

# CAPWAT: innovatief onderzoek naar capaciteitsverliezen in afvalwaterpersleidingen

CHRISTOF LUBBERS, W|DELFT HYDRAULICS / TU DELFT  
 KEES KOOIJ, W|DELFT HYDRAULICS  
 RUUD LEMMENS, W|DELFT HYDRAULICS  
 FRANÇOIS CLEMENS, TU DELFT

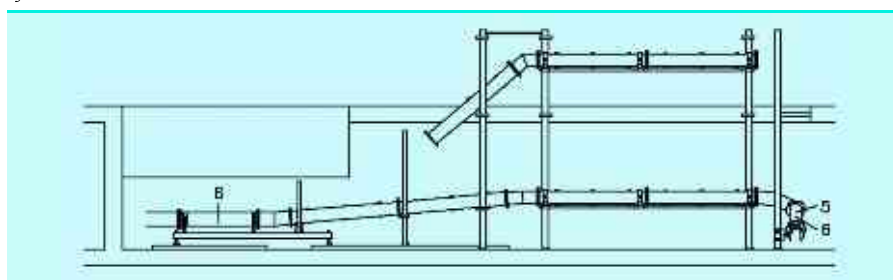
Veel persleidingen blijken hun ontwerpafvoercapaciteit niet te halen ten gevolge van verhoogde weerstand in het systeem. Hieraan kunnen diverse oorzaken ten grondslag liggen. Een uitgebreide inventarisatie bracht aan het licht dat lucht en/of gasinsluitingen een belangrijk aandeel van deze extra verliezen voor hun rekening nemen. De huidige toegepaste formules voor gasbellen in transportleidingen zijn maar beperkt toepasbaar en geven geen antwoord op diverse ontwerp vragen. Het in 2003 gestarte onderzoeksprogramma CAPWAT richt zich op het gedrag en de invloed van gasbellen op de afvoercapaciteit en het energieverlies met als doel te komen tot betere ontwerpregels en een effectievere bedrijfsvoering.

Het voormalig Hoogheemraadschap West-Brabant hield zich al tientallen jaren bezig met het ongrijpbare fenomeen van lucht- en gasbellen in afvalwaterpersleidingen<sup>1</sup>. Dit leidde in 2003 tot het onderzoeksprogramma 'CAPaciteitsverliezen in afvalWATERpersleidingen' van W|Delft Hydraulics en de Technische Universiteit Delft. In dit project participeren daarnaast STOWA en Stichting RIONED, elf waterschappen, twee gemeenten en twee ingenieursbureaus<sup>2</sup>.

Uit een inventarisatie onder de deelnemende beheerders kwam naar voren dat 15 procent van de leidingen een aangetoond capaciteitsprobleem kent. Van de overige 85 procent vermoedt men dat zeker een kwart hiervan een probleemleiding is, maar door de beheerder nog niet als een probleem wordt ervaren<sup>3</sup>. Hierbij moet de organisatie eerst uitmaken wanneer sprake is van een probleem. Is dat pas indien sprake is van veelvuldige overstort of periodiek reinigen van een leiding? Door gebrek aan goede debiet- en drukregistraties zijn vele persleidingen voor de beheerder een 'black box' en wordt een beperking in de capaciteit vaak niet opgemerkt.

Capaciteitsverlies kan het gevolg zijn van aangroei en aantasting van de buiswand, maar veelal zijn lucht en/of gasbellen (in dit artikel

Afb. 1:



Kent (1952) heeft op basis van experimenten in een 4" leiding de volgende relatie vastgelegd:

$$v_{\min} = 1,23 \sqrt{gD \sin \alpha}$$

waarin:

$v_{\min}$  = minimale watersnelheid (m/s) waarbij iedere hoeveelheid lucht door het water kan worden getransporteerd,

$g$  = versnelling zwaartekracht ( $m/s^2$ ),

$D$  = buisdiameter (m) en

$\alpha$  = helling neerwaartse buis met begrenzing  $15^\circ < \alpha < 60^\circ$ .

verder gasbellen genoemd) de oorzaak. Deze gasbellen verzamelen zich in de hoge punten van het leidingsysteem. Het verwijderen van deze gasbellen is niet eenvoudig. De gehanteerde rekenregels leveren ook vaak niet het verlangde resultaat op.

De gasbellen kunnen op verschillende manieren in het leidingsysteem ontstaan. De pompkelder is de eerste potentiële ontstaansbron. Bij DWA-condities is bijna altijd sprake van in de zuigkelder vrijvallend rioolwater, waarbij fijne luchtbelletjes ontstaan die, zeker bij kleine afmetingen van de kelder, meegevoerd worden door de pomp het leidingsysteem in. Bij droog-opgestelde pompen kunnen slecht functionerende ontluichtingsleidingen oorzaak zijn van luchtintrede. Luchtintrede door wervelingen aan het wateroppervlak in de zuigkelder wordt veelal voorkomen door een voldoende grote dekking boven de zuigmond. Bij samengestelde persleidingsystemen is het echter mogelijk dat door pomputval elders, in een kelder van een ondergeschikt klein gemaal lucht gehapt kan worden door nazuiging en hevelwerking. Ook kunnen (niet goed functionerende) be- en ontluichters een bron van luchtintrede zijn. Een ongrijpbare bron van gasproductie is de biochemische reactie die tijdens het transport plaatsvindt. Door wisselende drukcondities bij pompschakelingen kan dit gas makkelijk vrijkomen en grote bellen vormen.

## Bestaande formule ontoereikend

De laatste decennia wordt voor het afvoeren van gas de formule van Kent (zie kader) gebruikt<sup>4</sup>. Hiermee kan de kritische snelheid voor het meevoeren van gas bepaald worden. Slechts weinigen weten dat deze empirische



Foto 1

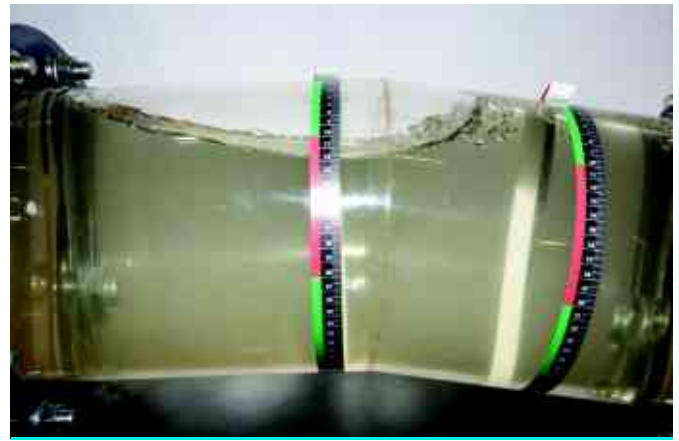


Foto 2

formule ontleend is aan metingen in een 4" leiding en hellingshoeken groter dan 15 graden. Het is dan ook nog maar de vraag hoe betrouwbaar deze formule is voor grotere diameters en kleinere hellingshoeken. Beoogd deze formule te beweren dat er geen gasophoping is als de snelheid hoger is dan de kritische snelheid? Hoe lang moet met een bepaalde snelheid gestroomd worden om een aanwezige gasbel af te voeren? Met welk extra verlies moet ik maximaal rekening houden indien mijn snelheid lager is dan de kritische snelheid? Allemaal vragen waarop tot voor kort geen eenvoudig antwoord mogelijk was.

### Unieke testfaciliteit

Om het gedrag van gasbellen beter te begrijpen is een transparant (perspex) leidingcircuit gebouwd met een inwendige diameter van 220 mm. De hellingshoek van het neergaande been kan variëren van 5 tot 45 graden (zie afbeelding 1). Bovenstrooms kan een ingesteld luchtdebiet (0,1 - 50 l/min) toegevoerd worden. Afhankelijk van de snelheid van het water wordt deze lucht afgevoerd of blijft hangen boven in het hoge deel. Een debietregeling zorgt

ervoor dat ondanks de weerstandstoename het waterdebiet, en daarmee de snelheid in het lucht vrije deel tijdens de test, constant blijft.

De eerste waarnemingen lieten al zien dat sprake is van twee verschillende afvoermechanismen. Indien boven in de knik nog geen gasbel aanwezig is, kunnen de meegevoerde gasbellen vrij eenvoudig met de stroming meegevoerd worden het neergaande deel in (zie foto 1). In dit neergaande deel klonteren de kleine belletjes samen tot een grotere bel. Deze grotere gasbellen willen door de opwaartse kracht tegen de stroom in naar boven. Op het moment dat dit lukt, zit er dus een kleine bel in de knik. De aangevoerde gasbelletjes lopen nu vast in deze bel, waardoor deze gaat groeien. Het is dan niet meer zo evident dat het belentransport aan de achterzijde van deze bel doorgaat (zie foto 2). Het afvoermechanisme wordt nu bepaald door de turbulentie aan de achterkant van de bel. Hier ontstaat een watersprong waar de lucht weer wordt ingeslagen in de vloeistof. Aanvoer en afvoer van gasbellen is daarmee ontkoppeld (zie foto 3).

De grootte van de gasbel bepaalt het extra

drukverlies dat optreedt. In principe is die gelijk aan de hoogte van de bel.

In de testopstelling is een reeks van proeven gedaan met verschillende stroomsnelheden, luchtdebieten en hellingshoeken. Om de bijdrage van gas aan het energieverlies te kunnen bepalen, zijn eerst referentiemetingen uitgevoerd met een gasbelvrije beginsituatie. Bovenstrooms werd vervolgens continu lucht met een constant volumedebiet geïnjecteerd. Afhankelijk van de ingestelde condities ontstaat na enige tijd een luchtbel die constant in grootte blijft. Dit is met behulp van een nauwkeurige drukverliesregistratie waar te nemen. In deze evenwichtssituatie wordt evenveel lucht afgevoerd als wordt aangevoerd. Vervolgens is de luchtaanvoer stopgezet en is gemeeten hoe lang het duurt voordat de bel geheel is afgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd bij een snelheid variërend van 0,25 tot 1,50 m/s.

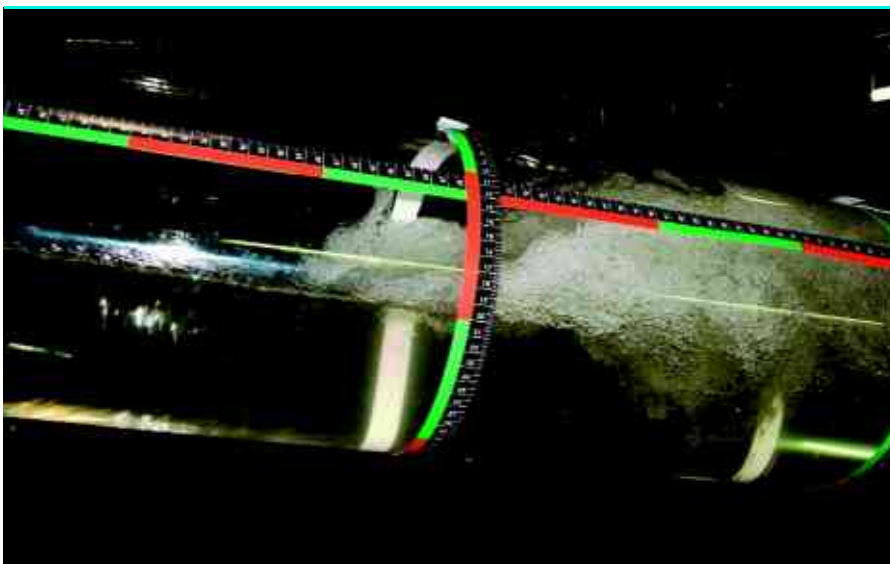
### Nieuwe inzichten

Opmerkelijk is dat bij elke stroomsnelheid sprake is van gasbeltransport. Alleen is de hoeveelheid afhankelijk van de leidingconfiguratie en de stroomsnelheid. Bij voldoende gasaanbod kan theoretisch het gehele neergaande been gevuld worden met gas. De afvoer van het gas wordt naast de stroomsnelheid mede bepaald door de mate van turbulentie en de lengte van het gevulde neergaande leidingdeel. De experimenten laten zien dat de afvoer al snel afneemt tot waarden van 2 l/min tot 0,2 l/min. Hierdoor kan het tientallen minuten tot enige uren duren voordat de bel is verdwenen<sup>5)</sup>.

Het CAPWAT-onderzoek toont aan dat de formule van Kent te optimistisch is voor kleine hellingshoeken. Hierdoor vindt in de praktijk meer gasophoping plaats dan waarmee in het ontwerp stadium rekening is gehouden. Terugkoppeling van deze constatering aan de deelnemende waterschappen bevestigt dit. Het gehele transportmechanisme laat zich niet in één enkele formule samenvatten.

Onlangs zijn enkele eenvoudige grafieken

Foto 3



samengesteld (zie afbeelding 2 in het kader), waarmee de ontwerper/beheerder onder andere de twee volgende vragen kan beantwoorden:

- Wat is het maximale extra drukverlies dat ik bij een bepaalde combinatie van leidingconfiguratie (hellingshoek, diameter, lengte neergaande been) en debiet (snelheid) mag verwachten?
- Hoe lang moet ik met een bepaalde snelheid stromen om bij deze configuratie een bepaald belvolume af te voeren?

De grote onbekende waar de ontwerper/beheerder mee blijft zitten, is de hoeveelheid gas die hij in zijn systeem kan verwachten. Maar ook met deze onbekende parameter is het thans mogelijk betere keuzes te maken in het ontwerpproces en/of de bedrijfsvoering, waardoor de energieverliezen beperkt blijven en dus kosten gereduceerd worden.


Met de nu bekende informatie zijn de eerste berekeningen gedaan aan een eenvoudig praktijksysteem. Hierbij bleek het berekende extra verlies en de daarmee gereduceerde capaciteit goed overeen te komen met de gemeten capaciteit. De volgende stap is om aan de hand van veldmetingen de nieuwe theorie verder te verifiëren. Wel is nu al duidelijk dat vele systemen te optimistisch ontworpen zijn en er een wezenlijke capaciteitsprobleem kan ontstaan indien sprake is van een lucht/gasbron<sup>6)</sup>.

### Vervolgonderzoek

De afgelopen twee jaren is een enorme vooruitgang geboekt in kwalitatieve en kwantitatieve zin in het beschrijven van het gasbeltransport in persleidingen. Daarmee is het onderzoek echter niet afgerond. Aangevoond moet worden dat de ontwikkelde rekenregels ook voor andere diameters gelden. Omdat we nu op basis van de registraties weten welk stromingsregime zich in de buis afspeelt, is het niet noodzakelijk dit voor de andere diameters ( $\varnothing 100$  en  $\varnothing 500$  mm) in perspex uit te voeren. Ook moet de invloed van de wandruwheid en de waterkwaliteit nog nader onderzocht worden.

Een ander aspect van het CAPWAT-project is om diagnostische methoden op te stellen waarmee het mogelijk is vast te stellen waardoor de capaciteitsreductie veroorzaakt wordt. Met deze informatie kan een gerichte actie door de leidingbeheerder uitgevoerd worden.

Op dit moment wordt bij WL/Delft Hydraulics onderzoek verricht in een 630 meter lange testfaciliteit bestaande uit PVC  $\varnothing 250$  mm en diverse perspex kijkstukken. Met behulp van een dynamische drukmeting (snelle toerentalverandering van een pomp) kan vastgesteld worden of sprake is van gasophoping en kan zelfs de locatie van de gasbel bepaald worden<sup>7)</sup>.

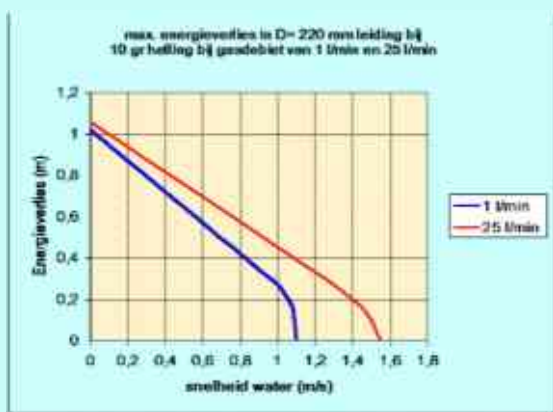
Nationaal en internationaal ontstaat veel belangstelling voor dit onderzoeksprogramma, met name omdat onderzoek wordt verricht in unieke grootschalige testopstellingen. Beide testfaciliteiten hebben een semi-permanent karakter en kunnen ook ingezet worden voor andere vraagstukken over gassen en vloeistoffen, zoals het gedrag van be- en ontlueters. 

### LITERATUUR

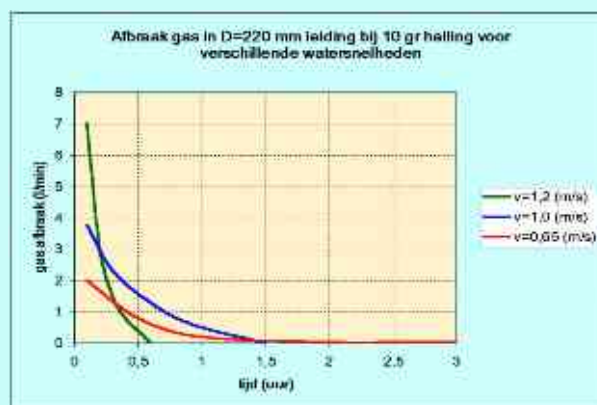
- 1) Kamma P. en F. van Zijl (2002). De weerstand van persleidingen voor afvalwater tijdens de gebruiksfase. Rioleringswetenschap en techniek nr. 5.
- 2) Landelijk onderzoek capaciteitsverliezen in afvalwaterpersleidingen (2003). H<sub>2</sub>O nr. 10, pag. 4.
- 3) Kamma P., C. Kooij en C. Lubbers (2003). Resultaten inventarisatie. CAPWAT-rapport. WL/Delft Hydraulics.
- 4) Kent J. (1952). The entrainment of air by water flowing in circular conduits with downgrade slopes. Thesis presented to Berkeley University, California.
- 5) Lubbers C. en F. Clemens (2004). Air and gas pockets in sewerage pressure mains. IWA journal Water Science and Technology nr. 3.
- 6) Lubbers C. en F. Clemens (2005). Capacity reduction by air intake at wastewater pumping stations. Proceedings of the 3rd International Conference on Water and Wastewater pumping stations.
- 7) Lubbers C. en F. Clemens (2005). On detecting gas pockets in pressurised wastewater mains. Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage.

## De eerste resultaten

Afbeelding 2 geeft de resultaten weer voor een leiding met een inwendige diameter van 220 mm onder een hellingshoek van 10°.



Afb. 2a.



Afb. 2b.

De linker grafiek (afb. 2a) geeft een range van te verwachten energieverliezen als functie van de snelheid. Het energieverlies is afhankelijk van de grootte van gasaanvoer. Zelfs bij een kleine aanvoer moet het water bij deze configuratie ( $D = 220$  mm, helling = 10°) harder dan 1,1 m/s stromen om gegarandeerd alle lucht na enige tijd te verwijderen. Bij een snelheid van bijvoorbeeld 1 m/s heeft men altijd te maken met een lokaal energieverlies van 25 tot 45 cm.

De rechter grafiek (afb. 2b) toont voor drie verschillende snelheden hoe lang het water moet stromen om een grote hoeveelheid gas uit het hellende been te verwijderen. Het uitgangspunt is hier geweest dat het gehele hellende been met gas gevuld is. De eerste minuten is het transport het grootst, vervolgens neemt de afvoercapaciteit af. Bij een snelheid van 0,65 m/s is na drie uur nog steeds sprake van een geringe afvoer, wat inhoudt dat nog steeds een gasbel aanwezig is.