Memo

Aan
Rijkswaterstaat

Datum	**Kenmerk**	**Aantal pagina's**
27 september 2016	1210765-018-HYE-0003	12
Van	**Doorkiesnummer**	**E-mail**
Femke Verhaart	+31(0)88335 8210	femke.verhaart@deltares.nl

Onderwerp
Meetrapport testen aan units en strengen met orifices

Meetresultaten Units en Strengen met orifices (augustus 2016)

1 Inleiding

In augustus 2016 zijn er bij Deltares testen aan units en strengen met orifices uitgevoerd. Deze testen zijn vergelijkbaar met de in december 2015 uitgevoerde testen aan de units en strengen met ISS-Flowthrough regelaars [1]. Het doel van de testen was tweeledig. Ten eerste zijn de testen uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de werking van verschillende orifices in een streng (o.a. stabiliteit en uniformiteit van een bellenscherm). Daarnaast hebben de metingen input geleverd voor het uiteindelijk testprotocol voor de aannemers. In dit memo zijn de uitgevoerde testen en de resultaten daarvan beschreven.

2 Uitgangspunten

- De uitgevoerde testen zijn vergelijkbaar met de in december 2015 uitgevoerde testen. Deze testen zijn uitvoerig beschreven in Deltares rapport 1210765-001-HYE-0005 (versie 2, 22/04/2016). Voor details betreffende de uitgevoerde testen, zal naar dit rapport verwezen worden.
- Voor de testen is een orifice (2,9 mm doorsnede) gebruikt die volgens de theorie ([2]) bij een waterstand van ongeveer 30 cm in de Scheldegoot[1] een debiet van 1,1 Nl/s (is gelijk aan het door een ISS regelaar geleverde debiet) doorlaat bij een drukval in de orde van 0,3 à 0,5 bar over de orifice. Deze keuze is gemaakt om een vergelijking met de testen uit december 2015 mogelijk te maken. In bijlage A is een schets van de gebruikte orifice opgenomen

[1] De Scheldegoot is een goot met een lengte van 55 m, een breedte van 1 m en een hoogte van 1.2 m. Aan één kant van de goot bevindt zich een golfschot.

3 Meetopstelling

Er zijn 2 meetopstellingen gebruikt:

1 Een opstelling om de karakteristiek (debiet versus drukval) van een individuele orifice te kunnen vaststellen (niet in een goot).
2 Een opstelling waarbij de streng (afkomstig uit de Krammer jachtensluis) in de Scheldegoot is geplaatst en (een deel van) het bellenscherm bestudeerd is (karakteristiek, opstartgedrag enz.). In deze streng zitten 59 units (orifices).

Deze meetopstellingen zijn in detail beschreven in [1]. De opstelling voor het doormeten van een enkele orifice is enigszins aangepast. Benedenstrooms van de unit is nog een drukmeter en een klep bevestigd zodat de karakteristiek bij verschillende benedenstroomse drukken bepaald kan worden.

4 Test programma

Het volgende test programma is uitgevoerd:

4.1 Units / orifice

Van 3 (identieke) orifices is de karakteristiek vastgesteld door de drukval stapsgewijs te verhogen van 0 bar tot 0,7 bar:

- De benedenstroomse druk is constant gehouden (0 barg, vrije uitstroom) terwijl de bovenstroomse druk met stappen van 0,05 bar is verhoogd.
- Voor een enkele orifice is de karakteristiek ook vastgesteld bij een benedenstroomse druk van respectievelijk 0,4 barg (3,75 mwk), 0,6 barg (6,25 mwk) en 0,9 barg (9,0 mwk)

4.2 Strengen

De volgende testen zijn uitgevoerd met een streng:

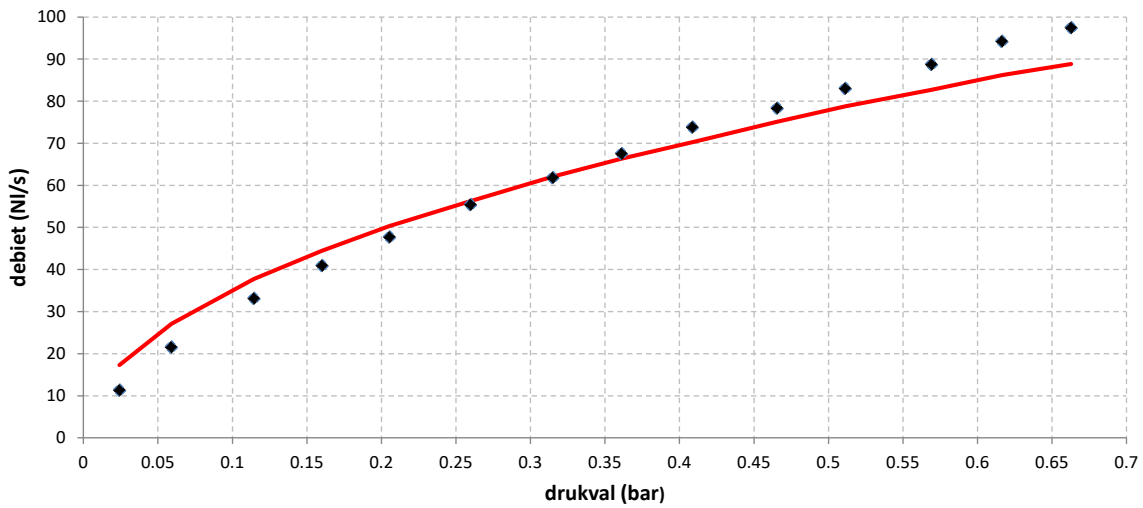
- De karakteristiek van een streng is vastgesteld door met behulp van de regelklep de druk bovenstrooms van de streng constant te houden. Er is gemeten bij drukvallen over de units oplopend in stappen van 0,05 bar van 0 tot 0,7 bar.
- Een externe verstoring zoals beschreven in [1] is aangebracht. Daarnaast is er door middel van een golf in de Scheldegoot een externe verstoring aangebracht.
- Het opstartgedrag van de streng is in beeld gebracht.
- Een interne verstoring zoals beschreven in [1] is aangebracht.
- Bij verschillende debieten door de streng en verschillende waterstanden in de Scheldegoot is de belgrootte bepaald.

5 Resultaten – Strengen

De resultaten van de testen aan een enkele streng (met 59 units) in de Scheldegoot worden in dit hoofdstuk beschreven. In werkelijkheid zullen meerdere strengen worden geplaatst (boven en tegenover elkaar).

5.1 Karakteristiek

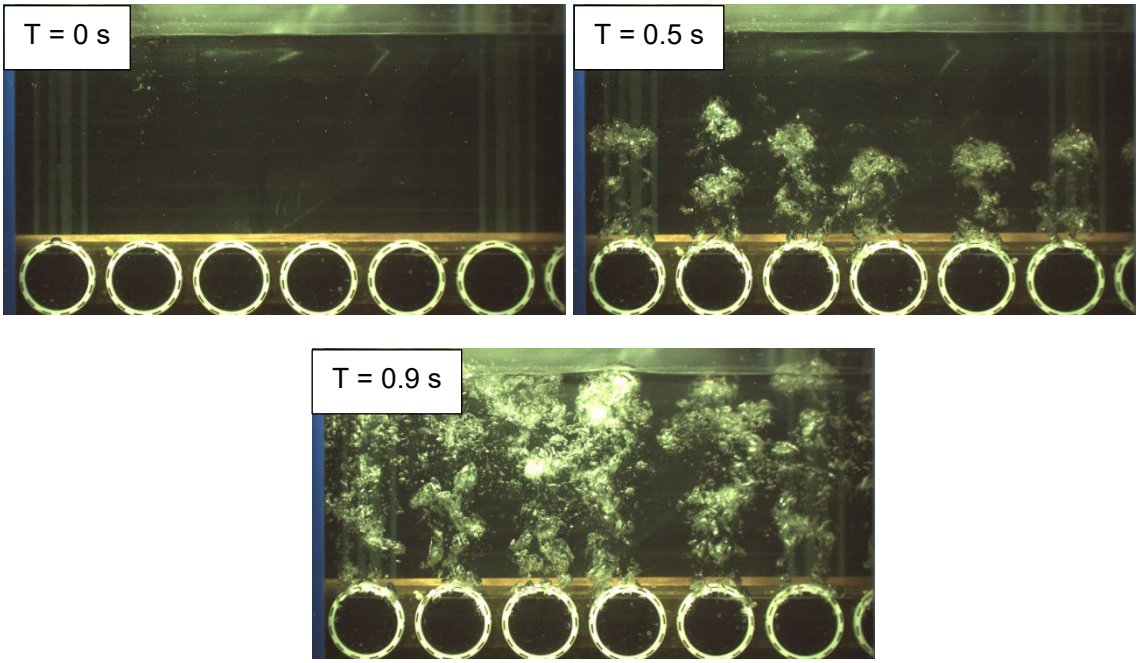
De karakteristiek van de streng met orifices zoals gemeten tijdens de testen in de Scheldegoot is weergegeven in Figuur 5.1. In deze figuur geven de markers de verschillende meetpunten weer. Daarnaast geeft de rode lijn de theoretische curve weer bij een reductiecoëfficient van 0,7 en een benedenstroomse druk die gelijk is aan de waterstand in de Scheldegoot (0,3 m). De reductiecoëfficiënt is een maat voor de vorm van de orifice. Bij het plotten van de theoretische kromme bleek een reductiecoëfficiënt van 0,7 het beste bij de metingen te passen. De hellingshoek van de gemeten en theoretische karakteristiek is net iets anders. Dit is te verklaren door het feit dat een unit veel complexer is dan een enkele, ideaal vormgegeven, orifice waarvoor de theorie is opgesteld. Gezien de complexiteit van een unit vergeleken met een enkele orifice kan geconcludeerd worden dat op basis van de theorie het geleverde debiet voldoende nauwkeurig afgeschat kan worden.



Figuur 5.1 Gemeten (markers) en theoretische (rode lijn) karakteristiek van een streng met orifices.

5.2 Opstarten bellenscherm

Het opstartgedrag van het bellenscherm is bekeken door de regelklep in één keer open te sturen. Hierdoor wordt binnen 2 seconden de gewenste druk bovenstrooms van de streng verkregen. Gedetailleerde beelden van het opstartproces zijn weergegeven in bijlage B. In Figuur 5.2 is een aantal beelden van het opstartproces te zien. Hieruit kan opgemaakt worden dat opstarten bijna instantaan gebeurt en dat het scherm over de hele breedte tegelijk opstart. Dit opstartproces is vergelijkbaar met het opstartproces voor een bellenscherm gemaakt met behulp van ISS-Flowthrough regelaars [1].



Figuur 5.2 Drie screenshots genomen tijdens het opstarten van het bellenscherm.

5.3 Externe verstoring

Een externe verstoring is op twee manieren aangebracht. Ten eerste, net zoals tijdens de testen in 2015, door het bewegen van een plaat door het bellenscherm. Daarnaast is het bellenscherm verstoord door middel van golven (lopend over de lengterichting van het scherm) in de goot.

Snapshots van de video's gemaakt tijdens de testen waarbij de plaat voor een verstoring zorgde, zijn weergegeven in bijlage C. Het is te zien dat het bellenscherm weer snel hersteld naar de oorspronkelijke situatie. Dit is vergelijkbaar met de in 2015 uitgevoerde testen.

Voor de verstoring door een golf is er een willekeurig golfspectrum gebruikt waarbij de golven een hoogte van ongeveer 20 cm hadden. Deze golfhoogte is gekozen om er voor te zorgen dat er een grote verstoring op het bellenscherm wordt aangebracht. Ook bij deze verstoring was te zien dat het bellenscherm (luchtdebiet) zich snel hersteld nadat de verstoring weg is. Er dient opgemerkt te worden dat het na een grote verstoring wel enige tijd kan duren voordat de neren die voor de daadwerkelijk zout/zoet scheiding zorgen weer volledig zijn ontwikkeld. Dit proces is niet bestudeerd tijdens de testen vanwege de geringe breedte en diepte van de Scheldegoot. Hierdoor kan er zich geen volledige neer ontwikkelen, bovendien is de verstoring erg groot vergeleken met de grootte van de neer.

5.4 Interne verstoring

Kortstondige verstoringen zijn in het luchtaanvoersysteem aangebracht, waardoor tijdelijk de druk net bovenstrooms van de streng een paar tienden bar toeneemt of afneemt. Aangezien orifices gebruikt worden, resulteert een drukverandering direct in een debietverandering (in tegenstelling tot het gebruik van ISS-regelaars [1]). De verstoring is dus ook duidelijk waar te nemen aan het uiterlijk van het bellenscherm. Als de bovenstroomse druk weer is hersteld naar de oorspronkelijke waarde dan is het bellenscherm zelf ook vrij wel meteen hersteld en stabiel. Er kan geconcludeerd worden dat een interne verstoring slechts tot een tijdelijke verstoring van het bellenscherm leidt en niet lang doorwerkt in de luchtaanvoer. Er blijft nog wel de vraag

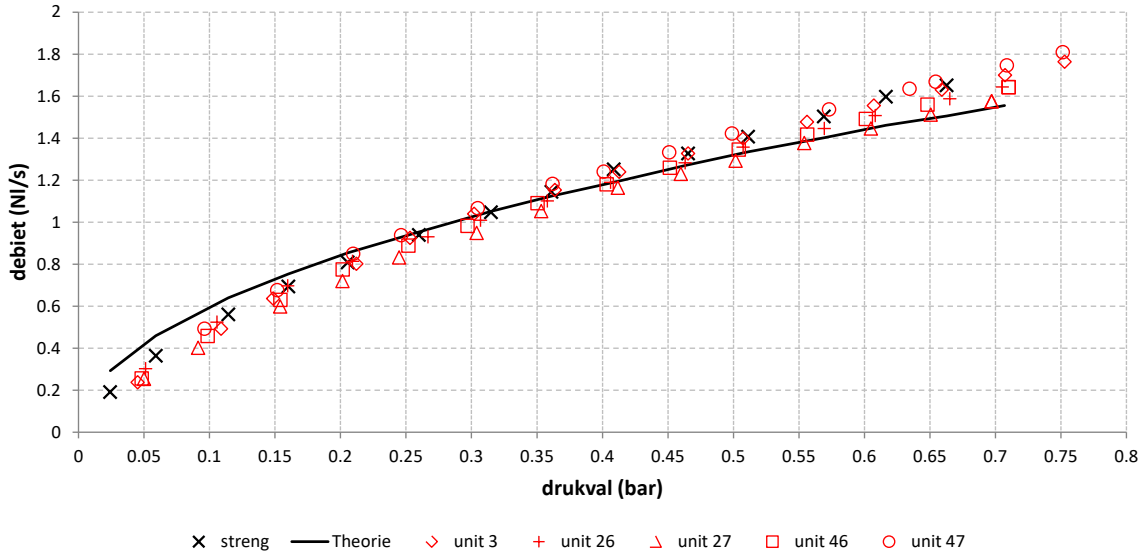
openstaan wanneer de interne verstoring van invloed is op de neer die voor de zout-zoet scheiding zorgt.

6 Resultaten – Units

De karakteristiek (debiet versus drukval) van enkele units is bepaald. Dit is gedaan met zowel een vrije uitstroom naar de atmosfeer als met een verhoogde benedenstroomse druk. De resultaten van deze testen worden in dit hoofdstuk beschreven.

6.1 Karakteristiek

Van vijf verschillende units is de karakteristiek bepaald en weergegeven in Figuur 6.1. Daarnaast is de theoretische karakteristiek en de meting aan de streng (omgerekend naar een enkele unit) weergegeven. De nummering van de units verwijst naar de locatie in de streng waar de unit is geplaatst. Voor het doormeten van de losse units zijn willekeurig 5 units uit de streng geselecteerd.



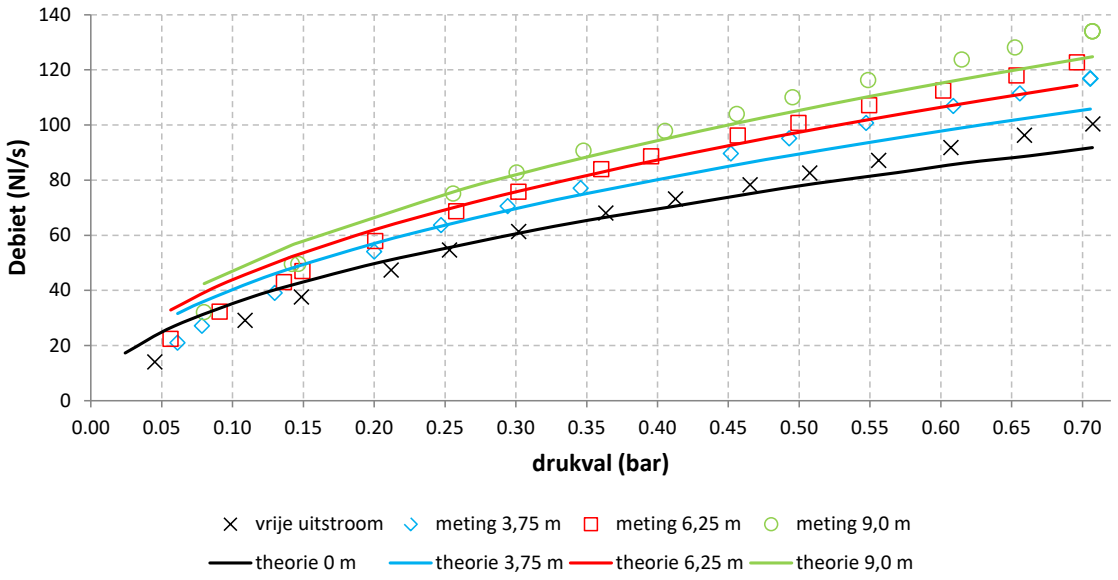
Figuur 6.1 Karakteristiek van verschillende units met een orifice. Het debiet is weergegeven alsof de hele streng met de betreffende orifice is gevuld.

Er kan geconcludeerd worden dat voor de gebruikte units bij lagere drukvallen iets minder en bij hogere drukvallen iets meer debiet wordt geleverd dan op basis van de theorie voor een enkele orifice verwacht kon worden [2]. Dit is ook waargenomen bij de metingen aan een streng (zie Figuur 5.1). Op basis van het beperkt aantal doorgemeten units, lijkt het er op dat een streng evenveel debiet levert als de som van de individuele units. Verder is in de grafiek de variatie tussen de verschillende units te wijten aan productie onnauwkeurigheden. De meetonnauwkeurigheid (~2%) is veel kleiner dan de variatie tussen de units (maximaal ~15%) en kan de verschillen dus niet verklaren.

6.2 Invloed benedenstroomse druk

Het verhogen van de benedenstroomse druk in de opstelling voor het testen van een unit komt overeen met verschillende waterstanden in de sluis. Voor een enkele unit is de karakteristiek

(buiten het water) bepaald bij een benedenstroomse druk overeenkomstig met 0 m (vrije uitstroom), 3,75 m, 6,25 m en 9,0 m waterkolom in de sluis. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 6.2. In deze figuur is tevens de kromme die op basis van de theorie werd verwacht geplot. Voor de theoretische kromme bleek het gebruik van een reductiecoëfficient van 0,7 het meest realistisch (zie metingen aan de streng).



Figuur 6.2 Gemeten en theoretische karakteristiek van een unit bij verschillende benedenstroomse drukken

Er kan wederom geconcludeerd worden dat theorie [2] en praktijk voldoende met elkaar overeenkomen om het debiet geleverd door een unit te kunnen afschatten. Daarnaast is duidelijk te zien dat bij toenemende waterstand in de goot bij dezelfde drukval een groter debiet geleverd kan worden door de unit.

7 Resultaten – belgrootte

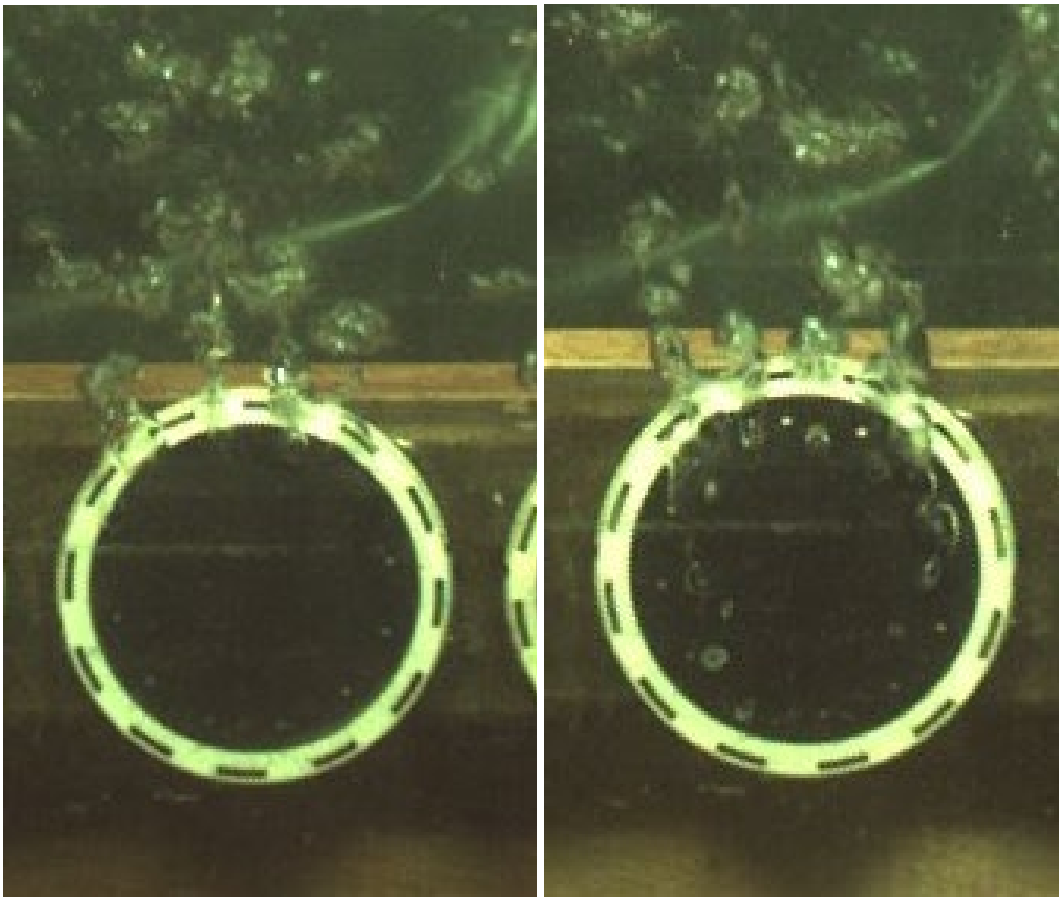
Om de belgrootte te kunnen inventariseren is de streng midden tussen beide glaswanden van de Scheldegoot geplaatst in plaats van op een afstand van ongeveer 7,5 cm van één glaswand. De reden hiervoor is dat in de oorspronkelijke opstelling de bellen opbreken in kleinere bellen door botsingen met de glaswand. Het is hierdoor niet meer goed te zien welke bellen door de permacaps gemaakt worden en wat de secundaire bellen zijn. Voor de andere testen was gekozen voor de positie van de streng dichtbij de glaswand om het symmetrie vlak van het bellenscherm te kunnen simuleren. Zeer waarschijnlijk is de interactie tussen bel en glaswand echter verschillend van de interactie tussen twee bellenschermen in werkelijkheid. We verwachten niet dat in werkelijkheid het opbreken van bellen optreedt zoals door de glaswand. Vanwege deze onzekerheden is er voor de bepaling van de belgrootte besloten de streng in het midden van de goot te leggen en zo de initiële grootte van de bellen te kunnen bepalen.

De testen zijn uitgevoerd bij een waterstand van 60 cm boven de permacaps. Deze waterstand is gekozen zodat de interactie tussen bellen en wateroppervlak niet merkbaar is ter hoogte van

de permacap waar de bellen ontstaan. Verder bleek dat bij het verhogen van het debiet individuele bellen al snel niet meer echt van elkaar te onderscheiden waren en dat de bellen gingen klonteren. De belgrootte is daarom vastgesteld bij een debiet van ongeveer 25 Nl/s door de streng.

De belgrootte is bepaald voor de originele permacaps (gaatjes met een doorsnede van 3 mm) en permacaps waarin gaatjes zijn gemaakt die een doorsnede van 2 mm hadden. Een close-up van de bellen net boven de permacap van de betreffende bellenschermen is weergegeven in Figuur 7.1. Voor beide bellenschermen is te zien dat er al heel snel klonteringen van de bellen optreedt. Analyse van verschillende beelden leverde op dat voor beide gevallen de bellen bij het verlaten van de permacap in de orde van 10 mm waren. Uit de originele permacap lijken net iets grotere bellen te komen.

De gemeten belgrootte is vergelijkbaar met eerdere proeven, maar wel groter dan eerder beoogd (3-6 mm). Uit de test met kleinere gaten in de permacap blijkt dat het technisch moeilijk haalbaar lijkt de beoogde beldiameter (in zoet water) te halen met de tot nu gebruikte systemen. Er zijn referenties die aangeven dat bellen mogelijk kleiner zijn in zout dan in zoet water. Om dit verder te onderzoeken / onderbouwen is aanvullend onderzoek vereist.

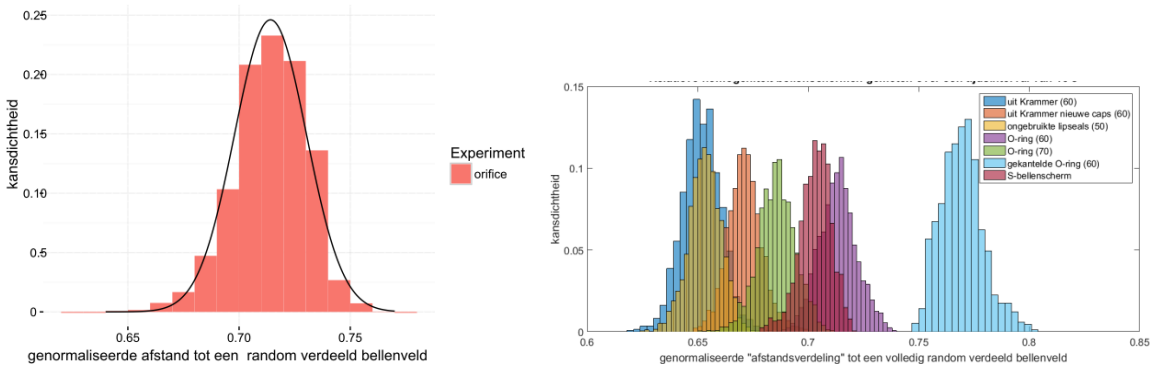


Figuur 7.1 Belgrootte bij een debiet van 25 Nl/s per streng en de originele permacaps (links) / permacaps met kleinere gaatjes (rechts).

8 Resultaten – homogeniteit bellenscherm

Op een vergelijkbare manier als in 2015 [1] is de homogeniteit van het bellenscherm bekeken: Er zijn 15 s (3000 beelden) aan opnames van een highspeed camera van een ontwikkeld (dus enige tijd na het opstarten van de test) bellenscherm geanalyseerd volgens de in [1] beschreven methode. Het debiet door de streng was gelijk aan 65 Nl/s. Het resultaat van de analyse is weergegeven in Figuur 8.1. In dit figuur zijn tevens de resultaten van de andere bellenschermen zoals beschreven in [1] weergegeven. Er dient opgemerkt te worden dat er een verschillende schaal voor de x-as is gebruikt.

Uit de figuur kan geconcludeerd worden dat het gebruik van orifices resulteert in een bellenscherm dat vergelijkbaar is met een bellenscherm gemaakt met behulp van ISS-Flowthrough regelaars. Voor meer details omtrent deze analyse methode wordt verwezen naar [1].



Figuur 8.1 *Homogeniteit van bellenscherm: Links: orifices als regelaars. Rechts: overige bellenschermen zoals getest in 2015 [1].*

9 Conclusies

Orifices kunnen als alternatief voor de ISS-Flowthrough regelaars gebruikt worden. Dit levert een voldoende stabiel en uniform bellenscherm op als aan de volgende voorwaarden voldaan wordt:

- Er moet na elke orifice een terugslagklep geplaatst worden zodat de streng altijd gevuld is met lucht. Dit is noodzakelijk om er voor te zorgen dat het bellenscherm over de hele lengte synchroon en volledig opstart [1].
- De drukval over de streng moet klein zijn vergeleken met de drukval over de orifice. Dit is noodzakelijk om er voor te zorgen dat de drukval over de verschillende orifices gelijk is en dus ook het debiet dat door elke orifice wordt geleverd.

Verder kunnen de volgende conclusies uit de testen getrokken worden:

- Als aan bovenstaande voorwaardes wordt voldaan is alleen het testen van een unit voldoende voor een check op de karakteristiek van een bellenscherm

- De theorie van een enkele orifice kan gebruikt worden om het debiet dat door een streng geleverd zal worden binnen relatief kleine marges af te schatten.
- In zoet water hebben de door het bellenscherm gemaakte bellen een doorsnede van ongeveer 1 cm.

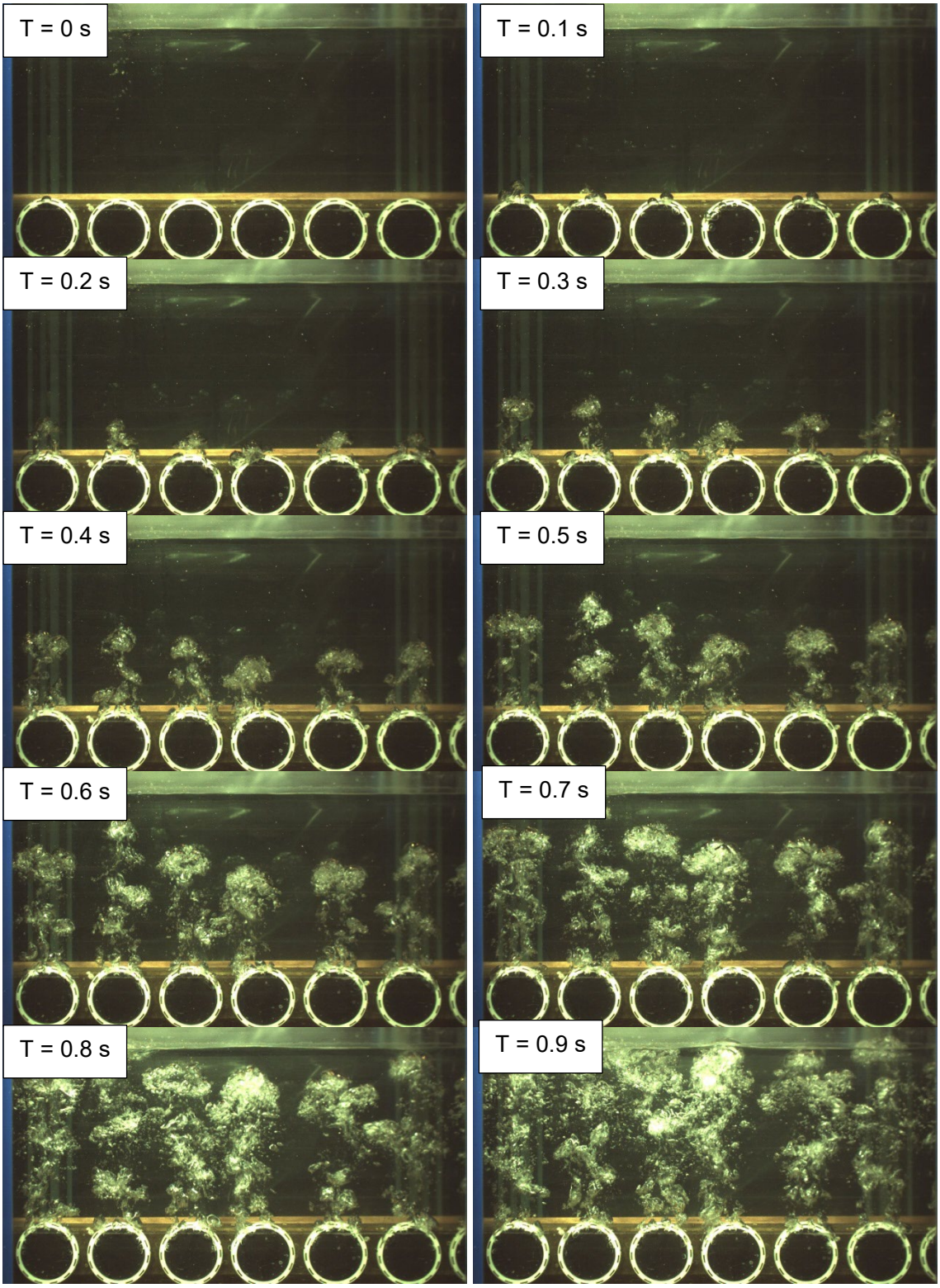
10 Referenties

1 Deltares, *Onderzoek naar ISS-Flowthrough regelaars in een bellenscherm*, rapport nr. 1210765-0001-HYE-005, versie 2, 16 april 2016.

2 Deltares, *Stroming door een orifice*, rapport nr. 1210765-018-HYE-001, versie 1, 20 mei 2016.

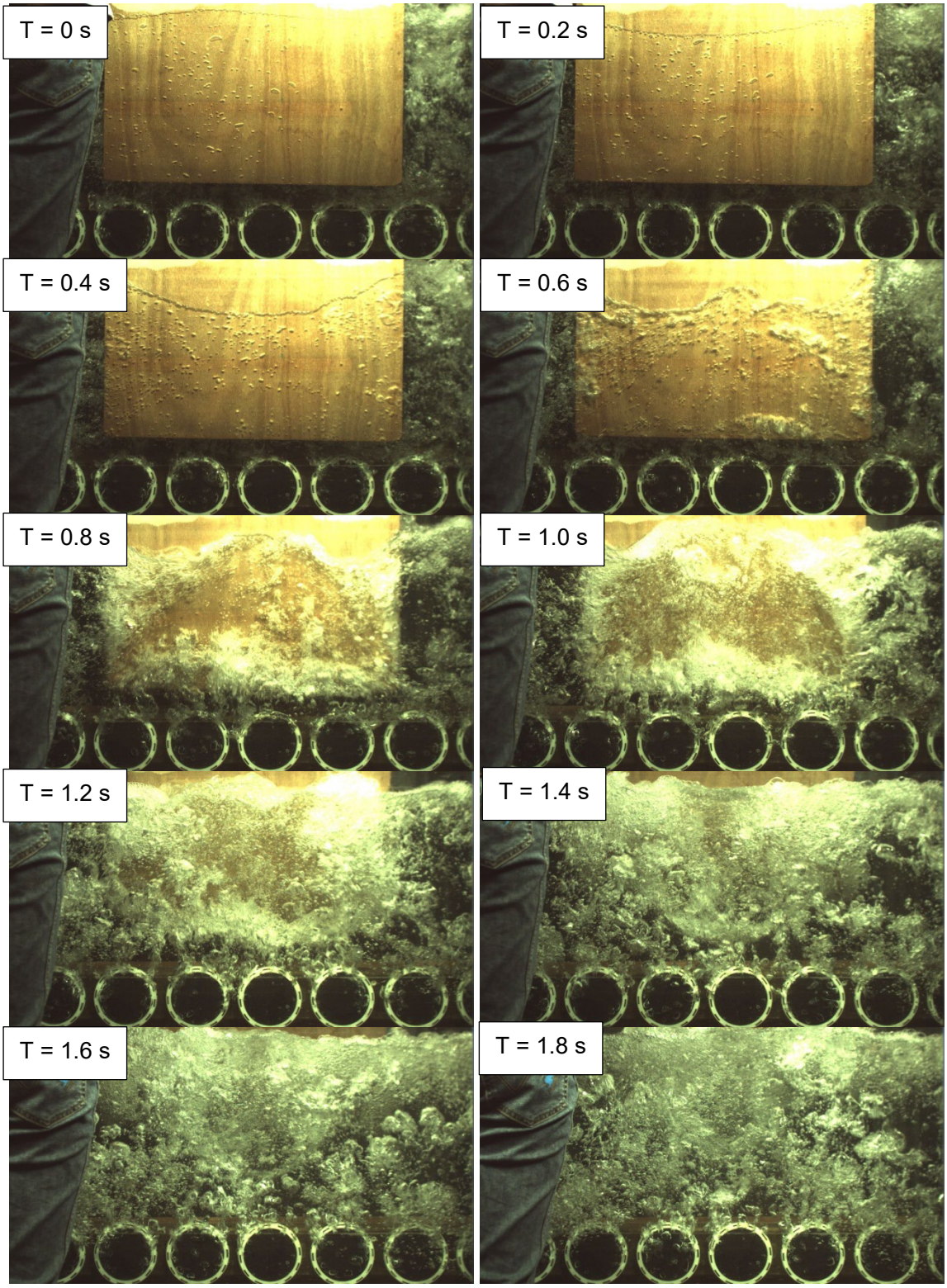
A Schets gebruikte orifice (2,9 mm)

B Opstarten bellenscherm met orifices



Figuur 10.1 Opstarten bellenscherm met orifices

C Externe verstoring bellenscherm



Figuur 10.2 Externe verstoring met een plaat