich mee. De stenen kunnen voor opstoppingen in de valpijp zorgen, waardoor deze niet meer kan functioneren.



Figuur 14 De "spider" aan het uiteinde van een valpijp

## B.2. Snelheid in de valpijp

Nu zijn er twee mogelijkheden om de snelheid van de stenen in de valpijp en zodoende ook de stortsnelheid te regelen

1. Alleen gebruik maken van de zwaarte kracht
2. Van bovenaf nog een extra debiet mee te geven aan de stenen.

In het eerste geval zullen de stenen zich met een constante snelheid volgens de wet van Stokes verplaatsen. Hierbij moet er tijdens het dimensioneren van de valpijp rekening gehouden worden met de verschillende waterdrukken. Onderaan de valpijp zal de druk in de valpijp gelijk zijn aan de druk buiten de valpijp. Maar boven in de pijp zal de waterstand lager zijn dan daarbuiten. Dit komt doordat het soortelijk gewicht van de stenen groter is dan dat van het verplaatste water. Kortom er zal een kracht van buiten naar binnen op de valpijp werken.

In het tweede geval zullen de stenen zich sneller naar beneden verplaatsen. Aangezien de stenen ook door de debietsnelheid worden voortgestuwd. Het debiet kan op verschillende manieren geregeld worden:

1. Het debiet kan over de bovenste pijprand heen gevoerd worden. Hierdoor ontstaat er een grotere druk aan de binnenkant van de pijp wanneer het water uiteindelijk boven de zeestand uitkomt.
2. Het debiet kan geregeld worden door een gat in de pijp te maken waardoor het water met behulp van het drukverschil van buiten naar binnen loopt.

### **B.3. Soorten valpijp**

In praktijk worden er twee soorten valpijp gebruikt, de starre valpijp en de flexibele valpijp.

De starre valpijp bestaat uit compartimenten die samen één geheel vormen. Zo blijft deze pijp waterdicht. Voor een extra debiet moet er dus water over de pijp rand heen of moet er een gat gemaakt worden bovenin de pijp

De flexibele bestaat uit verschillende conische compartimenten die met de uiteinden in elkaar passen. Echter zullen er wel kieren tussen zitten, waardoor er sprake zal zijn dat er een debiet in de pijp zal ontstaan.

Voor ons onderzoek richten we ons vooralsnog op de starre valpijp, aangezien op deze manier het toegevoegde debiet beter in kaart kan worden gebracht.

# C. De proefopstelling

## C.1. De proefopstelling

De proefopstelling die gebruikt zal gaan worden staat op een werf van Koninklijke Boskalis in Dordrecht. Het gaat hier om een aan de bovenzijde geopende zeecontainer. Deze container is echter van binnenuit waterdicht gemaakt. Bovenop deze container liggen twee spoorstaven over de lengte met daarop een elektrisch karretje. Dit karretje is voort te bewegen met een bedieningspaneel aan de zijkant van de container. Hiermee kan de vaarsnelheid van een schip worden gesimuleerd. Bovenop het karretje kan iemand staan om de GC's door de valpijp naar beneden te gooien. Op het karretje kan iemand staan en de GC's naar beneden laten vallen. Hiervoor kan de valpijp die aan het karretje is bevestigd worden gebruikt. Deze



Figuur 15 Impressie van de proefopstelling

heeft op dit moment een bepaalde diameter maar door de pijp te vervangen kan deze worden gevarieerd, ook kan de hoogte van de pijp veranderd worden.

## C.2. Schaling

Doordat er een schaalmodel gebruikt wordt in plaats van de werkelijke situatie, moet er rekening gehouden worden met schaaffecten. Niet alle factoren kunnen geschaald worden, denk aan de eigenschappen van water, waardoor er voor modellen een schaalfactor moet worden toegepast.

Het nieuwe formaat van de model GC's zorgt al voor meerdere schaalfactoren:

1. Voor de model GC's geldt dat deze de zelfde dichtheid hebben als de normale GC's. Ze zijn alleen wel een stuk kleiner, waardoor een GC in werkelijkheid dus een grotere afstand aan pijpleiding kan afdekken. Om tot de reële vaarsnelheid te komen moet de gemodelleerde vaarsnelheid dus vermenigvuldigd worden met het verhoudingsgetal echt/model.
2. Doordat de dichtheid van de model GC nog steeds hetzelfde is zal deze zich ook nog hetzelfde als de echte GC gedragen, geen schaalfactor dus.

Voor de stromingen is er ook sprake van schaalvergroting. Echter wordt geen rekening gehouden met de horizontale stromingen, hier wordt dus ook niets voor berekend.

Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een toegevoegd debiet aan de bovenkant van de valpijp zal er wel rekening gehouden moeten worden met de stroming.

Uit onderzoek van Hughes, komt naar voren dat de schaalvergrotingsfactor voor de watersnelheid in de valpijp de wortel is van de vergrotingsfactor die geldt voor de diameter van de valpijp. Met het gegeven dat het debiet gelijk is aan de oppervlakte maal de snelheid, kan men ook de vergrotingsfactor van het debiet bepalen. Dit is de vergrotingsfactor voor de diameter tot de macht 2.5.



## C.3. Hulpmiddelen

### C.3.1. De goot

Er is een goot ontwikkeld waar de GC's in opgesteld kunnen worden, en waar ze constant en zonder klitten vanaf kunnen vallen. De goot bestaat uit een metalen bak met een breedte die gelijk is aan de maximale breedte van de GC ( $\text{rib lengte} \cdot \sqrt{2}$ ) waarin een verticaal opstaande rand is bevestigd. De verticale rand is bevestigd op 32mm ( $\frac{2}{3} \cdot \text{rib lengte}$ ) waardoor de GC's scheef in de goot komen te staan. Aan het uiteinde van de goot zijn vervolgens twee inkepingen gemaakt onder een hoek van  $45^\circ$ , waardoor de GC's schuin wegvallen. Dit heeft tot gevolg dat de eindribben van de GC's niet in de andere GC's haken als ze vallen, en dat dus zeer gecontroleerd GC's van de goot af geworpen kunnen worden.



### C.3.2. De geautomatiseerde goot

Omdat het zeer lastig is om de GC's met de hand met een constante snelheid van de goot te gooien is besloten dit te automatiseren. Om dit te bereiken is een systeem van touw en katrol bedacht waarbij een klein motortje via het touw een blokje tegen de achterzijde van de opgestelde GC's duwt, en daarmee de GC's van de goot lost. Het motortje is in te stellen op verschillende snelheden, en daarmee is dus ook de lossnelheid in te stellen.

### C.3.3. Het schepnet

Om de GC's na het gooien weer van de bodem op te kunnen rapen is gebruik gemaakt van een schepnet. Het schepnet is bevestigd op een bamboe stok om zo een groter bereik te geven aan het net.



### C.3.4. De haak

Voor de grote GC's bleek het niet praktisch om deze met het schepnet van de bodem te halen. Om dit eenvoudiger te maken is een haak ontwikkeld waarmee de GC's eenvoudiger gepakt kunnen worden. De haak bleek daarnaast ook geschikt te zijn om de kleine GC's als deken van de bodem te halen (als men één GC pakt blijft de rest aan die ene GC hangen en kan ineens een hele mat opgepakt worden). De haak heeft daarnaast nog allerlei andere toepassingen om dingen aan op te hangen (bv camera of goot).





### C.3.5. De knijper

Omdat de geïnstalleerde valpijp in de proefopstelling te hoog was om dingen vanaf het wateroppervlak te laten vallen, is besloten een knijper te maken, waarmee de GC's op afstand losgelaten kunnen worden. De knijper bestaat uit een lange metalen staaf (~150cm) waarop met een spijker een gebogen stuk metaal bevestigd is. Om de twee onderdelen te laten knijpen is een veer gespannen tussen de lange metalen staaf en het gebogen metaal. Op het gebogen stuk metaal is een extra stuk metaal gelast waaraan een touw bevestigd is, zodat de knijper op afstand te besturen is. Met het touw kan de knijper open getrokken worden, waarna de veer de knijper weer kan sluiten.

### C.3.6. De pomp

Omdat het noodzakelijk is een debiet op de valpijp te zetten voor onze onderzoeken, wordt gebruik gemaakt van een pomp. De pomp pompt water uit de bak zelf, zodat geen extra water aan de bak toegevoegd wordt als er met een debiet gewerkt wordt. In eerste instantie is geprobeerd met kleine dompelpompjes (1 L/s) te werken, dit bleek echter niet voldoende waarna overgestapt is op een pomp met een hoger debiet (6,9 L/s).

### C.3.7. De waterbak

Omdat het debiet vanuit de pomp een te hoge turbulentie had om tot goede meetresultaten te komen, is besloten een bak van 100x50x5cm bovenop de valpijp te bevestigen. Hiermee kan een energiehoogteverschil gecreëerd worden en stroomt het water geleidelijker de goot in. De bak kan in hoogte versteld worden om zo verschillende hoogteverschillen te kunnen beproeven.



### C.3.8. De waterdecelerator

Omdat het water uit de pomp niet goed de hierboven beschreven waterbak instroomde, het water was te snel op het uitstroom moment en stroomde aan de andere kant weer uit de bak, is besloten dat het noodzakelijk was om een hulpmiddel te ontwikkelen dat de snelheid uit het opgepompte water haalt. Om dit te bereiken is een stuk PVC met een diameter van 10 cm op een lengte gemaakt zodat deze de lange zijde van de waterbak kan vullen (100cm) en waarvan de open zijden afgedicht zijn. Vervolgens zijn twee sleuven in de pijp gemaakt met een breedte van 2cm en een lengte van 30cm. Hierdoor kan het water eerst de buis instromen, en vervolgens uit een veel grotere uitgang evenredig over de waterbak verdeeld worden.



### C.3.9. De onderwatercamera

Om ook onder het wateroppervlak opnamen te kunnen maken wordt gebruik gemaakt van een onderwatercamera die door Boskalis NV beschikbaar gesteld is. De camera is aangesloten op een harde schijf recorder (om de beelden op te kunnen slaan) en een televisie (om de opnamen op te kunnen bekijken). De camera is gemonteerd op een metalen balkje waar een gat in gemaakt is. Door dit gat is een metalen staaf bevestigd waaraan de camera op een bepaalde positie gehouden kan worden.



# D. De experimenten

---

## D.1. Meetonnauwkeurigheid

Tijdens alle experimenten is er sprake van een bepaalde onnauwkeurigheid in de gedane metingen. Voornamelijk in de tijdwaarneming is het vrijwel onmogelijk om zonder kleine fouten metingen uit te voeren omdat men hier te maken heeft met een bepaalde reactietijd in de translatie van de werkelijke aanvangs- en eindtijd alsmede een beperkt aantal decimalen op de stopwatch. Het blijkt dat voor de reactietijd een gemiddelde waarde van 0,2 à 0,3 seconden gehanteerd kan worden. Als we dit aan beide zijden van de valpijp toepassen kunnen we de resultaten voor de tijd als volgt bepalen:  $t = t_{\text{gemeten}} \pm 0,5$ , wat tot gevolg heeft dat voor de bepaalde snelheid geldt:

$v = v_{\text{berekend}} + \Delta v$ , waarbij  $\Delta v$  het, in absolute zin, maximaal gevonden verschil tussen de gemeten waarden en de waarde bij de maximale meetfout is. De gemiddelde meetfout wordt bepaald door het, in absolute zin, meest ongunstige geval met het gemeten gemiddelde te vergelijken.

## D.2. Aanlevermethode

Aangezien het niet praktisch is om manueel de GC's in de valpijp aan te brengen, en hiermee bovendien geen efficiënte lossnelheid bereikt kan worden, is het noodzakelijk te kijken naar geautomatiseerde aanlevermethoden. Hiervoor is onafhankelijk van elkaar een aantal varianten ontwikkeld die onder verschillende omstandigheden nader onderzocht zijn.

### D.2.1. Vrij zijdelings vallen

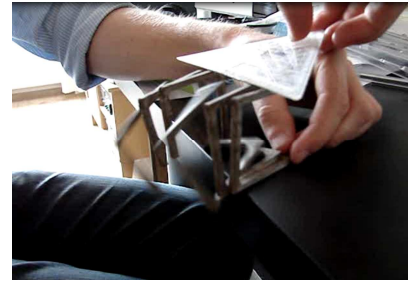
Ter verificatie van de verwachting is kort onderzocht wat het gedrag van de GC's is in het geval dat deze zijdelings afgeworpen worden (zoals een zijstort bij stenen). Het blijkt echter dat de GC's in min of meer dezelfde compositie de bodem bereiken en nauwelijks spreiden. Daarnaast is in de testopstelling geen stroming aangebracht, waardoor de negatieve effecten hiervan niet in kaart gebracht kunnen worden. Zoals bij andere experimenten te zien was zijn de GC's zeer vatbaar voor stromingswisselingen, waardoor een eventuele stroming in het stortgebied een zeer grote invloed zal hebben op de spreiding van de GC's. Samen met de clustervorming die al vanaf het begin aanwezig is bij deze methode is het dus zeer waarschijnlijk dat grote groepen GC's afdrijven naar locaties waar dezen niet voor bestemd waren.



Figuur 16 Proefopstelling zijstort

### D.2.2. Boveninklemming

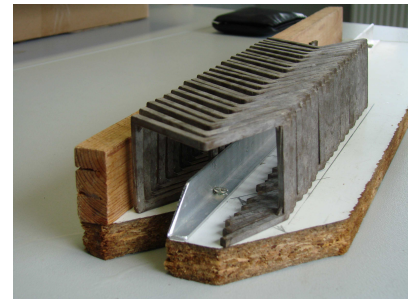
Allereerst is gekeken naar een inklemming van bovenaf. Omdat de GC's bij verschillende manieren van neerzetten anders reageren, en bij de meesten ook in elkaar klitten bij het vallen, is empirisch bepaald wat de beste manier van neerzetten is. Bij de modellen bleek dit zodanig te zijn dat een overhangend hoekje aan de achterzijde naar beneden gekeerd was. Vervolgens wordt aan de valzijde van de GC opstelling aan de bovenzijde een object geplaatst (in de proefopstelling was dit een geodriehoek) welke de GC's op hun plaats houdt. Dit zorgt ervoor dat de GC's in het oorspronkelijke verticale alignement blijven zitten tot ze helemaal vrij zijn om recht naar beneden te vallen. De GC's kunnen nu vrij van klitten vallen en dus één voor één gelost worden.



Figuur 17 Proefopstelling boveninklemming

### D.2.3. Gefixeerde goot met inkepingen

Bij dit principe worden de GC's in een U-vormige goot geplaatst waarbij in het midden een opstaande L-vorm bevestigd is. De L-vorm zorgt ervoor dat de GC's op een bepaalde manier in de goot blijven zitten. Daarnaast is het uiteinde van de oplegging waar de GC's vanaf vallen schuin afgezaagd is, hierdoor wordt het moment van kantelen zodanig beïnvloed dat de GC's niet in elkaar klitten bij het vallen. De hoek die de afgezaagde delen maken ten opzichte van de platte zijde wordt gegeven door:



Figuur 18 Model van de gefixeerde goot met inkepingen

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\text{aanliggende}}{\text{schuine}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{32}{51}\right) \approx 51^\circ.$$

Het is bij deze valmethode belangrijk dat de GC's met de opstaande punt naar achteren gekeerd staan (het "oksel" van het schaalmodel zit dus bovenaan de voorkant) om de GC's goed te kunnen laten vallen. De methode met de gefixeerde goot is vergelijkbaar met die van de boveninklemming, al is hierbij de klemming vervangen door de oplegging (welke met behulp van de zwaartekracht tegen de GC's gedruwd wordt) en de L-vorm ingevoerd om de oriëntatie van de GC's te waarborgen. De GC's staan hierin onder een hoek van

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\text{aanliggende}}{\text{schuine}}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{32}{45}\right) \approx 45^\circ$$

### D.2.4. Gefixeerde goot

In navolging van de boveninklemming en de gefixeerde goot met inkepingen is gekeken naar een combinatie van de twee oplossingen. Hierin worden de GC's in de tegenovergestelde richting bewogen als bij de gefixeerde goot met inkepingen (de richting die de GC's bij de inklemming hadden dus), en zijn geen inkepingen nodig bij de val. Hierdoor kunnen extra kosten bespaard worden. Bovendien blijkt er minder weerstand opgewekt te worden bij deze methode dan bij de anderen. De aandrijving wordt in de proefopstelling gerealiseerd door een bovenop bevestigde rolband. Het is hierbij empirisch bepaald dat de benodigde vrije ruimte boven de val (om de GC zijn omwenteling te kunnen laten maken) iets minder is dan een GC-diameter vanaf de valrand (dit is dus  $L_{rib}\sqrt{2}$ ). Om een handzame richtlijn vast te stellen wordt dus geconcludeerd dat een vrije ruimte van één GC-diameter vanaf de valrand geadviseerd wordt. De hoek die de GC's maken is wederom  $51^\circ$ .

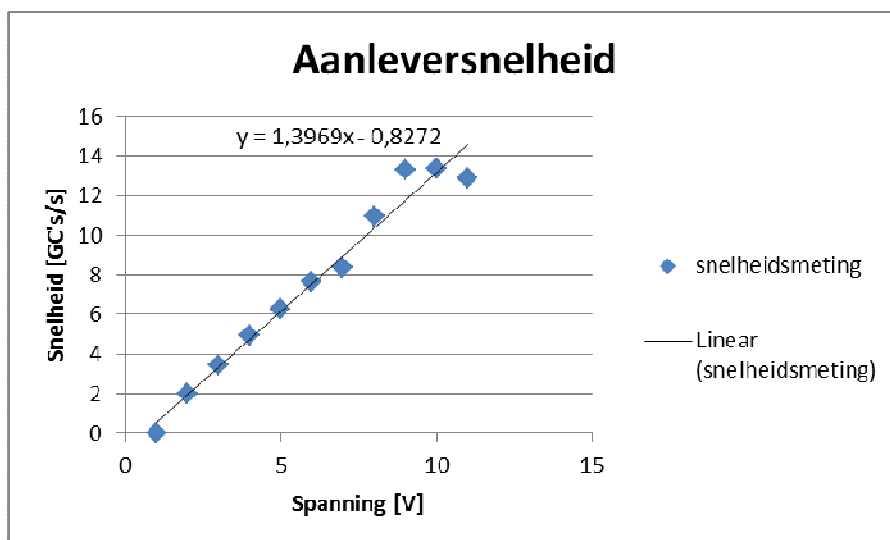
### D.2.5. Spanning/snelheid verhouding

Alvorens met de geautomatiseerde goot gewerkt is (dit is de gefixeerde goot met inkepingen waar een motorische aandrijving op geplaatst is), is besloten om te bepalen welke spanningen tot welke afleveringssnelheid leiden. De onderstaande tabel laat de resultaten hiervan zien.

Spanning [V]	Aantal GC's	Tijd [s]	Snelheid [GC's/s]
1	29	$\infty$	-
2	29	14,6	1,99
3	29	8,45	3,43
4	29	5,9	4,92
5	29	4,63	6,26
6	29	3,8	7,63
7	29	3,1	8,39
8	29	2,65	10,94
9	29	2,18	13,30
10	29	2,17	13,36
11	26	2,02	12,87

Tabel 6 Resultaten onderzoek Spanning/Snelheid verhouding

Het bleek zo te zijn dat een spanning van 1 Volt niet hoog genoeg was om de GC's überhaupt in beweging te krijgen. Voor de rest van de voltages (met uitzondering van de hogeren) volgt het een formule van  $v_{GC} = 1,4 \cdot U - 0,8$ .



Figuur 19 v/U-diagram

### D.2.6. De spindel

In een zeer vroeg stadium van de experimenten is ook nog gekeken naar de mogelijkheid om een spindel te gebruiken waar de GC's als het ware van af draaien. Hierbij worden de GC's over de spindel heen gehangen, en door het draaien van de spindel verplaatsen de GC's langzaam richting het uiteinde van de spindel. Ondanks dat hier redelijke resultaten mee geboekt zijn, de GC's konden er individueel vanaf vallen, is er voor gekozen om niet met dit concept verder te gaan. Het wil namelijk zo zijn dat een spindel niet continu te bevoorraden is, en dat de hele spindel dus leeg moet geraken voordat, van de voorzijde, weer nieuwe GC's op de spindel gezet kunnen worden. Dit belemmert de continuïteit van de levering, wat niet wenselijk is.



Figuur 20 - de Spindel

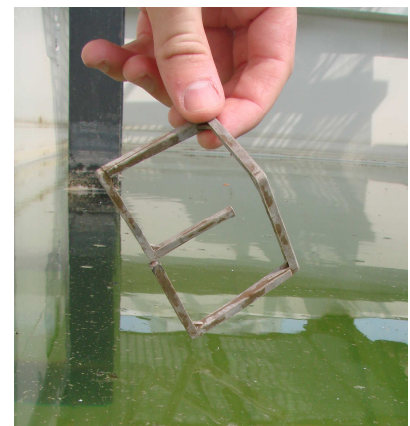
## D.3. Valsnelheid GC in water

Om een goed beeld te krijgen van het gedrag van een GC in het water hebben we een aantal experimenten uitgevoerd waarbij we verschillende GC's in het water lieten vallen. Hierbij hebben we met een stopwatch de tijd opgemeten die nodig was voor de GC om de bodem te bereiken. Hieronder een korte beschrijving van de experimenten die we hebben uitgevoerd.

### D.3.1. Kleine GC (5x5cm) van boven wateroppervlak

#### D.3.1.1 Opzet

Voor dit experiment hebben we een GC van 5x5 cm genomen (verder: kleine GC) welke we, op een willekeurige locatie in de bak, net boven het wateroppervlak hebben gehangen. Vervolgens hebben we de GC van deze positie laten vallen en de tijd opgemeten die benodigd was tot de GC de bodem raakte. Dit experiment hebben we een aantal keren herhaald om door middel van een gemiddelde de effecten van ongelijkheden in de gebruikte modellen, verschillende reactietijden en overige ongelijkheden in de experimenten te minimaliseren.



Figuur 21 Een kleine GC net boven het wateroppervlak

#### D.3.1.2 Motivatie

Omdat de Perspex valpijp in de proefopstelling een zeer grote afstand aan lucht heeft tussen het loslaatpunt en het wateroppervlak, is het niet goed mogelijk het gedrag van de GC bij de interactie met water goed te bepalen (er is immers altijd sprake van een grote hoeveelheid interactie met lucht alvorens het water bereikt wordt). Daarom hebben we besloten om op een andere locatie metingen te doen zodat we de GC direct bij het beginnen van de proef het water konden laten binnendringen.

### D.3.1.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
	Tijd [s]	Snelheid[m/s]
1e keer	7,19 ± 0,5	0,221 ± 0,017
	7,15 ± 0,5	0,222 ± 0,017
	6,52 ± 0,5	0,244 ± 0,021
	5,96 ± 0,5	0,267 ± 0,025
	6,39 ± 0,5	0,249 ± 0,022
2e keer	6,01 ± 0,5	0,265 ± 0,025
	6,45 ± 0,5	0,247 ± 0,021
	6,09 ± 0,5	0,261 ± 0,024
	5,93 ± 0,5	0,268 ± 0,025
	6,86 ± 0,5	0,232 ± 0,019
gemiddeld	6,46 ± 1,2	0,246 ± 0,046

Tabel 7 Resultaten onderzoek Kleine GC in water

### D.3.1.4 Verklaring

De spreiding in de verschillende meetresultaten is opmerkelijk groot. Allereerst tussen de verschillende meetresultaten, maar ook tussen het gemiddeld behaalde resultaat tijdens de eerste en de tweede ronde. Het verschil tussen de eerste en de tweede meting kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan het verschil tussen natte en droge GC's, een natte GC ondervindt minder weerstand bij het doorbreken van de waterspiegel dan een droge GC, wat ervoor zorgt dat een natte GC minder wordt afgeremd dan een droge.

Het verschil binnen de rondes kan deels toegeschreven worden aan meetonnauwkeurigheden, maar het verschil tussen te uitersten is te groot om dat daadwerkelijk als enige oorzaak aan te duiden. De enige logische verklaring voor de gevonden spreiding is een verschil in samenstelling van de verschillende GC's, waardoor variaties in dichtheid en omvang ontstaan zijn. Aangezien de GC's worden gemaakt van een composietmateriaal is het inderdaad niet ondenkbaar dat er sprake is van licht afwijkende mengsels.

## D.3.2. Grote GC (30x30cm) van boven wateroppervlak

### D.3.2.1 Opzet

De opzet van dit experiment is in essentie gelijk aan die van de kleine GC, alleen wordt hier in plaats van een GC van 5x5 cm gebruik gemaakt van een GC van 30x30 cm (verder: grote GC). Ook hiervan worden verschillende metingen gedaan en vervolgens een gemiddelde bepaald. Bijkomend effect is dat de grote GC een langere "airtime" heeft dan de kleine, dit omdat de grote GC een grotere afstand af te leggen heeft dan de kleine alvorens deze geheel onder water is. Dit wordt meegenomen in de analyse van de proefresultaten.

### D.3.2.2 Motivatie

Omdat de vorm van de GC niet vast staat, is het belangrijk om te onderzoeken in hoeverre de grootte van de GC van invloed is op het gedrag. Om deze rede is dit tweede experiment uitgevoerd met een afwijkende GC maat. Door het vergelijken van de twee experimenten kan een redenering ontwikkeld worden over hoe het verschil in GC grootte invloed heeft op het gedrag van het element in water, Door gebruik te maken van de wet van Archimedes, zie E.3.5.



### D.3.2.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
4,57 ± 0,5	0,348 ± 0,043	
4,91 ± 0,5	0,324 ± 0,037	
3,92 ± 0,5	0,406 ± 0,060	
4,87 ± 0,5	0,326 ± 0,038	
4,25 ± 0,5	0,374 ± 0,050	
4,22 ± 0,5	0,377 ± 0,051	
gemiddeld	4,46 ± 1,0	0,357 ± 0,108

Tabel 8 Resultaten onderzoek Grote GC in water

### D.3.2.4 Verklaring

Het valt op dat een relatief groot verschil wordt gevonden in de valsnelheden van de grote GC's en de kleine GC's. In het geval van het laten vallen van de GC's boven het water is dit goed te verklaren door de eerder genoemde langere "airtime" van de grote GC's. De GC's hebben in het begin langer te maken met de relatief kleinere weerstand die lucht uitoefent op het element, en kan zodoende meer snelheid opbouwen in de beginfase van de val. In theorie zullen beide elementen een gelijke eindsnelheid hebben, maar de voorsprong die de grote GC in afstand opbouwt tijdens de beginfase, kan later niet meer goedgemaakt worden door de kleine. De grote GC heeft dus minder lang nodig om tot de bodem te komen en daardoor een hogere gemiddelde snelheid.

## D.3.3. Kleine GC (5x5cm) van onder wateroppervlak

### D.3.3.1 Opzet

Een kleine GC wordt zo vastgehouden dat hij in zijn geheel onder water is. Vervolgens wordt de GC losgelaten en de tijd gemeten die deze er over doet om tot de bodem te vallen. Ook hiervan worden verschillende metingen gedaan en vervolgens een gemiddelde bepaald.

### D.3.3.2 Motivatie

Omdat verwacht wordt dat er een aanzienlijke invloed is van het breken van het wateroppervlak door de GC, is besloten dat het verstandig is om dit te onderzoeken door middel van vergelijkende experimenten. Derhalve wordt bij dit experiment de waterspiegel doorbroken vóór het begin van het experiment, waardoor in samenwerking met het voorgaande experiment bepaald kan worden wat de invloed van het doorbreken van de waterspiegel is.



Figuur 22 Een kleine GC net onder het wateroppervlak



### D.3.3.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
Hoogte kleine GC [m]	0,05*wortel(3)	meter
Hoogte bodem kleine GC-bodem bak [m]	1,503397	Meter
	Tijd[s]	Snelheid [m/s]
	6,42 ± 0,5	0,234 ± 0,020
	5,76 ± 0,5	0,261 ± 0,025
	5,97 ± 0,5	0,252 ± 0,024
	6,83 ± 0,5	0,220 ± 0,018
	5,99 ± 0,5	0,251 ± 0,023
	6,26 ± 0,5	0,240 ± 0,021
	6,50 ± 0,5	0,231 ± 0,020
	6,17 ± 0,5	0,244 ± 0,022
	5,82 ± 0,5	0,258 ± 0,025
	6,97 ± 0,5	0,216 ± 0,017
gemiddeld	6,27 ± 1,2	0,240 ± 0,046

Tabel 9 Resultaten onderzoek Kleine GC onder water

### D.3.3.4 Verklaring

Hoewel het verschil zeer klein is, kan men toch een lichte afname van de snelheid constateren in de meetresultaten. De GC die van boven het water valt heeft een periode van geringe wrijving (de periode dat hij door de lucht valt) om snelheid op te bouwen, waar de GC die onder het water losgelaten wordt te maken heeft met een aanzienlijk hogere weerstand in de fase waar hij snelheid opbouwt. De GC die onder water losgelaten wordt moet dus eerst een fase doorlopen waarin hij snelheid opbouwt, waardoor de gemiddelde snelheid over het traject lager wordt.

## D.3.4. Grote GC (30x30cm) van onder wateroppervlak

### D.3.4.1 Opzet

De opzet van dit experiment is weer hetzelfde als het experiment uit D.3.3. Het verschil is hier echter dat een grote GC wordt gebruikt in plaats van een kleine GC. Bijkomend effect is dat de afstand van de onderkant van de GC tot de bodem kleiner is dan dat deze afstand bij een kleine GC was, waardoor de GC een kleinere afstand hoeft te overbruggen voordat deze de bodem bereikt heeft. Dit verschil in valdiepte wordt meegenomen in de analyse van de proefresultaten.

### D.3.4.2 Motivatie

De motivatie voor de afwijking ten opzichte van het experiment uit D.3.4 is gelijk aan die tussen D.3.2 en D.3.3 en betreft het analyseren van het effect van verschillende grootten GC's.

### D.3.4.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
Hoogte grote GC [m]	0,31*wortel(3)	meter
Hoogte bodem grote GC-bodem bak [m]	1,053064	meter
Tijd[s]	Snelheid [m/s]	
4,04 ± 0,5	0,261 ± 0,037	
3,02 ± 0,5	0,349 ± 0,070	
3,16 ± 0,5	0,333 ± 0,063	
3,95 ± 0,5	0,267 ± 0,039	
3,26 ± 0,5	0,323 ± 0,059	
3,31 ± 0,5	0,318 ± 0,057	
3,28 ± 0,5	0,321 ± 0,058	
gemiddeld	3,43 ± 1,1	0,307 ± 0,111

Tabel 10 Resultaten onderzoek Grote GC onder water

### D.3.4.4 Verklaring

In tegenstelling tot wat verwacht werd van deze proef blijkt de valsnelheid van de grote GC aanzienlijk sneller te zijn dan die van de kleine GC. Aangezien volgens de wetten van Newton en Stokes de valsnelheid voor beide elementen gelijk zou moeten zijn als wrijving verwaarloosd wordt, is de enige logische verklaring dat de wrijving op de kleine GC niet hetzelfde werkt als op de grote. Aangezien de kleine GC en de grote GC geen correcte schaalmodellen van elkaar zijn (de grote GC heeft relatief dunnere ribben dan de kleine GC) ligt het in de lijn der verwachting dat het verschil in gedrag daarmee te maken heeft. Daarnaast is een relatief grotere afstand van de grote GC's traject opgebouwd uit acceleratie, doordat de totale valhoogte van de grote GC kleiner is dan die van de kleine.

### D.3.5. Weerstandscoefficiënt voor grote en kleine GC

Om het verschil in metingen tussen de twee verschillende grootten GC's te kunnen berklaren wordt gekeken naar de weerstandsfactor van de twee modellen. Mits de vorm van de GC immers exact gelijk is, zal ook de weerstandsfactor gelijk zijn, en het opschalen een stuk eenvoudiger zijn.

Op de GC werken verschillende verticale krachten tijdens de val. De verticale kracht die de GC naar beneden meekrijgt wordt bepaald door de resultante tussen de zwaartekracht en de opwaartse druk (wet van Archimedes).

$$F_z = (\rho_s - \rho_w) \cdot V \cdot g$$

Tegenover deze kracht staat een kracht omhoog, de kracht veroorzaakt door de weerstand.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A_s$$

Uit de tests is gebleken dat de zowel de grote GC als de kleine GC bijna meteen op zijn evenwichtssnelheid zit. Dit betekent dat de weerstand gelijk is aan de zwaartekracht.

$$(\rho_s - \rho_w) \cdot V \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A_s$$

Met dit gegeven en de berekende evenwichtssnelheden zijn voor beiden GC's de weerstandscoefficiënten te berekenen.

$$C_d = \frac{2 \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot V \cdot g}{\rho_w \cdot v^2 \cdot A_s}$$

Hierbij gelden voor een kleine GC de volgende gegevens

Evenwichtssnelheid $w$ [m/s]	Volume $V$ [m <sup>3</sup> ]	Stroomoppervlakte $A_s$ [m <sup>2</sup> ]
0.24	5.6 e-6	4.5 e-4

Hieruit volgt een weerstandscoefficiënt van 3.4

De gegevens voor de grote GC verschillen met die van de kleine GC

Evenwichtssnelheid $w$ [m/s]	Volume $V$ [m <sup>3</sup> ]	Stroomoppervlakte $A_s$ [m <sup>2</sup> ]
0.307	2.1 e-4	9 e-3

Dit geeft een weerstandscoefficiënt van 3.9 voor de grote GC.

## D.4. Valsnelheid GC in valpijp

Om het gedrag van een GC in een valpijp, en de invloed van verschillende valpijp-/GC-diameter verhoudingen, te onderzoeken zijn vervolgens een aantal valpijpen gemaakt (één met een diameter van 10 cm en één met een diameter van 15 cm) om de GC's doorheen te laten vallen. Hierbij is alleen gebruik gemaakt van de kleine GC's, omdat de grote GC's niet door de valpijp heen passen.

### D.4.1. GC in valpijp (ø10cm)

#### D.4.1.1 Opzet

Een PVC pijp met een diameter van 10 cm en een lengte van 150 cm is aan de rand van het bassin bevestigd. Vervolgens zijn door deze valpijp een aantal GC's gegooid. Er is van deze GC's, net als bij alle voorgaande experimenten, bepaald welke tijd nodig was voor de GC's om de bodem te bereiken. Er is hier gebruik gemaakt van het principe dat de GC's net boven de water rand zijn laten vallen.

#### D.4.1.2 Motivatie

Omdat verwacht wordt dat het gedrag van een GC in een pijpleiding anders is dan diens gedrag in het open water (door invloeden van wandwrijving en gebrek aan ruimte), werd het noodzakelijk geacht onderzoek te doen naar wat deze effecten precies waren. De valpijp in dit experiment is zo gekozen dat de maximale GC grootte (volgens Pythagoras:  $\sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2} = 5\sqrt{3} = 8,66\text{cm}$ ) nagenoeg gelijk is aan de diameter van de valpijp.

#### D.4.1.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
7,13 ± 0,5	0,223 ± 0,017	
7,28 ± 0,5	0,218 ± 0,017	
6,99 ± 0,5	0,227 ± 0,018	
7,29 ± 0,5	0,218 ± 0,017	
6,81 ± 0,5	0,233 ± 0,019	
7,10 ± 0,5	0,224 ± 0,017	
7,49 ± 0,5	0,212 ± 0,016	
7,29 ± 0,5	0,218 ± 0,017	
gemiddeld	7,17 ± 0,9	0,222 ± 0,030

Tabel 11 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp ø10cm



Figuur 23 De proefopstelling voor de experimenten uit D.4.1 en D.4.2

#### D.4.1.4 Verklaring

Het gebruik van een valpijp vertraagd de GC's aanzienlijk. Dit valt te verklaren doordat het water dat door de GC's verplaatst wordt slechts een beperkt oppervlak heeft om over te verspreiden. De GC creëert, door zijn aparte vorm, naar verwachting een turbulent en ruim stromingsprofiel dat in aanraking komt met de pijpwand, waardoor de GC wordt afgeremd. De krappe ruimte die de GC heeft binnen de pijp, de diameter van de pijp is immers maar beperkt groter dan die van de GC, zorgt er tevens voor dat botsingen tussen de wand en de GC niet te vermijden zijn. Dit resulteert in wrijving en dus snelheidsverlies.

### D.4.2. GC in valpijp (ø15cm)

#### D.4.2.1 Opzet

Een PVC pijp met een diameter van 15 cm en een lengte van 150 cm is aan de rand van het basin bevestigd. Net als bij het voorgaande experiment zijn hier vervolgens een aantal GC's doorheen gegooid en is de tijd bepaald die nodig was tot het bereiken van de bodem. Er is hier gebruik gemaakt van het principe dat de GC's net boven de waterrand zijn laten vallen.

#### D.4.2.2 Motivatie

Omdat de Perspex valpijp in de originele proefopstelling een diameter heeft van 20 cm ( $\varnothing_{\text{valpijp}} \gg \varnothing_{\text{GC}}$ ) en de valpijp uit het experiment in E.4.1. een diameter van 10 cm ( $\varnothing_{\text{valpijp}} \approx \varnothing_{\text{GC}}$ ), is hier gekozen voor een tussenmaat met een diameter van 15 cm. Hiermee wordt getracht een soort *gulden middenweg* te onderzoeken waarin de negatieve effecten van de wandwrijving gering zijn, en de grote spreiding van een bredere valpijp beperkt worden.

#### D.4.2.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,59	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
7,67 ± 0,5	0,207 ± 0,015	
6,3 ± 0,5	0,252 ± 0,022	
6,99 ± 0,5	0,227 ± 0,018	
6,91 ± 0,5	0,230 ± 0,018	
7,85 ± 0,5	0,203 ± 0,014	
7,94 ± 0,5	0,200 ± 0,014	
7,59 ± 0,5	0,209 ± 0,015	
6,95 ± 0,5	0,229 ± 0,018	
7,16 ± 0,5	0,222 ± 0,017	
gemiddeld	7,26 ± 1,5	0,219 ± 0,055

Tabel 12 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp ø15cm

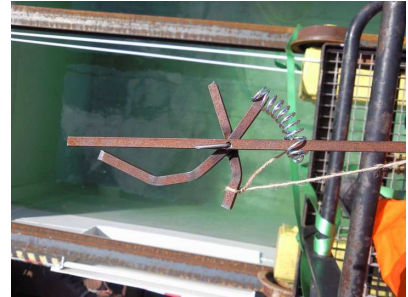
#### D.4.2.4 Verklaring

Binnen de bepaalde meetonnauwkeurigheid is het gevonden gemiddelde voor dit experiment nagenoeg hetzelfde als het experiment met de dunnere valpijp. De bredere buiswand is blijkbaar nog niet breed genoeg om het eerder genoemde contact van het stromingsprofiel met de buiswand te kunnen voorkomen. De verwachting is dat, indien nauwkeuriger gemeten zou kunnen worden, wel een hogere snelheid gevonden zou worden. Er is immers wel meer ruimte om de GC heen, en dus zou de GC zich meer als zijnde een GC in open water moeten gedragen. Omdat deze verandering niet merkbaar is binnen de foutmarge, is deze naar alle waarschijnlijkheid pas merkbaar bij onrealistisch brede buizen, en voor het onderzoek dus niet echt relevant.

### D.4.3. GC's in valpijp (ø20cm)

#### D.4.3.1 Opzet

Omdat de valpijp met diameter 20 cm ongeveer anderhalve meter boven het water uitsteekt, is het onmogelijk de GC's aan het wateroppervlak te laten vallen zonder daarvoor hulpmiddelen te gebruiken. Derhalve is met behulp van lokaal aanwezige materialen een "knijper" ontwikkeld waarmee GC's binnen de valpijp, net boven het wateroppervlak kunnen worden losgelaten (Figuur 19). Twee metalen elementen worden door middel van een veer tegen elkaar aan gedrukt, waarna door middel van een



Figuur 24 De knijper uit het experiment van D.4.3; eigen ontwerp

touw het knijpmechanisme op afstand uit elkaar getrokken kan worden. Met dit mechanisme kunnen op ongeveer twee meter afstand GC's losgelaten worden, wat afdoende is voor de afstand die binnen de valpijp overbrugd moet worden. Aangezien het water in de bak ververs is tussen de voorgaande experimenten en deze, is het waterniveau ietwat veranderd, dit is meegenomen in de berekeningen.

#### D.4.3.2 Motivatie

Om naast de twee reeds gedane experimenten voor kleinere buizen nog een derde referentiepunt te kunnen bepalen hebben we bij dit experiment gebruik gemaakt van de valpijp die reeds aanwezig was in de proefopstelling. Aangezien deze valpijp van plexiglas gemaakt is kunnen we meteen goed bekijken wat het gedrag van de GC in de valpijp is.

#### D.4.3.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,72	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
7,30 ± 0,5	0,236 ± 0,018	
7,61 ± 0,5	0,226 ± 0,016	
8,32 ± 0,5	0,207 ± 0,014	
6,74 ± 0,5	0,255 ± 0,021	
7,00 ± 0,5	0,246 ± 0,019	
7,45 ± 0,5	0,231 ± 0,017	
7,32 ± 0,5	0,235 ± 0,018	
7,20 ± 0,5	0,239 ± 0,018	
7,80 ± 0,5	0,221 ± 0,016	
8,02 ± 0,5	0,214 ± 0,015	
7,25 ± 0,5	0,237 ± 0,018	
8,12 ± 0,5	0,212 ± 0,014	
gemiddeld	7,51 ± 1,3	0,230 ± 0,046

Tabel 13 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp ø20cm

#### D.4.3.4 Verklaring

Het mechanisme met de knijper blijkt door zijn ietwat flexibele handvat snel te neigen naar een horizontale verplaatsing wanneer de GC losgelaten wordt. Het gevolg hiervan is dat de GC's vaak naar de buiswand neigen te gaan tijdens hun afdaling. Resultaat hiervan is natuurlijk dat de interactie met de buiswand zorgt voor wrijving en snelheidsverlies. Desalniettemin is het evident dat de GC's in deze valpijp gemiddeld sneller zijn dan de GC's in de kleinere buizen. Dit valt te verklaren doordat de grotere buisleiding ervoor zorgt dat de omgeving van de GC zich meer gedraagt als zijnde in open water dan dat de GC's dat in de nauwere buizen doen. De langere valtijd is natuurlijk toe te schrijven aan de grotere diepte die te overbruggen is in de bak.

### D.5. GC's in valpijp met toegevoegd debiet

Omdat de valsnelheid van GC's in stilstaand water veel te langzaam is om in de praktijk rendabel te zijn, dient te worden onderzocht hoe de valsnelheid beïnvloed wordt als er een extra stroom water wordt toegevoegd aan de buisleiding waar de GC's in worden gegooid.

#### D.5.1. GC's in valpijp $\varnothing 10\text{cm}$ , gevuld tot 5cm boven wateroppervlak

##### D.5.1.1 Opzet

De valpijp met diameter 10 cm wordt bevestigd met de opening 5 cm boven het wateroppervlak. Vervolgens wordt door middel van een dompelpomp de waterspiegel binnen de valpijp omhoog gebracht tot de rand van de valpijp. Hiermee wordt door de overdruk in de valpijp een stroming gecreëerd van boven naar beneden waarvan, in theorie, later de stroomsnelheid bepaald kan worden.

##### D.5.1.2 Motivatie

Zoals toegelicht in de inleiding van de paragraaf is het wenselijk om de GC's sneller te laten stromen dan de valsnelheid die bepaald is voor een GC in stilstaand water. Om dit te bereiken wordt er dus een stroomsnelheid gegeven aan het water in de valpijp waardoor de GC's meegevoerd worden op een hogere snelheid dan bereikt kan worden in open water. Omdat het niet mogelijk is om een gecontroleerde stroming te creëren in open water, wordt hiervoor gebruik gemaakt van een valpijp. Ondanks dat de valpijp in eerdere experimenten langzamer bleek te zijn dan de GC in open water.

##### D.5.1.3 Resultaat

Hoogte water tot bodem	1,72	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
6,37 $\pm$ 0,5	0,270 $\pm$ 0,023	
6,06 $\pm$ 0,5	0,284 $\pm$ 0,026	
5,57 $\pm$ 0,5	0,309 $\pm$ 0,031	
5,45 $\pm$ 0,5	0,316 $\pm$ 0,032	
5,95 $\pm$ 0,5	0,289 $\pm$ 0,027	
5,52 $\pm$ 0,5	0,312 $\pm$ 0,032	
gemiddeld	5,82 $\pm$ 1,1	0,296 $\pm$ 0,051

Tabel 14 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp  $\varnothing 10\text{cm}$  met 5cm verhoogde waterspiegel

##### D.5.1.4 Verklaring

Door het toegevoegde debiet is in dit geval duidelijk te zien dat de GC's aanzienlijk sneller door de valpijp bewegen dan de GC's zonder debiet. Zoals verwacht neemt de toegevoegde stroom de GC's dus mee, waardoor deze sneller naar beneden gevoerd kunnen worden.

## D.5.2. GC's in valpijp $\varnothing$ 10cm, gevuld tot 10cm boven wateroppervlak

### D.5.2.1 Opzet

Voor verder onderzoek is de hoogte waarop het uiteinde van de 10 cm valpijp boven het water wordt bevestigd veranderd naar 10 cm. Wederom wordt door middel van de dompelpomp de verkregen hoogte gevuld met water.

### D.5.2.2 Motivatie

Dit onderzoek is relevant om te onderzoeken of een verhoging van het debiet een positieve uitwerking heeft op de stroomsnelheid die de GC's meekrijgen.

### D.5.2.3 Resultaten

Hoogte water tot bodem	1,72	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
5,28 $\pm$ 0,5	0,326 $\pm$ 0,035	
5,47 $\pm$ 0,5	0,314 $\pm$ 0,032	
5,18 $\pm$ 0,5	0,332 $\pm$ 0,036	
5,22 $\pm$ 0,5	0,330 $\pm$ 0,035	
5,56 $\pm$ 0,5	0,309 $\pm$ 0,031	
5,33 $\pm$ 0,5	0,323 $\pm$ 0,034	
5,31 $\pm$ 0,5	0,324 $\pm$ 0,034	
5,18 $\pm$ 0,5	0,332 $\pm$ 0,036	
gemiddeld	7,51 $\pm$ 0,7	0,324 $\pm$ 0,044

Tabel 15 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp  $\varnothing$ 10cm met 10cm verhoogde waterspiegel

### D.5.2.4 Resultaten

Het blijkt dat een verhoging van de toegevoerde stroomsnelheid daadwerkelijk ook een verhoging van de snelheid van de GC's tot gevolg heeft. Dit is natuurlijk logisch omdat er meer stuwkracht achter de GC's komt te staan dan in het voorgaande geval. Een toegevoegde energiehogte van 10 centimeter heeft een snelheidsvermeerdering van 0,102 m/s tot gevolg. Een verbetering ten opzichte van de originele situatie dus.

## D.5.3. GC's in valpijp $\varnothing$ 15cm, gevuld tot 1cm boven wateroppervlak

### D.5.3.1 Opzet

Het bleek met de beschikbare middelen niet mogelijk een energiehogte te creëren groter dan 1 cm in de valpijp van 15 cm diameter. Door de beperkte opstuwing van het water is besloten om de opening van de valpijp niet te verlagen tot het wateroppervlak, waardoor de opstuwing in de valpijp gemeten is en er geen overloop gecreëerd kon worden om de stroomsnelheid te beïnvloeden.

### D.5.3.2 Motivatie

Naast het bepalen van de invloed van snelheid op de GC's in de kleine valpijp is het ook interessant om te kijken naar hoe een snelheid in een grotere valpijp zich vertaalt naar het gedrag van de GC. In theorie zou een grotere valpijp een gunstiger snelheidsprofiel creëren in de valpijp waardoor de GC minder beïnvloed zou moeten worden door de wandwrijving binnen de valpijp.

### D.5.3.3 Resultaten

Hoogte water tot bodem	1,72	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
7,73 ± 0,5	0,223 ± 0,016	
9,13 ± 0,5	0,188 ± 0,011	
7,26 ± 0,5	0,237 ± 0,018	
10,05 ± 0,5	0,171 ± 0,009	
7,36 ± 0,5	0,234 ± 0,018	
gemiddeld	8,31 ± 2,3	0,211 ± 0,048

Tabel 16 Resultaten onderzoek Kleine GC in valpijp  $\varnothing$ 15cm met 1cm verhoogde waterspiegel

### D.5.3.4 Verklaring

Het blijkt zo te zijn dat in het beschouwde experiment de snelheid van de GC zeer sterk varieert, en niet echt sneller is dan de snelheid van een GC in open water (in de meeste gevallen zelfs langzamer). Dit valt te verklaren doordat de energiehogte slechts beperkt toeneemt, en de methode van debiet verhoging zeer turbulente stroming tot gevolg heeft in de valpijp. Het beperkte gewicht van de GC maakt deze zeer gevoelig is voor stromingsinvloeden, en dus bij de turbulente stroming die in de valpijp gecreëerd wordt alle kanten op geslingerd wordt binnen de valpijp. Deze invloeden zorgen ervoor dat de GC's langer gevangen zitten in de stroming in de valpijp, en er dus ook langer over doen om naar beneden te vallen.

## D.6. GC's in valpijp met minder turbulent debiet

Omdat de gebruikte methode van de eerdere experimenten zeer veel turbulentie in de valpijp veroorzaakte, is ervoor gekozen om de aanvoermethode van het water enigszins te veranderen. Er is een bak ontwikkeld die bovenop de valpijp gezet kan worden, en waar het hoogteverschil op een rustige wijze kan worden opgevoerd. Omdat het lastig bleek de vrij harde waterstroom uit de pomp geleidelijk in de bak te krijgen werd daarnaast een hulpmiddel ontworpen waarmee de snelheid uit het water gehaald kan worden.



Figuur 25 De waterbak met waterdecelerator

### D.6.1. GC's in valpijp $\varnothing$ 10cm, gevuld tot 5cm boven wateroppervlak

#### D.6.1.1 Opzet

Om de turbulentie en de snelheid uit de waterstroom te halen is een aantal hulpmiddelen ontworpen en geconstrueerd. Deze zijn geïnstalleerd op de proefopstelling en vervolgens gebruikt voor het experiment. De GC's worden net als in voorgaande experimenten van net boven het wateroppervlak in de valpijp gegooid.

#### D.6.1.2 Motivatie

Zoals eerder vermeld was de eerder gebruikte methode van debiet aanvoer niet ideaal voor het creëren van een minder turbulente stroom. Omdat de turbulentie van grote invloed is op de GC's is besloten een aantal debietproeven te doen met een minder turbulente waterstroom.



### D.6.1.3 Resultaten

Hoogte water tot bodem	1,75	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
5,04 ± 0,5	0,347 ± 0,039	
4,96 ± 0,5	0,352 ± 0,040	
5,06 ± 0,5	0,346 ± 0,038	
5,20 ± 0,5	0,337 ± 0,036	
4,82 ± 0,5	0,363 ± 0,043	
4,68 ± 0,5	0,374 ± 0,045	
4,49 ± 0,5	0,390 ± 0,049	
gemiddeld	4,89 ± 0,9	0,358 ± 0,080

Tabel 17 Resultaten onderzoek ø10cm met 5cm vertraagd water

### D.6.1.4 Verklaring

Er is te zien dat de GC's in de veranderde proefopstelling sneller bewegen dan dat ze deden in de eerdere opstelling. Dit bevestigt de kwalijke invloed van turbulentie op de GC's.

## D.6.2. GC's in valpijp verschillende diameters met verschillende debieten

### D.6.2.1 Opzet

Om de invloed van debiet op de snelheid te onderzoeken is nog een aantal experimenten uitgevoerd met verschillende pijpdiameters en debieten. Er is hierbij gebruik gemaakt van de buizen van 15 en 20 cm diameter, en van opgevoerde energiehoogtes van 5 en 10 cm. Er is hierbij gebruik gemaakt van de waterbak en de waterdecelerator.

### D.6.2.2 Resultaten

Hoogte water tot bodem	1,75	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
4,07 ± 0,5	0,430 ± 0,061	
3,23 ± 0,5	0,542 ± 0,100	
3,55 ± 0,5	0,493 ± 0,081	
3,51 ± 0,5	0,499 ± 0,083	
2,73 ± 0,5	0,641 ± 0,144	
3,39 ± 0,5	0,516 ± 0,090	
3,12 ± 0,5	0,561 ± 0,108	
3,16 ± 0,5	0,554 ± 0,105	
3,14 ± 0,5	0,557 ± 0,106	
3,36 ± 0,5	0,521 ± 0,092	
3,34 ± 0,5	0,524 ± 0,093	
3,19 ± 0,5	0,549 ± 0,102	
2,89 ± 0,5	0,606 ± 0,127	
3,42 ± 0,5	0,512 ± 0,088	
3,38 ± 0,5	0,518 ± 0,090	
3,37 ± 0,5	0,519 ± 0,091	
3,36 ± 0,5	0,521 ± 0,092	
3,10 ± 0,5	0,565 ± 0,109	
3,18 ± 0,5	0,550 ± 0,103	
gemiddeld	3,29 ± 1,3	0,536 ± 0,249

Tabel 18 Resultaten onderzoek ø15cm met 5cm vertraagd water

Hoogte water tot bodem	1,80	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
4,51 ± 0,5	0,339 ± 0,050	
3,73 ± 0,5	0,483 ± 0,075	
4,62 ± 0,5	0,390 ± 0,048	
4,70 ± 0,5	0,383 ± 0,046	
3,61 ± 0,5	0,499 ± 0,081	
3,47 ± 0,5	0,519 ± 0,088	
4,62 ± 0,5	0,390 ± 0,048	
4,50 ± 0,5	0,400 ± 0,050	
4,01 ± 0,5	0,449 ± 0,064	
3,26 ± 0,5	0,552 ± 0,101	
gemiddeld	4,10 ± 1,3	0,446 ± 0,206

Tabel 19 Resultaten onderzoek ø15cm met 10cm vertraagd water

Hoogte water tot bodem	1,75	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
4,44 ± 0,5	0,394 ± 0,051	
3,83 ± 0,5	0,457 ± 0,069	
4,14 ± 0,5	0,423 ± 0,059	
3,40 ± 0,5	0,515 ± 0,089	
3,75 ± 0,5	0,467 ± 0,072	
4,07 ± 0,5	0,430 ± 0,061	
3,63 ± 0,5	0,482 ± 0,078	
4,02 ± 0,5	0,435 ± 0,062	
4,18 ± 0,5	0,419 ± 0,057	
4,22 ± 0,5	0,415 ± 0,056	
4,33 ± 0,5	0,404 ± 0,053	
4,18 ± 0,5	0,419 ± 0,057	
4,30 ± 0,5	0,407 ± 0,054	
4,82 ± 0,5	0,363 ± 0,043	
3,92 ± 0,5	0,446 ± 0,066	
4,41 ± 0,5	0,397 ± 0,051	
3,88 ± 0,5	0,451 ± 0,067	
3,73 ± 0,5	0,469 ± 0,073	
gemiddeld	4,07 ± 1,3	0,433 ± 0,171

Tabel 20 Resultaten onderzoek ø20cm met 5cm vertraagd water

Hoogte water tot bodem	1,80	meter
Tijd [s]	Snelheid [m/s]	
4,59 ± 0,5	0,392 ± 0,048	
4,00 ± 0,5	0,450 ± 0,065	
3,16 ± 0,5	0,570 ± 0,108	
3,88 ± 0,5	0,464 ± 0,069	
3,74 ± 0,5	0,481 ± 0,075	
3,95 ± 0,5	0,457 ± 0,067	
4,51 ± 0,5	0,399 ± 0,050	
4,06 ± 0,5	0,443 ± 0,063	
gemiddeld	3,98 ± 1,3	0,457 ± 0,220

Tabel 21 Resultaten onderzoek ø20cm met 10cm vertraagd water

### D.6.2.3 Verklaring

Het blijkt dat met de gebruikte methode de invloed van turbulentie veel minder zichtbaar is dan dat dit in de methode met de debiettoevoer direct op de valpijp aangesloten. Laminaire stroming wordt hier dan ook een stuk meer benaderd, en dit is te zien in de hogere gemiddelde snelheid die gehaald wordt bij de experimenten. Het zijn nog geen fantastisch hoge snelheden die bereikt worden, maar een verdubbeling van de snelheid die bij een vrije val in water bereikt werd is wel gehaald. Het is te zien dat de snelheid van de GC in de valpijp ongeveer overeenkomt met  $v_{GC} = v_{val} + v_{water}$ .

## D.7. Afstand tussen de valpijp en de zeebodem

### D.7.1. Hoogte valpijp door invloed van wegblazen

#### D.7.1.1 Opzet

Voor dit experiment hebben we gebruik gemaakt van de valpijp met diameter van 15 cm met een lengte van 100 cm. Deze pijp had 5 cm onder de top gaatjes zitten waarmee de pijp op verschillende hoogtes te bevestigen was aan de bak, zodoende dat de pijp een lengte kreeg van 100, 105, 110 en 115 cm. Deze bak werd op het wateroppervlak geplaatst, 170 cm boven het bodemoppervlak. Onder de pijp werd een plaat geplaatst die op verschillende hoogtes was te verstellen. Namelijk 40 en 30 cm hoogte. Hierdoor zijn verschillende afstanden verkregen van 10, 15, 20, 25, 35, 40, 45cm.

Op deze verschillende hoogtes zijn GC's op de plaat gelaten via de valpijp. Hierna is de pomp aangezet, waardoor het debiet door de valpijp werd gevoerd. Vervolgens is er gekeken of de GC's in beweging werden gezet door het debiet.

#### D.7.1.2 Motivatie

Doordat de GC's eenmaal sneller afdalen in een valpijp met een debiet, is het voor het behouden van een zo'n groot mogelijke snelheid van de GC's belangrijk ze zo lang mogelijk in de valpijp te houden. Echter wanneer de valpijp te dicht op de bodem staat, heb je kans dat de zojuist gelegde GC's door hetzelfde debiet worden weggespoeld. Hierdoor mag de valpijp hoogte niet te klein zijn.

#### D.7.1.3 Resultaat

Het variëren van de hoogte boven de plaat bleek geen effect te hebben op het wegspoelen van de GC's. Bij zowel grote als kleine afstanden was er nauwelijks sprake van wegspoeling. Op sommige momenten was er sprake van een lichte beweging van enkele GC's, maar niet van een orde van grote dat het invloed zou hebben op het leggen van de mat.

#### D.7.1.4 Verklaring

In al de proefjes waren de GC's moeilijk in beweging te brengen. Dit in tegenstelling tot wat er in het filmpje wegblazen GC's te zien was, waar de GC's met gemak werden weggeblazen.

Enkele redenen hiervoor: Het water wat uit de valpijp komt is minder geconcentreerd en heeft een veel minder grotere snelheid. Hierbij speelt het feit mee dat de stroom nu direct van bovenaf komt waardoor de GC's meer tegen de bodem worden gedrukt.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van een deels verroeste plaat. Dit heeft tot gevolg dat de ruwheid van de bodem hier hoger is dan dat het geval was in het filmpje waar de GC's weggeblazen worden van de bodem van de container. In werkelijkheid zal de zeebodem nog ruwer zijn dan de verroeste plaat, waardoor de gegevens van het onderzoek representatiever zijn dan het filmpje.

### D.7.2. Hoogte valpijp door invloed van spreiding

#### D.7.2.1 Opzet

Wanneer de GC's bij het uiteinde van de valpijp zijn aangekomen, is er weer ruimte genoeg voor de GC's om zich te verspreiden. Deze spreiding zal afhangen van de afstand tussen het einde van de valpijp en de bodem, aangezien dit de ruimte is waar verspreiding mogelijk is.

Hierdoor zijn er verschillende hoogtes gekozen waarbij 29 GC's zijn gelost. Hierna is de grootte van de diameter opgemeten en uitgezet tegen de hoogte. Dit is zowel met als zonder debiet gedaan.

Voor de hoogtes zijn gebruikt: 0, 25,35,en 60 centimeter.

#### D.7.2.2 Motivatie

Door naar de spreiding te kijken valt er te bepalen wat het bereik is in de breedte van één valpijp. Met dit gegeven kan vervolgens weer bepaald worden hoeveel valpijpen er nodig zijn of hoeveel dekens er naast elkaar gelegd moeten worden, waarbij geldt hoe minder hoe beter.

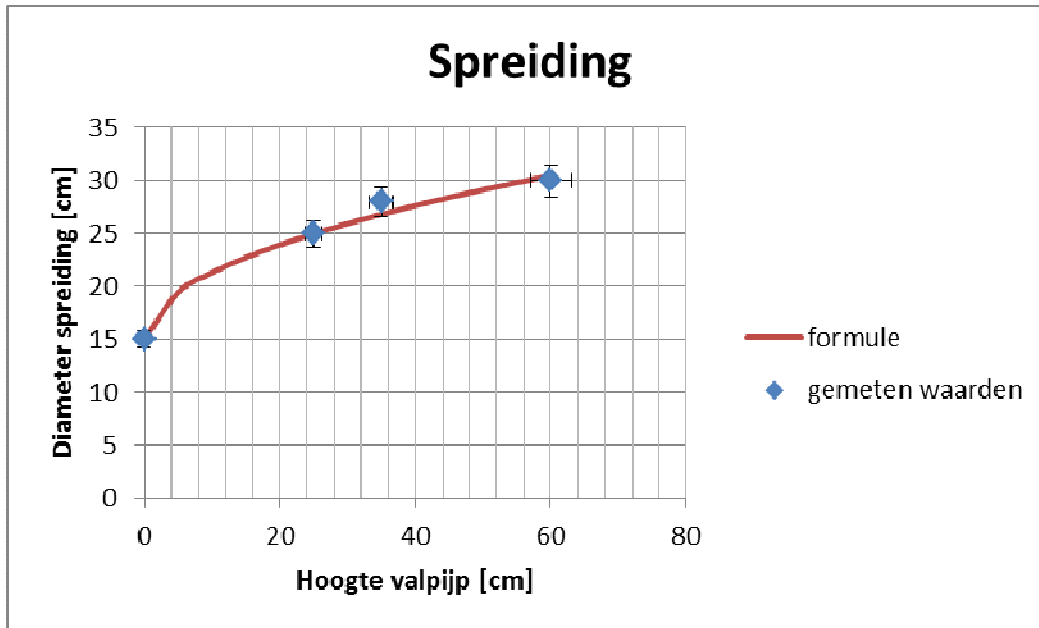
Daarnaast is het van belang wat voor een vorm de spreiding heeft, is deze gelijkverdeeld of een hoopje met hier en daar een GC naast.

#### D.7.2.3 Resultaten

We hebben twee proeven gedaan, één met debiet en één zonder debiet. Voor beiden proeven kwamen de zelfde waarden uit.

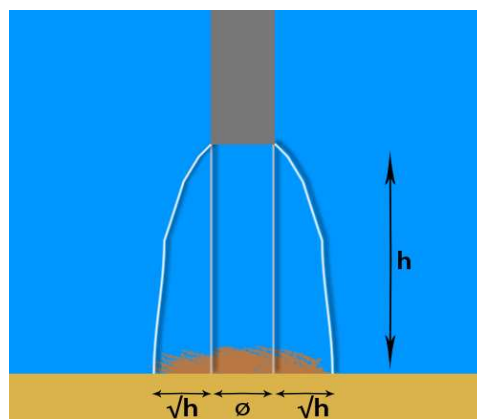
	zonder debiet	met debiet
Hoogte [cm]	max diameter [cm]	Diameter [cm]
0	15	15
25	25	26
35	28	28
60	30	31

Tabel 22 - Diameter spreiding bij bepaalde hoogte



Figuur 26 Plot Spreidingsdiameter met trendlijn

Dit komt ongeveer overeen met de formule  $\varnothing_{mat} = \varnothing_{buis} + 2 \cdot \sqrt{1 \cdot h}$ ; met constante 1 in [m] in verband met dimensies van formule.



Figuur 27 - Grafische weergave spreidingsformule

Verder valt het op dat de verspreiding normaal verdeeld is. In het midden een hoopje dat afloopt naar de buitenkant, maar nog wel goed in elkaar zit.

#### D.7.2.4 Verklaring

Net als bij stortsteen kan de spreiding bij de val van GC's gekenmerkt worden door een wortelhoogte functie. Wat opvalt is dat de GC's zich niet heel erg verspreiden.

#### D.7.2.5 Uitwerking

Om een zo groot mogelijk gebied in een keer te kunnen bestrijken is er een zo groot mogelijke spreidingdiameter nodig. Met de vergelijking van  $\varnothing_{mat} = \varnothing_{buis} + 2 \cdot \sqrt{1 \cdot h}$  vallen de verschillende diameters af te lezen en de daarbij behorende hoogtes. Wij gaan uit van een minimale spreiding van 25 cm wat in werkelijkheid een spreiding van één meter betekend. Hiervoor is de benodigde hoogte 25 cm. Om de verscheidene lagen goed met elkaar aan te sluiten is er een overlap nodig van enkele cm. Hierdoor komt de spreidingsdiameter op ongeveer 30 cm. Dit betekend een hoogte van 60 centimeter.

Diameter [cm]	Hoogte [cm]
25	25
26	30,25
27	36
28	42,25
29	49
30	56,25
31	64
32	72,25

Tabel 23 - Hoogte benodigd voor bepaalde spreiding

## D.8. Bepaling debiet/stroomsnelheden

Om te bepalen welk debiet er door de verschillende gebruikte buizen stroomt, en welke snelheden deze stromen hebben, is het belangrijk een aantal berekeningen uit te voeren met betrekking tot de valpijpdiameter en de maximale debieten. Hierbij kan het zijn dat de capaciteit van de gebruikte valpijp maatgevend is, maar het kan ook zijn dat het debiet van de pomp maatgevend is. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de formules voor niet-stationaire stroming uit het dictaat CT2100 Vloeistofmechanica<sup>4</sup>. Vervolgens is de snelheid weergegeven aan de hand van het maatgevende debiet.

Het maximale debiet van de gebruikte pomp met de bijbehorende snelheden per valpijpdiameter is als volgt (hierbij is gebruik gemaakt van het karakteristieke overzicht van de pomp uit de bijlage, waarbij een marge is ingebouwd voor de opgebouwde hoogte en de wrijving van de gebruikte hulpmiddelen):

$$Q_{pomp} = 25 \frac{m^3}{h} = 0,0069 \frac{m^3}{s} = 6,944 \frac{L}{s}$$

$$v_{10} = \frac{0,0069}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,10^2} = 0,884 \frac{m}{s}$$

$$v_{15} = \frac{0,0069}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^2} = 0,393 \frac{m}{s}$$

$$v_{20} = \frac{0,0069}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,20^2} = 0,221 \frac{m}{s}$$

Het debiet bij een valpijp met diameter 10cm en een energiehoogte van 5cm is als volgt:

$$D = 0,10m$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 1,50m$$

$$\Delta h = 0,05m$$

$$\mu \approx 0,6$$

$$c_f = 0,003$$

$$\xi_{onder} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,10}{\infty}\right)^2 \approx 1,00$$

$$\xi_{boven} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 = \left(\frac{1}{0,6} - 1\right)^2 \approx 0,45$$

$$\chi = \sum \xi + 8c_f \frac{L}{D} = (1,00 + 0,45) + 8 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,50}{0,10} = 1,81$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{\chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05}{1,81}} = 0,74 \frac{m}{s}$$

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,74 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,10^2 = 0,0058 \frac{m^3}{s} = 5,812 \frac{L}{s}$$

Het debiet bij een valpijp met diameter 10cm en een energiehoogte van 10cm is als volgt:

$$D = 0,10m$$

$$g = 9,81m/s^2$$

$$L = 1,50m$$

$$\Delta h = 0,10m$$

$$\mu \approx 0,6$$

$$c_f = 0,003$$

$$\xi_{\text{onder}} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,10}{\infty}\right)^2 \approx 1,00$$

$$\xi_{\text{boven}} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 = \left(\frac{1}{0,6} - 1\right)^2 \approx 0,45$$

$$\chi = \sum \xi + 8c_f \frac{L}{D} = (1,00 + 0,45) + 8 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,50}{0,10} = 1,81$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{\chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,10}{1,81}} = 1,04 m/s$$

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 = 1,04 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,10^2 = 0,0082 m^3/s = 8,177 L/s$$

Het debiet bij een valpijp met diameter 15cm en een energiehoogte van 5cm is als volgt:

$$D = 0,15m$$

$$g = 9,81m/s^2$$

$$L = 1,50m$$

$$\Delta h = 0,05m$$

$$\mu \approx 0,6$$

$$c_f = 0,003$$

$$\xi_{\text{onder}} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,15}{\infty}\right)^2 \approx 1,00$$

$$\xi_{\text{boven}} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 = \left(\frac{1}{0,6} - 1\right)^2 \approx 0,45$$

$$\chi = \sum \xi + 8c_f \frac{L}{D} = (1,00 + 0,45) + 8 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,50}{0,15} = 1,69$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{\chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05}{1,69}} = 0,76 m/s$$

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,76 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^2 = 0,0134 m^3/s = 13,465 L/s$$

Het debiet bij een valpijp met diameter 20cm en een energiehoogte van 5cm is als volgt:



$$D = 0,20m$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 1,50m$$

$$\Delta h = 0,05m$$

$$\mu \approx 0,6$$

$$c_f = 0,003$$

$$\xi_{sonder} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,20}{\infty}\right)^2 \approx 1,00$$

$$\xi_{boven} = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 = \left(\frac{1}{0,6} - 1\right)^2 \approx 0,45$$

$$\chi = \sum \xi + 8c_f \frac{L}{D} = (1,00 + 0,45) + 8 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,50}{0,20} = 1,63$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{\chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05}{1,63}} = 0,78 \frac{m}{s}$$

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,78 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,20^2 = 0,0243 \frac{m^3}{s} = 24,372 \frac{L}{s}$$

De berekeningen leveren de volgende tabel op voor de verschillende valpijpdiameters en opvoerhoogten (maatgevende waarden omlind):

Valpijpdiameter	Opvoerhoogte	Max. Debiet Valpijp	Max. Debiet Pomp	Snelheid
10cm	5cm	5,812 L/s	6,944 L/s	0,740 m/s
10cm	10cm	8,177 L/s	6,944 L/s	0,884 m/s
15cm	5cm	13,465 L/s	6,944 L/s	0,393 m/s
20cm	5cm	24,372 L/s	6,944 L/s	0,221 m/s

Tabel 24 Debieten in valpijp

Dit levert voor de vergelijking tussen de werkelijk gevonden waarden en de theoretische waarden het volgende op:

Valpijpdiameter	Opvoerhoogte	Valsnelheid	Watersnelheid	Theoretische GC snelheid	Werkelijke GC snelheid
10	5	0,222 m/s	0,127 m/s*	0,349 m/s	0,358 m/s
15	5	0,219 m/s	0,393 m/s	0,612 m/s	0,536 m/s
20	5	0,230 m/s	0,221 m/s	0,451 m/s	0,433 m/s

\*=uitgaande van kleine pomp (1L/s) wegens gebrek aan meetresultaten met grote pomp

## D.9. De dichtheid van de GC deken

Omdat het een essentieel onderdeel van het onderzoek is om de vraag te beantwoorden welke combinatie van vaarsnelheid, zijdelingse beweging en lossnelheid leidt tot een bepaalde dichtheid. Is het noodzakelijk de eerder bepaalde onderdelen samen te vatten in een formule. Hierbij wordt de dichtheid bepaald door de hoeveelheid GC's die er per tijdseenheid op vallen te delen door het oppervlak dat per tijdseenheid afgelegd kan worden. De hoeveelheid GC's is eerder bepaald en wordt gesteld op  $v_{los}$ , het bereikte oppervlak wordt bepaald door de spreiding (eerder bepaald als zijnde  $\varnothing_{buis} + 2\sqrt{1 \cdot h}$ ) te vermenigvuldigen met de snelheid die de buis ondervindt. Deze snelheid wordt bepaald door de snelheidsvectoren van de zijdelingse beweging van de pijp, en de voorwaartse beweging van het schip bij elkaar op te tellen. Aangezien de twee vectoren loodrecht op elkaar staan kan hiervoor de stelling van Pythagoras gebruikt worden, en wordt de totale formule

$$\text{voor de dichtheid: } \rho_{GC} = \frac{v_{los}}{(\varnothing_{buis} + 2\sqrt{1 \cdot h}) \cdot \sqrt{v_{schip}^2 + v_{zijdelings}^2}}.$$

## D.10. Video gerelateerde experimenten

Omdat sommige opstellingen zich niet lenen voor een goede analyse aan de hand van meetwaarden, is besloten de experimenten vast te leggen met een onderwatercamera en aan de hand van de geobserveerde resultaten theorieën te ontwikkelen over het gedrag van de GC's in de bepaalde gevallen. Voor een uitgebreide uiteenzetting van de gemaakte video's, zie bijlage E.

### D.10.1. Gedrag GC's onder valpijp $\varnothing 20$ cm met toegevoegd debiet

Het blijkt zo te zijn dat een GC die met toegevoegd debiet in een valpijp wordt geworpen, in de valpijp een versnelling ondergaat. Deze versnelling duurt vervolgens tot een bepaalde afstand nadat de valpijp verlaten is, waarna de snelheid bijna instantaan verandert naar die van een GC in open water. Het ligt voor de hand te constateren dat een GC ten alle tijden de snelheid van het omringende water zal aannemen, en zich bij fluctuaties binnen zeer korte tijd zal aanpassen aan de nieuwe situatie. Het is relevant voor het onderzoek naar GC's als pijpleidingbescherming om te weten dat een GC zeer snel afremt zodra het stroomgebied van de valpijp verlaten is. Dit betekent namelijk dat bij een hoge strooifrequentie de kans op botsingen in het gebied tussen de valpijp en de grond zeer groot is. Het is niet per definitie slecht dat deze botsingen optreden, het bevordert immers het klitten van de elementen en daarmee het vormen van de mat, maar bij een te grote hoeveelheid GC's op een bepaalde plek kan ook bolvorming optreden, waardoor geen uniforme mat gevormd kan worden.

### D.10.2. Verschil GC's buiten de valpijp en binnen de valpijp

Bij verschillende pijpdiameters en debieten is gekeken naar het verschil in vaarsnelheid tussen een GC binnen de valpijp, en een GC die daar net buiten valt. De resultaten van deze aparte experimenten staan weliswaar vermeld in eerdere paragrafen van dit hoofdstuk, maar het levert een bevestiging van de bepaalde conclusies om te zien dat het beredeneerde verschil daadwerkelijk optreedt. Zo is bijvoorbeeld op camera vastgelegd dat een GC uit D.4.3 inderdaad aanzienlijk later de valpijp uit komt dan een losse GC in stilstaand water. Of dat een GC uit D.4.2 inderdaad eerder de valpijp uit komt dan een losse GC in water.

### **D.10.3. Meerdere GC's snel achter elkaar**

Omdat het uiteindelijk de bedoeling is dat er niet één GC, maar een zeer groot aantal GC's dient te worden geleverd, is het ook relevant te kijken naar hoe de GC's zich gedragen als er meerderen snel achter elkaar in de valpijp worden gegooid. In dit onderzoek kan tevens bekeken worden hoe de GC's zich op de bodem gedragen wanneer er veel achter elkaar op dezelfde plaats gegooid worden.

Het blijkt in dit onderzoek vooral dat het met de hand niet mogelijk is om de optimale strooifrequentie te bereiken. De GC's kunnen aanzienlijk sneller geworpen worden dan in dit onderzoek gedaan werd (er werd een snelheid bereikt van ongeveer 2 GC's per 3 seconden). Dit betekent tevens dat een mechanische aandrijving van de GC toevoer sneller moet kunnen werken dan de 2 GC's per 3 seconden.

Op de bodem viel te constateren dat de GC's niet echt de neiging hebben om zich over de bodem te verspreiden. De eerste paar vormen een mat van maximaal 3 GC's breed, waarna de rest zich als een soort toren opbouwt richting het uiteinde van de valpijp. Het gevolg hiervan is dus dat het bij het leggen van een verspreide mat belangrijk is om de valpijp te bewegen, danwel de GC's in meerdere buizen naast elkaar te laten vallen. Met één valpijp is het in ieder geval niet mogelijk een goed verspreide mat neer te leggen.

### **D.10.4. GC's in schuine valpijp**

Er is kort, door middel van videobeelden, onderzocht wat het gedrag van de GC in een valpijp onder een hoek is. De valpijp is onder verschillende hoeken in het water gehouden, waarna er GC's aan het begin van de valpijp zijn laten vallen. Het blijkt dat de GC's over de bodem langzamer naar beneden bewegen dan ze in vrije val doen, dit heeft te maken met de wrijving die de buiswand met de GC veroorzaakt. De wrijving zorgt er tevens voor dat de GC's bij flauwe hellingen stil kunnen komen te staan in de valpijp. Om dit effect tegen te gaan, en om de algehele snelheid van de GC's op te voeren, is vervolgens een klein debiet op de valpijp gezet. Dit debiet is gerealiseerd door een pomp aan het begin van de valpijp te houden. Een optredend effect is dat het debiet zich aan de onderzijde van de valpijp concentreert, omdat de zwaartekracht de stroom naar beneden trekt in de lucht, en deze stroom in het water dus laag binnen komt. Het blijkt tevens zo te zijn dat de klitvorming in de valpijp bevordert wordt door deze methode, de GC's zijn aanzienlijk minder snel uit de acceleratie zone in het water, en de GC's kunnen dus minder snel achter elkaar gelost worden voor er problemen ontstaan.

### **D.10.5. Transparante valpijp 15cm**

Om de effecten van turbulentie binnen de valpijp in beeld te kunnen brengen is gebruik gemaakt van een transparante valpijp. In de hierdoor verkregen beelden is duidelijk te zien dat de GC's kunnen blijven hangen in het turbulente stromingsgebied aan het begin van de valpijp. De GC die in de video in beeld is gebracht blijft tot twee maal toe stil hangen in de valpijp, wat de doorstroming van de GC's natuurlijk niet ten goede zou komen in het geval dat er meerderen snel achter elkaar in de valpijp zouden vallen. Het filmpje toont het belang aan van het voorkomen van te grote turbulentie in de valpijp, omdat anders klitvorming in de valpijp onvermijdelijk is, en verstoppingen op zouden kunnen treden.

### D.10.6. Gedrag GC's onder de valpijp (wegspoelen)

Het ligt in de lijn der verwachting dat het toegevoegde debiet aan de valpijp ervoor zorgt dat er een stroming ontstaat aan de onderzijde van de valpijp. Deze stroming kan kwalijke gevolgen hebben voor de GC's die onder de valpijp op de bodem liggen doordat een te sterke stroming ervoor kan zorgen dat GC's weggeblazen kunnen worden. Met name kleine aantallen GC's zijn daar naar verwachting erg gevoelig voor. Om dit te onderzoeken is een metalen plaat op verschillende afstanden onder de valpijpopening geplaatst, en zijn hier een aantal GC's op gelegd. Vervolgens is een debiet op de valpijp gezet en gekeken bij welke afstanden er merkbaar wegspoeling te constateren was.

Het bleek zo te zijn dat zelfs bij zeer kleine afstanden tussen het uiteinde van de valpijp de effecten van de stroming op de GC's nauwelijks merkbaar waren. Een aantal GC's verplaatsten lichtelijk als het debiet lang op de landingsplaats gericht bleef. Het is echter de verwachting dat, aangezien de GC's met een hoge snelheid gelost zullen worden, de mat deze GC's gevangen heeft voordat ze echt weg kunnen spoelen.

### D.10.7. GC-mat

Daar het uiteindelijke doel van het experiment betrekking heeft op het leggen van een lange mat aan GC's, is als slotexperiment een proefopstelling gemaakt waarin het aandrijvingsmechanisme, de valpijp, de waterbak én het rijdende karretje gecombineerd zijn. Op deze manier was het mogelijk om, zijnde in beperkte mate door de beperkingen op het aandrijfmechanisme, een mat aan GC's over de bodem te leggen. Er is in dit experiment videomateriaal verzameld voor verschillende lossnelheden en "vaarsnelheden" (de snelheid waarmee het karretje zich voortbeweegt) waaruit vervolgens een analyse gemaakt kan worden wat de randvoorwaarden van het lossen van de GC's zijn.

Uitgaande van een voorgestelde ideale dichtheid van ongeveer 800 GC's per m<sup>2</sup> (voorgestelde dichtheid door Anome BV), en uitgaande van een behaalde breedtespreiding van 25cm, kunnen voor de bepaalde mogelijke lossnelheden de bijbehorende vaarsnelheden bepaald worden:

Spanning [V]	Snelheid [GC's/s]	Vaarsnelheid *10 <sup>-2</sup> [m/s]
2	2,0	1,00
3	3,4	1,72
4	4,9	2,46
5	6,3	3,13
6	7,6	3,82
7	8,4	4,20
8	10,9	5,47
9	13,3	6,65

Tabel 25 Verhouding spanning/vaarsnelheid bij dichtheid 800 GC/m<sup>2</sup>

# E. Videolijst op chronologische volgorde

---

## E.1. GC's in water

### **BEGIN OVERZICHT.MPG**

De eerste film die gemaakt is, daarom ook nog een beetje onwennig. Boven water is er veel te zien van de werf en zijn omgeving, Onder water is de buis met diameter 20 cm te zien waar een debiet door loopt.

### **BUIS 10 CM MET EN ZONDER DEBIET #1.MPG**

Een film waarin de snelheid vergeleken wordt tussen een GC door een buis van 10 cm met een debiet (dompelpomp) en een GC die in het openwater valt. Hieruit blijkt dat de GC in de buis trager is dan de GC die buiten de buis naar beneden komt. Verklaring zijn de wrijving van de buis, aanwezigheid van turbulente stromen in de buis (doordat het debiet voornamelijk op een klein gebied was geconcentreerd door het gebruik van de dompelpompslang)

### **BUIS 10 CM MET EN ZONDER DEBIET #2.MPG**

Een tweede film waarin de snelheid vergeleken wordt tussen een GC door een buis van 10 cm met een debiet(dompelpomp) en een GC die in het openwater valt. Hierin is eerst de GC in de valpijp sneller, daarna zijn beiden GC's even snel. Hieruit kan opgemaakt worden het verschil in tijd tussen film #1 en #2 voornamelijk zit in de turbulentie, aangezien bij beiden filmpjes de wrijving de zelfde grootte heeft. De turbulentie en de plek waar de GC dit gebied nadert kunnen ervoor zorgen dat de GC in de buis blijft hangen zoals waarschijnlijk is gebeurt in film #1

### **BUIS 10 CM SERIE MET DEBIET #1.MPG**

Een film waarbij meerdere GC's achter elkaar door de buis met 10 cm diameter worden gestort. Door de buis loopt ook een debiet. Hierin valt te zien hoe de GC's al dwarrelend op elkaar gestapeld en mede door het debiet in elkaar gedrukt worden. Tot er een grote hoop ontstaat.

### **BUIS 10 CM SERIE MET DEBIET #2.MPG**

Een tweede poging van het voorgaande filmpje. Effect hetzelfde.

### **BUIS 15 CM EH 1 CM.MPG**

Op deze film is te zien hoe één GC uit de valpijp met diameter 15 cm komt nadat er een debiet ter grote van 1 cm energiehoogte toegevoegd is. Dit is verkregen door middel van een dompelpompje.

### **BUIS 15 CM GROOT DEBIET.MPG**

Doordat het dompelpompje uit het vorige filmpje geen groot debiet veroorzaakte, is er een grotere pomp bij gehaald. Dit is een pomp vergelijkbaar met een brandweerslang. Gevolg is het debiet zorgde voor extreme turbulentie, in de film ook nog te zien aan de grote witte wolken met luchtbelletjes. Hierdoor is de meevoering van de GC's ook zeer slecht te zien.

### **BUIS 15 CM MET EN ZONDER DEBIET.MPG**

Een vergelijking tussen de snelheid van GC's in en buiten de buis. Hierbij heeft de GC binnen de buis nog een toegevoegd debiet. Hierdoor zou men de snelheid van de GC in de buis groter achten dan die van de GC buiten de buis. Echter is dit niet het geval en is er hetzelfde aan de hand als bij de film "buis 10 cm met en zonder debiet #1.mpg". Met als verschil dat de GC nog meer ruimte heeft om te blijven hangen aangezien de diameter van de buis groter is. Het hele blijven hangen van de GC kan worden voorkomen door de toevoer van water meer te laten verspreiden.

#### **BUIS 20 CM MET DEBIET.MPG**

In deze film is de brandweerslang in de buis van 20 cm diameter gehangen en zijn er GC door de buis laten vallen. Maar het meest interessant om te zien is dat de door het debiet toegevoegde snelheid vrij snel verdwijnt wanneer de GC uit de buis is. Wil men dus de GC's door middel van een debiet zo snel mogelijk naar de bodem krijgen, is het noodzakelijk de valpijp zo lang mogelijk maken als kan. Wel moet er hierbij nog wel rekening gehouden worden met het feit dat het debiet ook GC's zou kunnen wegblazen.

#### **PLAATSING BUIS 15 CM #1.MPG**

#### **PLAATSING BUIS 15 CM #2.MPG**

#### **PLAATSING BUIS 15 CM #3.MPG**

Drie filmpjes waarop de buis van 15 cm doorsnede te zien is, verder niets belangrijks.

#### **WEGBLAZEN GC'S.MPG**

Een film waarop goed te zien is, hoe gevoelig GC's zijn wanneer er een kracht op speelt. Door de geconcentreerde stroom water die vanuit de pompplaat komt, worden de GC's een flink eind verplaatst.

#### **VISSEN.MPG**

Kort fragment waarbij een hoopje GC's door een schepnet wordt opgevist. Ook bij dit aspect is het belang van de samenklittende kracht van de GC's niet te onderschatten.

## **E.2. Verschillende aanlevermethoden**

#### **BOVENINKLEMMING MET GEO.MPG**

Korte film van met het principe van de boveninklemming. Gaat niet helemaal soepel, doordat de GC's een vaste hoek moeten hebben om ze een voor een naar beneden te krijgen. In het filmpje is dan ook te zien dat er meerdere GC's naar beneden vallen wanneer dit niet het geval is. Dit gebeurt bij de drie laatste GC's.

#### **BOVENINKLEMMING MET GEO (2).MPG**

Een tweede film over het boveninklemmingsprincipe. Hierop is duidelijk te zien dat wanneer er een GC valt de geodriehoek de daarop volgende GC's tegenhoudt. Dit gebeurt aan de bovenkant van de GC's, waardoor de GC's hun draaiing niet kunnen maken die nodig is om met de eerste GC mee te vallen.

#### **BOVENINKLEMMING MET GEO (3).MPG**

Laatste film over de boveninklemming. Dit is het filmpje waar de boveninklemming het soepelst naar voren komt.

#### **INKLEMMING MET GEO ONDER.MPG**

Een filmpje met eigenlijk dezelfde methode als de boveninklemming, alleen is de boveninklemming op een lager punt toegepast, namelijk het hoekje onder. Op zich laat het filmpje zien dat dit een oplossing is die werkt. Echter zal het bij deze methode wel om een discontinue systeem gaan.

#### **ZIJSTORT.MPG**

Korte film met het zijstortprincipe. De GC's zitten compact in elkaar, hierna wordt de gehele serie GC's over de lengte in het water geduwd. Het gevolg van deze actie: de GC serie breekt in tweeën. Maar de GC's in beide helften blijven vrij compact in elkaar zitten.

### **ZIJSTORT (2).MPG**

Een tweede film over het zijstortprincipe met ook dezelfde opbouw. Nu blijft de serie wel heel, maar ook nog steeds compact. Dit is dus geen goede oplossing om de GC een goede spreiding te geven.

### **GC'S VAN HOUTEN PLANK.MPG**

Hierin valt te zien hoe een serie GC's vanuit een goot met inkepingen wordt geschoven. Het valt op hoe soepel het gaat, en hoeveel GC's er per seconde via deze manier gestort kunnen worden.

## **E.3. Plankje GC's met diameters buis**

### **GC's IN BUIS 10CM.MPG**

Hierin is te zien hoe de hele serie GC's van het plankje onder een hoek in de buis van 10 cm diameter worden gelaten. Deze buis begint boven water. Wat opvalt is dat dit niet goed gaat. GC blijven haken aan de buisrand. De buis lijkt te krap te zijn.

### **GC's IN BUIS 10CM (2).MPG**

De GC worden nu met een groep tegelijk in de buis van 10 cm diameter gestopt. Dit met de bedoeling het debiet wat ten gevolge van de GC ontstaat te zien. Maar in het begin valt het toch op dat de GC's weer vast blijven zitten aan de buisrand. Vervolgens na wat aanpassingen zijn toch de wervelingen te zien die door de GC's worden veroorzaakt.

### **GC's IN BUIS 10CM (3).MPG**

Hetzelfde soort film als bovenstaande (buis onderwater), alleen nu worden de GC nog wel onder de gefixeerde hoek van het plankje gehouden. Plankje staat nu alleen wel rechtop. Dit kan dus gezien worden als een combinatie van de eerste twee filmpjes. Echter geen wervelingen te zien omdat de GC's weer vastlopen.

### **GC's IN BUIS 15CM.MPG**

Ook voor de buis van 15 cm worden er veel GC ineens in de buis gelaten wanneer deze onderwater staat. Op de film is te zien hoe de GC met gemak in de buis glijden. Ook de veroorzaakte wervelingen zijn goed zichtbaar.

### **GC's IN BUIS 15CM (2).MPG**

Zelfde soort filmpje als de bovenstaande. Iets dichterbij gefilmd en wat minder soepel, er hangt namelijk nog een GC aan de wand die de rest ophoudt.

## **E.4. IJzeren goot met GC's**

### **BOVENWATER TOT BODEM VAL.MPG**

In deze film worden twee GC's gevolgd die boven water via de stalen gefixeerde goot worden gelost. Hierop is te zien hoe deze twee GC's zich tollend en onvoorspelbaar door het water bewegen.

### **ZINKENGOOT INHAM PAB ONDERWATER.MPG**

De zinken goot ligt onderwater en een serie GC's wordt hiervan afgeduwd. Hierna zweven de GC's door het water naar beneden. Echter doordat het verzinken de goot een stuk ruwer heeft gemaakt gaat dit veel stroever. Dit heeft als gevolg dat de GC's veel meer met schokken tegelijk over het randje worden geduwd. Dit zorgt ervoor dat de GC's erg veel samen over de rand vallen. Wat te zien is op het einde.

#### **HALF ZINKENGOOT INHAM PAB ONDERWATER.MPG**

Als gevolg van de gehele zinken goot is de goot nu opgeschuurd, hierdoor is het al minder stroever. Nu valt te zien dat de GC's een eigen patroon hebben wanneer ze onderwater over de rand vallen eerst het puntje een beetje omhoog daarna draait de GC rechtsom.

#### **GLADDE GOOT INHAM PAB ONDERWATER NAAR BODEM.MPG**

Nu is de gehele zinklaag verwijderd. De GC's vallen nu heel soepel van de goot af. Het valgedrag voor het begin van de GC's onderwater is dan ook nog duidelijker te zien.

#### **ONDERWATER TOT BODEM VAL.MPG**

Alweer worden GC van onderwater gelost door middel van de goot. Nu worden er twee GC gevolgd tot de bodem. Het in de voorgaande ontdekte patroon van hoe een GC beweegt net na het lossen treedt ook hier weer op. Waarna beiden GC's hun eigen val vervolgen met aparte bewegingen.

#### **PLATTE KANT PVB ONDERWATER.MPG**

Nu worden de GC's van de platte kant en niet de kant met de inkepingen afgeduwd. Dit gaat echter fout de GC's blijven in elkaar haken. Iets wat eigenlijk al bekend was.

## **E.5. Experimenten 17-5**

### **15 cm debiet dp volgen GC, camera laten vallen.mpg**

In dit filmpje wordt nog een keer een GC in de buis van 15 cm diameter gelaten terwijl er een debiet van het pompje door de buis stroomt. Het verschil zit hem nu in de doorzichtige buis, hierdoor valt de val van de GC geheel te zien. Toch is dit in het begin moeilijk doordat het water daar nog erg turbulent is, veel luchtbelletjes waardoor de buis wit ziet. Wel is te zien dat de GC normaal naar beneden gaat.

### **GOEDE TURBULENTIE FILM, MEERDERE.MPG**

Nog een filmpje met de buis van 15 cm en het debiet van de pomp. Hierop is echter duidelijk te zien wat in de voorgaande filmpjes met niet doorzichtige buis een conclusie was. De GC verplaatst zich naar het gebied buiten de geconcentreerde stroom waarna het blijft hangen. Dit kost veel tijd, waardoor de GC minder snel op de bodem komt.

### **WILD TURBULENT WATER.MPG**

Weer de buis met 15 cm diameter nu alleen met de grote pomp erop aangesloten. Het gevolg is dat de gehele buis nu gevuld is met luchtbelletjes, hierdoor is er vrij weinig te zien van de GC in de buis.

### **LICHT SCHUINE BUIS, ZONDER DEBIET.MPG**

De buis wordt nu niet verticaal gehouden, maar schuin. En in dit geval licht schuin, en zonder een debiet erachter. Het gevolg is dat de GC's zonder te tollen over de bodem van de buis schuiven. Snel gaat dit niet, waardoor de GC dicht op elkaar zitten en zelfs in elkaar kunnen klitten.

### **SCHUINE BUIS ZONDER DEBIET, MET KLITTEN.MPG**

De buis wordt nu schuiner gehouden. De GC glijden nog steeds over de bodem zonder te tollen, maar zijn al wel een stuk sneller.

### **SCHUINE PIJP MET DEBIET.MPG**

Nu wordt er ook een debiet toegevoegd, een pompje met een geconcentreerde straal. De straal wordt aan de onderkant van de buis toegelaten. De GC zijn nu een stuk sneller aan het uiteinde van de buis. Wel tollen ze heel erg doordat de onderkant van de buis een stroming heeft en de bovenkant niet. Dit is ook de reden waarom de GC's van de buisbodem loskomen.



## E.6. Experimenten 23 mei

### **BUIS 15CM MET DEBIET METING SNELHEID GC.MPG**

Hierin is te zien hoe de GC's zich door de buis van 15 cm diameter verplaatsen bij een debiet van energiehoogte 5 cm. Hierdoor is er een gelijkmatiger stroming verkregen, waardoor de GC's minder blijven hangen en op elke deel evenveel meestroming hebben. Op deze manier gaan de GC een stuk sneller naar beneden dan in de vorige tests.

### **VOLGEN GC BUIS 15 CM MET DEBIET.MPG**

Nu wordt er één GC gevolgd met zijn val naar beneden. Er valt te zien dat de GC op elk punt bijna evenveel meevoerende stroming heeft aangezien de GC vrij stabiel naar beneden valt en niet alleen maar aan het tollen is.

### **VERSCHIL MET- ZONDER DEBIET BUIS 15 CM.MPG**

Een korte vergelijking tussen de snelheid van de GC in een debietvoerende buis en een GC in het open water. Wat duidelijk naar voren komt is dat de GC in de debietvoerende buis veel sneller is dan de GC in open water. Hieruit valt te concluderen dat de buis weldegelijk effectief is.

### **BUIS 15 CM MET DEBIET EH 10 CM.MPG**

Zelfde principe als de vorige film, echter kan de pomp het hoogteverschil niet helemaal vullen waardoor er een draaikolk ontstaat. Om deze draaikolk blijven de GC's dan ook heen draaien wanneer ze naar beneden vallen.

### **INVLOED HOOGTE PIJP OP GC.MPG**

Ook met een gespreider debiet dan in film "wegblazen GC" is het mogelijk de GC weg te blazen. Dat bewijst deze film waar het debiet wat door de buis van 15 cm loopt verschillende GC's wegblazen.

## E.7. Experimenten 24 mei

### **INVAL GC WATER BUIS 20 CM SNELH 9 VOLT.MPG**

Hier valt te zien hoe de GC in het water vallen bij een snelheid van 9 volt. De GC's zitten in de buis van 20 cm diameter zonder debiet. Het blijkt dat met deze snelheid geen blokkeringen van de buis optreden. Wel haken de GC al in elkaar in de buis.

### **INVAL GC WATER BUIS 20 CM SNELH 4 VOLT.MPG**

Zelfde principe als het vorige filmpje nu alleen met een lagere snelheid, namelijk 4 volt. Logisch dat de GC's hier geen opstoppingen veroorzaken. Ook is het in elkaar haken minder en raken de GC's meer verspreid tijdens de val.

### **VOLGEN GC BUIS 15 CM SNELH 9 VOLT 0.55 (02).MPG**

Zelfde principe als de bovenstaande twee filmpjes, maar nu met een kleinere buisdiameter van 15 cm en een snelheid van 9 volt. Ook hier blijkt dat er geen opstoppingen worden veroorzaakt. Wel zijn er weer veel in elkaar gehaakte GC's waardoor er sprake is van een "drol". En dus misschien mindere spreiding op de grond.

### **VOLGEN GC BUIS 15 CM MET DEBIET SNELH 9 VOLT.MPG**

In tegenstelling met de vorige filmpjes is er nu sprake van een debiet. Hierdoor is er weer een draaikolk gerealiseerd. Hier draaien de GC ook weer omheen. Ze gaan alleen nu een stuk sneller dan zonder debiet. Dit heeft tot gevolg dat de "drol" die eerst ontstond, nu niet meer is. De GC zijn nu een stuk meer verspreid.

**INGANG PIJP 10 CM ONDER WATER SNELH 9 VOLT 0.50 (02).MPG**

**INGANG PIJP 10 CM ONDER WATER SNELH 9 VOLT 0.17 (02).MPG**

Hierin is te zien hoe via de aanlevermethode van de gefixeerde goot met een snelheid van 9 volt de GC's onder water in de buis van 10 cm worden gelaten. Ook dit loopt echter spaak. Net als de pogingen boven water

**INGANG PIJP 10 CM ONDER WATER SNELH 4 VOLT 0.25 (02).MPG**

Nog een poging met de buis van 10 cm alleen nu met een lagere snelheid. Dit gaat ook fout doordat de GC net over de rand blijft haken. Het is dus erg belangrijk om de GC genoeg ruimte te geven. Echter kan dit niet to moeilijk met een buis van 10 cm diameter.

**INGANG PIJP 15 CM ONDER WATER SNELH 9 VOLT.MPG**

Met de buis van 15 cm en dus een maatje groter blijkt een snelheid van 9 volt geen enkel probleem te zijn. Het gaat soepel en snel.

**BUIS 15 CM ONDER WATER VOLGEN GC SNELHEID 9 VOLT(2).MPG**

Doordat er net proefjes zijn gedaan met de ingangen van de pijpen onderwater, ook een filmpje van het valgedrag van de GC bij deze omstandigheden. Dit verschilt niet met de filmpje "**volgen gc buis 15 cm snelh 9 volt 0.55.mpg**".

## **E.8. Experimenten 26 mei**

**AFSTAND PIJP 50 CM.MPG**

**AFSTAND PIJP 55 CM.MPG**

**AFSTAND PIJP 60 CM.MPG**

**AFSTAND PIJP 65 CM.MPG**

**AFSTAND PIJP 70 CM.MPG**

In al deze films werd er een bepaalde hoogte aangehouden en gekeken of de GC's weggeblazen werden. Dit bleek in alle gevallen nog niet te gebeuren. Boven de afstand van 10 maal de diameter gebeurt er dus weinig met de GC op de bodem.

**AFSTAND PIJP 45 CM + BEWEGING .MPG**

Bij de afstand van 45 cm begonnen sommige GC's te verschuiven.

**AFSTAND PIJP 40 CM.MPG**

Op deze afstand gebeurde er niets met de GC's . Vraag is of we het wel goed gedaan hebben en niet toevallig het debiet af hebben gekneld. Het is ook moeilijk te zien hoe het debiet uit de buis komt, aangezien de afstand nogal groot is.

## **E.9. Experimenten 30-31 mei**

**GEHEEL 4V 0.033MPS BEGIN VERKEERDE KANT.MPG**

Dit filmpje laat zien hoe de GC deken gevormd word bij een voorwaartse snelheid van 0.033 meter per seconde en een aanleversnelheid van 4 volt. Dit geeft volgens grafiek **aanleversnelheid tegen dichtheid** een net te kleine dichtheid voor een goede GC deken.

Wat echter belangrijker is wat dit filmpje laat zien is dat het uitmaakt vanuit welk punt we de deken leggen. De kar gaat namelijk schokkeriger van links naar rechts. En doordat de aanlevermethode met spanbanden aan de kar is bevestigd schokt deze ook. Gevolg is meerdere klonten GC's. en geen egale verticale verplaatsing.

#### **GEHEEL 4V 0.033MPS GOED.MPG**

Dit is weer een filmpje over de 4 volt aanleversnelheid. Nu is de richting van de kar wel goed gekozen. Meteen valt het op dat het een stuk geleidelijker gaat. Wel is er veel ruimte tussen de verschillende GC's. De aanlevermethode kan nog een stuk sneller bij het gebruikte debiet. De GC deken ziet er goed uit, maar is volgens de grafiek **aanleversnelheid tegen dichtheid** nog net niet voldoende.

#### **GEHEEL 4V 0.06MPS.MPG**

Nog een film over de 4 volt aanleversnelheid. Deze verschilt alleen in de vaarsnelheid. Deze is opgehoogd naar 0.06 meter per seconde. Dit leidt meteen tot een langere GC deken maar wel met een veel slechtere dichtheid. Er ontstaan grote stukken waar de GC's weinig onderling contact met elkaar hebben.

#### **GEHEEL 7V 0.06MPS.MPG**

Bijeen aanleversnelheid van 7 volt en een vaarsnelheid van 0.06 meter per seconde blijkt een bijna ideale GC deken gevormd. De GC's komen namelijk snel achter elkaar uit de valpijp, liggen niet verspreid van elkaar maar haken juist goed in elkaar. Echter volgens latere berekeningen moet de voortgangssnelheid nog net ietsje lager liggen.

#### **GEHEEL 9V 0.083MPS.MPG**

Een film waarbij de GC deken wordt verkregen met een van de grootste aanleversnelheden: 9 volt oftewel 13 GC's per seconde. Hieruit blijkt dat deze aanleversnelheid problemen met zich meebrengt, wanneer je de daarbij behorende maximale voortgangssnelheid toepast. Als er dan een kleine hapering in het geheel komt valt die hapering niet meer te herstellen. Er ontstaat een gat in de GC deken. Dit was niet het geval bij een snelheid van 7 volt.

Doordat de combinatie aanleversnelheid – maximale voortgangssnelheid het meest efficiënt is, zal daarom niet de methode van 9 volt maar die van 7 volt de voorkeur hebben. Zo worden de GC's optimaal benut.



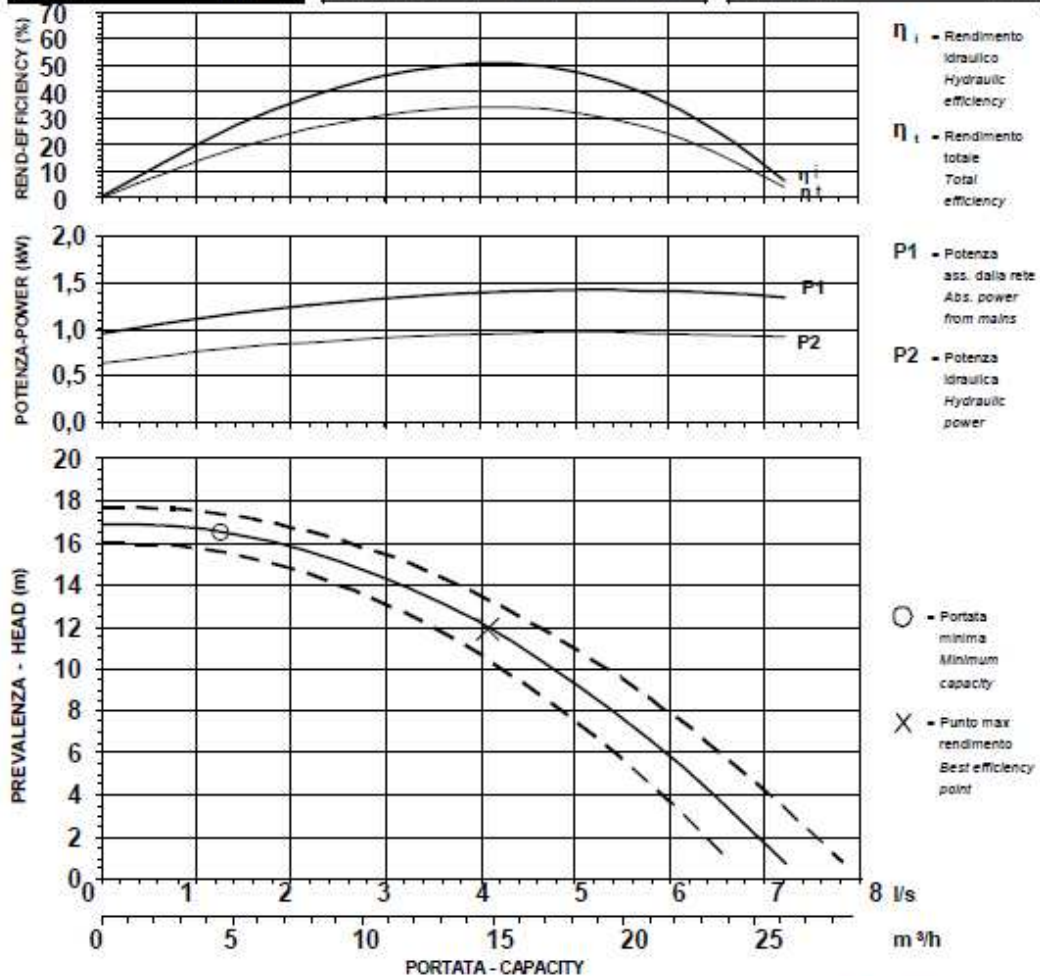
# F. Pompagevens

**FAGGIOLATI  
PUMPS S.p.A.**

CURVA CARATTERISTICA  
PERFORMANCE CURVE

Serie <b>7B</b>	Tipo di pompa - Pump type <b>G271M6D3-J6AA6</b>	Curva - Curve <b>D707-215</b>
Codice disegno - Drawing code		<b>707_40_07_3</b>

Cod. Code <b>7003548</b>	Peso totale Total weight <b>38 Kg</b>	Materiale Construction <b>GHISA EN-GJL-250 CAST IRON EN-GJL-250</b>	Girante Impeller <b>DRENAGGIO DRAINAGE</b>												
<b>Idraulica - Hydraulic</b>		<b>Motore - Motor M271MM Eex - 07341</b>													
MANDATA DISCHARGE <b>40 mm</b>	ALIMENTAZIONE POWER SUPPLY <b>1ph 230V-50Hz</b>	<b>Impiego - Application</b>													
ASPIRAZIONE SUCTION <b>- mm</b>	CLASSE DI ISOLAMENTO INSULATION CLASS <b>H</b>	TEMP. MAX DEL LIQUID PUMPED LIQUID MAX TEMP. <b>&lt; 45 °C</b>													
PASSAGGIO LIBERO FREE PASSAGE <b>6 mm</b>	VELOCITÀ NOMINALE NOMINAL SPEED <b>2850 rpm</b>	DENSITÀ MAX DEL LIQUIDO PUMPED LIQUID MAX DENSITY <b>1,2 Kg/dm<sup>3</sup></b>													
DIAMETRO GIRANTE IMPELLER DIAMETER <b>125 mm</b>	POTENZA NOMINALE MOTORE NOMINAL MOTOR POWER <b>1,1 kW</b>	PROTEZIONE MECCANICA MECHANICAL PROT. DEGREE <b>IP 68</b>													
<b>Rend. max - Best efficiency</b>		CAVO CABLE <b>4G1,5 H07RNF</b>													
RENDIMENTO TOTALE TOTAL EFFICIENCY <b>34,4 %</b>	CORRENTE DI SPUNTO STARTING CURRENT <b>21 A</b>	<b>Protezioni - Protections</b>													
RENDIMENTO IDRAULICO HYDRAULIC EFFICIENCY <b>50,6 %</b>	CORRENTE NOMINALE NOMINAL CURRENT <b>7,5 A</b>	PROTEZIONE TERMICA THERMAL PROTECTION <input checked="" type="checkbox"/> YES													
POT. ASS. DALLA RETE ABS. POWER FROM MAINS <b>1,4 kW</b>	MOMENTO DI INERZIA TOTALE TOTAL MOMENT OF INERTIA <b>0,0021 kgm<sup>2</sup></b>	CONTROLLO INFILTRAZIONE HUMIDITY PROBE <input type="checkbox"/> NO													
PREVALENZA HEAD <b>11,9 m</b>	CARICO-LOADING														
PORTATA CAPACITY <b>14,7 m<sup>3</sup>/h</b>	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>4/4</td> <td>3/4</td> <td>1/2</td> </tr> <tr> <td>FATTORE DI POTENZA POWER FACTOR</td> <td><b>0,98</b></td> <td><b>0,96</b></td> <td><b>0,93</b></td> </tr> <tr> <td>RENDIMENTO MOTORE MOTOR EFFICIENCY</td> <td><b>68 %</b></td> <td><b>67 %</b></td> <td><b>65 %</b></td> </tr> </table>				4/4	3/4	1/2	FATTORE DI POTENZA POWER FACTOR	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	RENDIMENTO MOTORE MOTOR EFFICIENCY	<b>68 %</b>	<b>67 %</b>	<b>65 %</b>
	4/4	3/4	1/2												
FATTORE DI POTENZA POWER FACTOR	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>												
RENDIMENTO MOTORE MOTOR EFFICIENCY	<b>68 %</b>	<b>67 %</b>	<b>65 %</b>												
		Ex d IIB T4 <input checked="" type="checkbox"/> YES													
		MANTELLO DI RAFFREDDAMENTO COOLING JACKET <input type="checkbox"/> NO													



CURVA CARATTERISTICA SECONDO NORMA PERFORMANCE CURVES IN ACCORDANCE TO <b>UNI EN ISO 9906</b>	PRESTAZIONI RILEVATE CON ACQUA PURA A 20°C OPERATING DATA OBTAINED WITH CLEAN WATER AT 20°C
Data - Data: 24/10/2007 Codice disegno - Drawing code: 707_40_07_3 App. C (GTE) Rev. 0 sch0607.1	



# G. Bronnenlijst

Bron:	Inhoud:
<a href="http://www.anome.nl/">http://www.anome.nl/</a>	Website Anome BV
<a href="http://www.anomeprojects.nl/">http://www.anomeprojects.nl/</a>	Website uitvoeringstak GC's
<a href="http://anomeprojects.nl/Nieuws%2020110407,%20Eindopdracht%20TU%20Delft%20beschikbaar.php/">http://anomeprojects.nl/Nieuws%2020110407,%20Eindopdracht%20TU%20Delft%20beschikbaar.php/</a>	De opdrachtomschrijving van Anome BV
<a href="http://www.faggiolatipumps.it/ricerca/sel/sc_hede_ita_eng/3548.pdf">http://www.faggiolatipumps.it/ricerca/sel/sc_hede_ita_eng/3548.pdf</a>	Pompgegevens





# H. Literatuurlijst

---

# Auteur [jaar van publicatie] Titel, Uitgever

- 1 Doney,S [2004] Marine Chemistry lecture 15 sinking particles, MIT
  - 2 Journee, J.M.J. ;Massie, W.W. [2001] Offshore hydromechanics, Delft University of Technology
  - 3 Schiereck, G.J.[2007] Concise overview of scale rules in coastal engineering, WRU-CE
  - 4 Battjes, J.A. [2002] Reader CT2100 Vloeistofmechanica, Delft University of Technology
-



# I. Symbolenlijst

Symbool	Betekenis	Eenheid
$\rho$	Dichtheid	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\varnothing$	Diameter	[m]
$g$	Valversnelling	[m/s <sup>2</sup> ]
$v$	Snelheid	[m/s]
$r$	Straal	[m]
$t$	Tijd	[s]
$\Delta t$	Meetfout Tijd	[s]
$\Delta v$	Meetfout Snelheid	[m/s]
$\theta$	Hoek	[°]
$V$	Volume	[m <sup>3</sup> ]
$F$	Kracht	[N]
$A$	Oppervlak	[m <sup>2</sup> ]
$U$	Spanning	[V]
$\mu$	Contractiecoëfficiënt	[-]
$\xi$	Weerstandsfactor	[-]
$c_f$	Wandwrijvingsfactor	[-]
$L$	Lengte	[m]
$D$	Diameter	[m]
$h$	Hoogte	[m]
$Q$	Debiet	[L/s]
$\chi$	Weerstandsfactor	[-]