

Stand van zaken rond gasophopingen in afvalwaterpersleidingen

Gasbellen in dalende delen van afvalwaterpersleidingen leiden tot ongewenste energie- en capaciteitsverliezen. Het afbreken en afvoeren van die gasbellen blijkt net zo moeizaam te verlopen als in leidingen met schoon water. Lucht- en gasbellen in afvalwaterpersleidingen kunnen de capaciteit van de persleiding tot een fractie van de ontwerpcapaciteit reduceren. De lage stroomsnelheden tijdens perioden van droogweeraanvoer (DWA) zorgen ervoor dat lucht- en gasbellen zich kunnen ophopen aan het begin van dalende leidingdelen van zinkers en horizontaal gestuurde boringen. Als de rioelpomp weer op volle capaciteit moet draaien tijdens regenweeraanvoer (RWA), wordt de gasbel het dalende been ingedrukt en neemt de weerstand spectaculair toe. De capaciteitsreductie kan leiden tot onnodige overstorten, meer onderhoud of voortijdige investeringen in capaciteitsuitbreiding. Gasophopingen ontstaan zowel door luchtinslag in de pompkelder vanuit het open riool als door biochemische processen.

Ook als het capaciteitsverlies door gasbellen nog acceptabel is, bedraagt het extra energieverbruik toch al gemiddeld 30 procent. Als we schatten dat 20 procent van de afvalwaterpersleidingen van waterschappen (8.000 kilometer) en gemeenten (5.500 kilometer) last heeft van gasophopingen, bedraagt het extra energieverbruik al 19 miljoen kWh per jaar; dit vergt drie miljoen euro en 10.000 ton kooldioxide en komt overeen met het elektriciteitsverbruik van 5.400 huishoudens. Andere negatieve gevolgen van gasbellen zijn moeilijker te kwantificeren door gebrek aan gegevens; het gaat dan om claims na wateroverlast of grote riooloverstorten en voortijdige uitbreidingen van de pompcapaciteit.

Onderzoekers van Deltares en de TU Delft hebben in het project CAPWAT met laboratoriummetingen aangetoond dat de benodigde ontwerpsnelheid bijna twee keer zo groot als de oude ontwerpregel moet zijn bij veelvoorkomende hoeken tussen 5 en 15 graden (zie ook een eerdere H₂O-publicatie, nr. 20 in 2005). Enkele veldmetingen in 2007 lieten zien dat in de praktijk lagere ontwerpsnelheden al voldoende lijken, wat verband zou kunnen houden met de samenstelling van het afvalwater. Hiertoe is in 2007 CAPWAT II gestart met vier onderzoeksvragen: hoe zijn gasbellen eenvoudig te detecteren? Kan de luchtinname in riool-

gemalen worden beperkt? Wat is de invloed van de waterkwaliteit (met name oppervlaktespanning) op de afbraak en het transport van gasbellen en welk rekenmodel kan het gasbeltransport door dalende persleidingen voorspellen?

Onderzoeksfaciliteit

Voor de beantwoording van deze vragen is op rwzi Nieuwe Waterweg van het Hoogheemraadschap van Delfland in Hoek van Holland een grootschalige opstelling gebouwd met een meetsectie van transparant pvc van zeven meter hoog en 40 meter lang in DN200. Deze heeft de nodige proceskennis opgeleverd over het transport van gasbellen in dalende persleidingen. Bovendien zijn de metingen zeer geschikt validatiemateriaal voor het rekenmodel,

omdat de omstandigheden veel beter controleerbaar zijn dan in een veldmeting, terwijl toch met ruw afvalwater gewerkt kan worden.

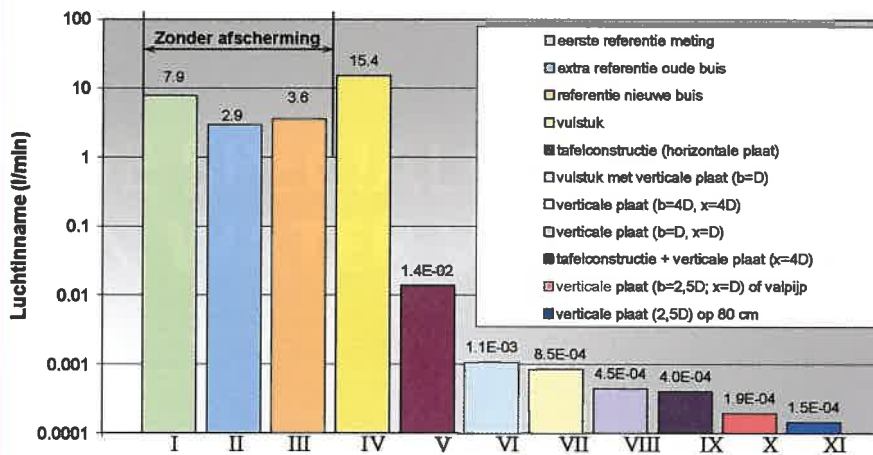
De onderzoeksfaciliteit in Hoek van Holland is begin 2008 ontworpen op basis van de ervaringen in het laboratorium. Er zijn twee soorten metingen uitgevoerd: stationaire metingen bij combinaties van water- en luchtdebiet en dynamische metingen bij een constant waterdebiet met een grote initiële gasbel die tijdens de meting wordt afgebroken en afgevoerd. Omdat de opstelling in Hoek van Holland veel langer is dan in het laboratorium (40 meter versus twaalf meter in het laboratorium), zijn de metingen in drie fasen uitgevoerd.

Overzicht van de onderzoeksfaciliteit in Hoek van Holland met op de achtergrond de schoonwatertank (foto: Deltares).

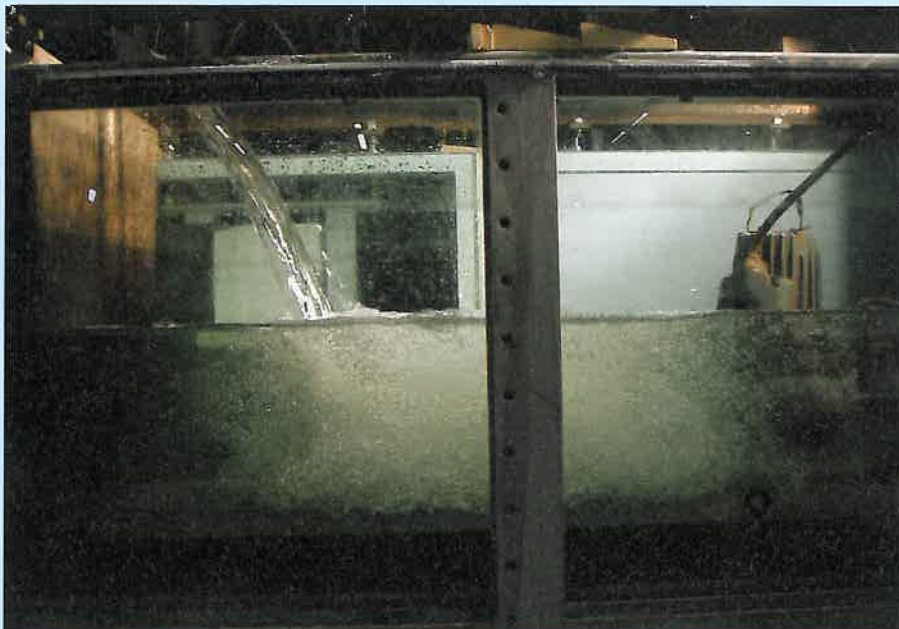


CAPWAT is een onderzoeksproject van Deltares, de Technische Universiteit Delft en 16 deelnemers naar capaciteits- en energieverliezen in afvalwaterpersleidingen. Het onderzoek begon in 2004 en wordt betaald door waterschappen, ingenieurbureaus, toeleveranciers, STOWA, Stichting RIONED en het ministerie van Economische Zaken.

Maximale luchtinname in rioolgemaal

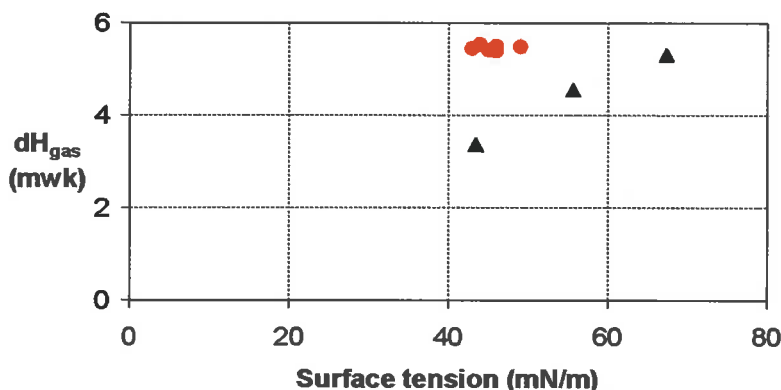


Afb. 1: Overzicht van effectiviteit van deflectieplaten in rioolkelder. De metingen zijn afkomstig uit een laboratoriumopstelling met een afstand van 1,5 meter tussen de riooluitstroom ($D = 200$ mm) en de pomp. De pompcapaciteit bedroeg 15 l/s. b = breedte van verticale plaat, x = afstand tussen rioolbuis en verticale plaat.



Impressie van de luchtinname zonder afscherming bij 40 cm waterdiepte, een debiet van 14,5 l/s en een afstand tot de pomp van 1,5 meter.

Afb. 2: Invloed van de statische oppervlaktespanning op het extra energieverlies in afvalwater (rode bolletjes) en in schoon water met zeep (zwarte driehoekjes). Het energieverlies door gasbellen in afvalwater (dH_{gas}) is net zo groot als in schoon water, ondanks de lage oppervlaktespanning van het afvalwater. De lage oppervlaktespanning van het afvalwater heeft dus geen positief effect op de afbraak en het energieverlies van gasbellen.



Als eerste werden de aan- en afvoerleiding verbonden met een tank met schoon water, zodat dezelfde metingen uitgevoerd konden worden als in het laboratorium. Vervolgens is de schoonwatertank gebruikt om de oppervlaktespanning gecontroleerd te verlagen van 72 mN/m (schoon water) tot 40 mN/m (typische ondergrens voor afvalwater) door toevoeging van zeep. Tot slot zijn de aan- en afvoerleiding gekoppeld aan de uitloop van de zandvanger van de zuivering, zodat met ruw afvalwater gewerkt kon worden.

De metingen met schoon water met zeep laten bij alle onderzochte combinaties van water- en luchtdebiet een lineair verband zien tussen de oppervlaktespanning en het extra energieverlies door de luchtbelleten. Als echter afvalwater door de opstelling stroomt, wordt wel een lagere oppervlaktespanning gemeten, maar is het extra energieverlies gelijk aan het extra energieverlies in schoon water. De verklaring voor dit verrassende verschil ligt in het feit dat de oppervlaktespanning een dynamische eigenschap is. De oppervlakte-actieve stoffen moeten naar het grensvlak kunnen diffunderen. Deze stoffen in het afvalwater (eiwitten en vetten) bestaan uit relatief grote moleculen en bewegen langzaam naar het water-luchtgrensvlak. Zolang de actieve stoffen niet bij het grensvlak kunnen komen, wordt een hogere oppervlaktespanning gemeten. De actieve stoffen in de toegevoegde zepen in het schone water bewegen veel sneller naar het grensvlak en beïnvloeden daarom wel het gastransport in gunstige zin.

Eenvoudige maatregelen voorkomen luchtinname rioolkelder

Het deelonderzoek naar de luchtinname in rioolkelders heeft aangetoond dat in kleine en middelgrote rioolkelders meer lucht in de pomp komt dan in dalende leidingen afgevoerd kan worden. Verder heeft dit onderzoek laten zien dat een smalle verticale plaat of een valpijp de luchtinname met een factor 1.000 tot 10.000 reduceert.

Het in een vroeg stadium detecteren van de locatie en vooral de grootte van een luchtbel is essentieel om het operationeel beheer van bestaande probleemleidingen te verbeteren. Bij lage stroomsnelheden (DWA-perioden) kan een gasbel namelijk ongemerkt aangroeien. Door een eenvoudige detectietest uit te voeren kan een beheerder periodiek de grootte van eventuele gasbellen bepalen. Op basis van deze informatie kan de beheerder besluiten om passende maatregelen te nemen, voordat de gasbellen te groot zijn geworden.

De beheerder kan de leiding (laten) propfen, maar dit is een relatief kostbare activiteit, die niet altijd op korte termijn uitgevoerd kan worden. Verder kan de beheerder gasbellen afvoeren door voldoende lang met een bepaald debiet te stromen en door een benedenstroomse afsluiter te smoren en daarmee de absolute druk in de leiding te verhogen. Het blijkt namelijk dat bij verhoogde druk en bij stroomsnelheden onder de kritische stroomsnelheid een

aanmerkelijk deel van de gasbel 'oplost'. Dit betekent ook dat gasbellen aan het begin van een persleiding makkelijker afgebroken worden dan aan het eind van een persleiding. De grootste gasbellen zullen dus optreden in de zinkers aan het einde van een persleiding. Bij snelheden boven de kritische stroomsnelheid ($v > 0.9\sqrt{gD}$), speelt het oplossen van gas een ondergeschikte rol.

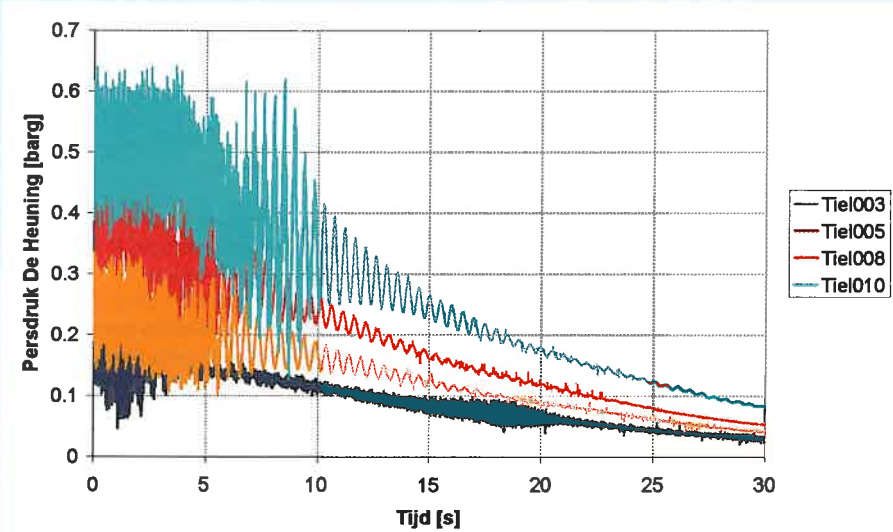
Als de beheerder kan kiezen voor het langdurig stromen met een bepaald debiet en bepaalde druk, dan moet water gespaard worden in het stelsel, omdat ruwweg enkele uren afvalwater moet kunnen stromen. De vraag dient zich aan bij welke druk- en debietcombinatie het minste water gespaard hoeft te worden om de gasbel af te voeren. Het tijdelijk verhogen van de druk door een afsluiter te smoren, lijkt een tegenstrijdige maatregel, maar deze maatregel heeft drie positieve effecten. Ten eerste wordt een bestaande gasbel bij hogere druk gecomprimeerd, waardoor het energieverlies over een gasbel in een dalende leiding afneemt. Ten tweede neemt de gasdichtheid toe, waardoor het transport in bellen toeneemt. Ten slotte lost meer gas op in het water bij een hogere druk, waardoor de gasbel sneller afgebroken wordt. Het tijdelijk smoren van een benedenstroomse klep heeft als voornaamste negatieve effect dat de pompdruk oploopt, waardoor de pompcapaciteit terugloopt en de gasbelafbraak weer afneemt. De pompdruk neemt echter minder toe dan het extra drukverlies over de klep, omdat de gasbel comprimeert. Zo kan een drukverhoging van 5 mwk bij een gasbel tot een pompdrukverhoging van 3 mwk leiden. De gastransportprocessen (beltransport en oplossen) kunnen het negatieve effect echter volledig compenseren. Bovenstaande beschrijving van wederzijds interacterende processen laat zien dat een rekenmodel een nuttig hulpmiddel is om een gasbel met zo min mogelijk afvalwater af te voeren.

Momenteel wordt gewerkt aan afronding en validatie van het rekenmodel. Bovendien wordt de ontwikkelde kennis vastgelegd in een handboek over het hydraulisch ontwerp en operationeel beheer van afvalwaterpersleidingen.

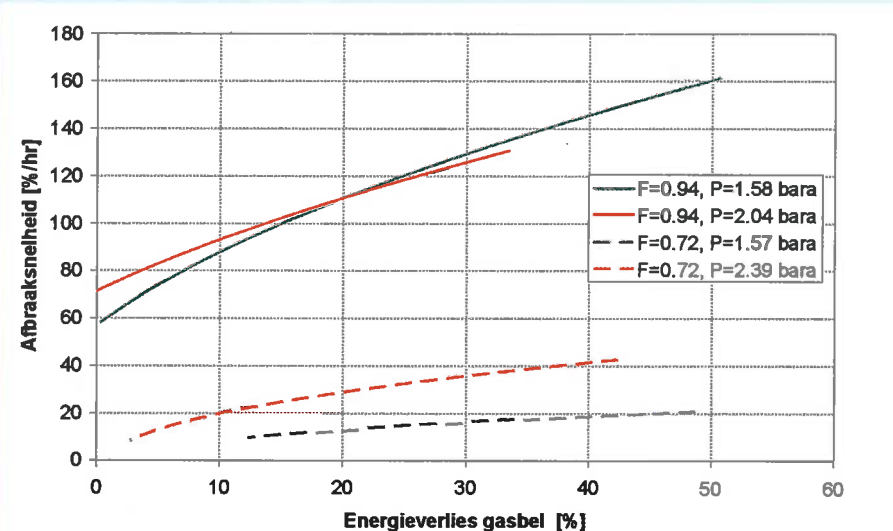
Beter voorkomen dan genezen

Het onderzoek toont aan dat gasbellen in afvalwater net zo moeizaam worden afgebroken en afgevoerd als gasbellen in schoon water, ondanks de beduidend lagere statische oppervlaktespanning. Daarom zijn de meest effectieve maatregelen gericht op het voorkomen van luchtinname in rioolgemaal door het plaatsen van deflectieplaten en waar mogelijk het afsluiten van beluchters. Ook het tijdelijk verhogen van de druk vergroot de afbraak van gasbellen, doordat een groot deel van het gas in opgeloste vorm wordt afgevoerd.

Ivo Pothof en Kees Kooij (Deltares)



Afb. 3: Veldmeting: de drukschommeling tussen $t = 7$ s en $t = 20$ s bepaalt de locatie van de eerste gasbel.



Afb. 4: De afbraaksnelheid bij $F = v/\sqrt{gD} = 0.94$ is onafhankelijk van de absolute druk. Bij $F = 0.72$ neemt de afbraaksnelheid aanmerkelijk toe met verhoogde absolute druk.

In de 40 meter leiding kunnen meerdere opeenvolgende bellen aanwezig zijn. Inzet: onderaan elke luchtbel wordt veel lucht ingeslagen, waarvan slechts een klein deel afgevoerd wordt.

