



wg AWP

Tekst voor het tijdschrift "Rioleringswetenschap"

## De weerstand in persleidingen voor afvalwater tijdens de gebruiksfase

**Trefwoorden:**

**k waarde,  $\lambda$  waarde, weerstand persleiding, lucht in persleidingen, energie besparen, schoonmaken persleidingen, luchttechnisch ontwerp rioolgemaal.**

Peter Kamma, hoogheemraadschap van West Brabant  
e mail: [p.kamma@ws-hwb.nl](mailto:p.kamma@ws-hwb.nl)

Frank van Zijl, hoogheemraadschap van West Brabant  
e mail: [f.van.zijl@ws-hwb.nl](mailto:f.van.zijl@ws-hwb.nl)

## Samenvatting

Door veel ontwerpers wordt aangenomen dat de afvoercapaciteit van een afvalwatertransportsysteem constant is als de pompprestaties niet veranderen. In de bedrijfsfase kan de afvoercapaciteit echter dalen als gevolg van toegenomen weerstand van de persleiding, zodat de ontwerpcapaciteit niet meer gehaald wordt. Deze daling wordt soms niet direct opgemerkt omdat geen goede meetvoorzieningen in rioolgemaal en/of persleiding beschikbaar zijn.

Onderzoek en metingen aan afvalwaterpersleidingen van het hoogheemraadschap van West Brabant over een periode van 10 jaar heeft uitgewezen dat in de meeste gevallen de weerstand van persleidingen <sterk> is toegenomen. Er zijn echter ook enkele leidingen gevonden waarin de weerstand gelijk is aan de ontwerpweerstand of zelfs lager. Het blijkt dus mogelijk te zijn om rioolgemaal en persleiding zodanig te ontwerpen dat de weerstand laag is en blijft.

In het onderzoek zijn vier oorzaken gevonden waardoor de weerstand in een persleiding kan toenemen: bezinking, afzetting, slijm laagvorming en insluiting van lucht. Met name insluiting van lucht in een rioolgemaal door het discontinu pompbedrijf is een fenomeen, dat meer onderzoek vereist. De insluiting van lucht kan een serieus probleem geven omdat uit de metingen is gebleken is dat in veel gevallen niet alle lucht door de waterstroom wordt meegenomen. Deze lucht blijft in de leiding en kan voor <veel> extra weerstand zorgen. Blijkbaar is de sinus  $\alpha$  formule voor het meevoeren van lucht niet zonder meer geldig voor buizen met grotere diameter. Door de toegenomen weerstand kunnen de jaarlijkse energiekosten van rioolgemaal tot 30% toenemen. Deze extra kosten kunnen worden bespaard als een persleiding schoon en vrij van luchtinsluiting kan worden gehouden.

Schrijvers komen ook tot de conclusie dat de wandruwheid van een persleiding in hoge mate wordt bepaald door de slijm laag die na verloop van tijd altijd aanwezig is en niet door het buismateriaal. Ook wijzen zij er op dat in de vakliteratuur te weinig bekend is over de toename van weerstand van afvalwaterpersleidingen in de bedrijfsfase. Ze geven de noodzaak aan om deze kennis aan te vullen door uitbreiding van metingen en onderzoek op dit gebied. Dit zou ook moeten leiden tot het opstellen van aanvullende regels voor het ontwerpen van rioolgemaal en persleidingen.

# De weerstand in persleidingen voor afvalwater tijdens de gebruiksfase

## Trefwoorden:

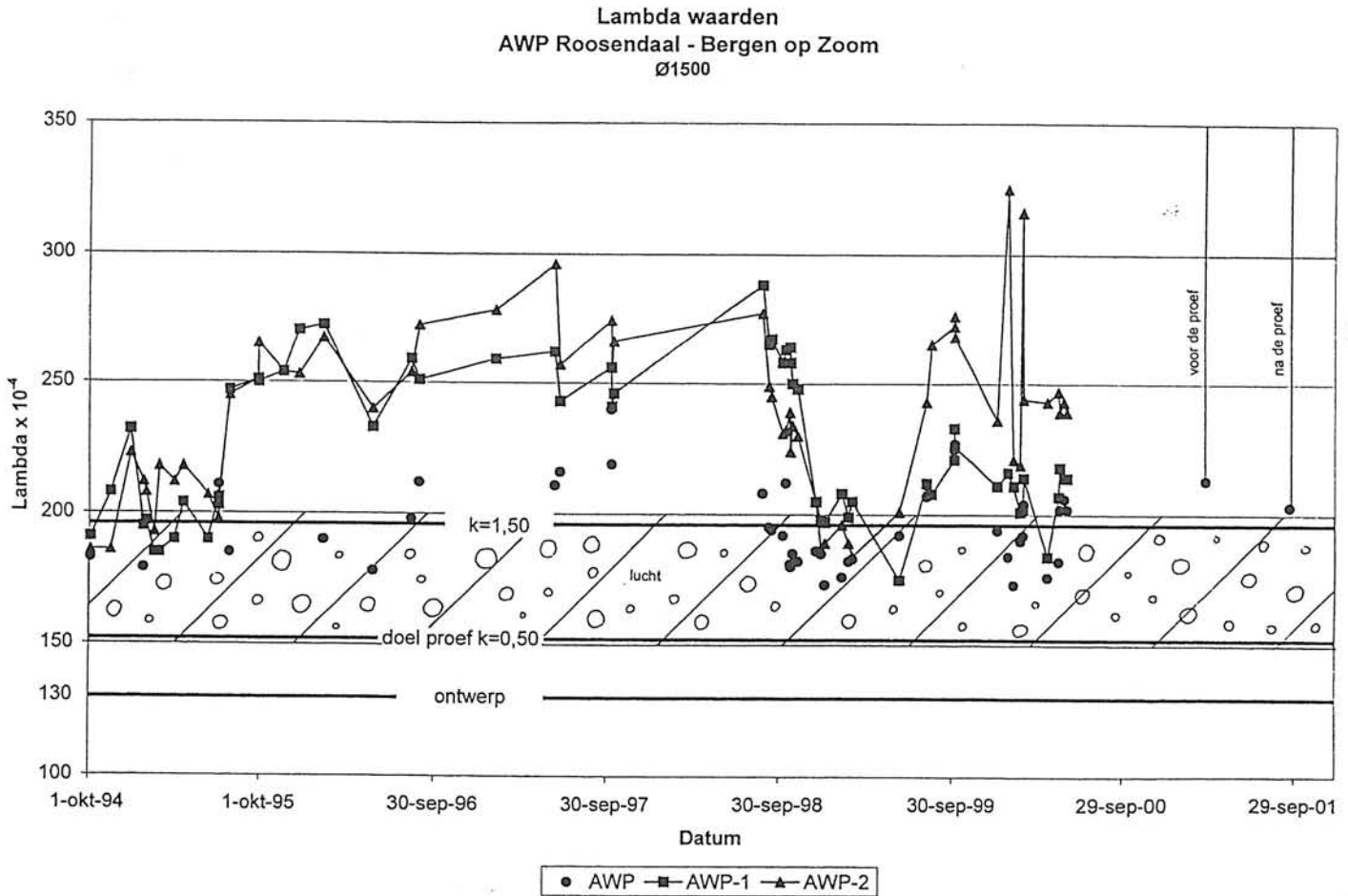
**k waarde,  $\lambda$  waarde, weerstand persleiding, lucht in persleidingen, energie besparen, schoonmaken persleidingen, luchttechnisch ontwerp rioolgemaal.**

## Inleiding

Het hoogheemraadschap van West Brabant (HWB) heeft in de afgelopen 10 jaren vele metingen uitgevoerd om de oorzaak van teruglopende capaciteit bij rioolgemaal te achterhalen. Vast onderdeel daarbij was controle van de Q-H kromme van de pomp en meting van de weerstand van de persleiding. Daarbij werd vastgesteld dat de bedrijfsweerstand in veel leidingen een veelvoud was van de ontwerpweerstand. Slechts bij enkele leidingen werden waarden gemeten die overeenkwamen met de ontwerpweerstand of soms zelfs lager waren.

Een tweede reden om weerstandsmetingen uit te voeren was de zorg voor de afvoercapaciteit van de AWP (Afval Water Persleiding). Dit afvoersysteem is aangelegd in 1970 en transporteert afvalwater vanaf het industrieterrein Moerdijk naar de rwzi Bath bij het Schelde Rijn kanaal (kaartje als bijlage). De leiding is samengesteld uit voorgespannen betonbuizen met diameters van  $\varnothing$  800 mm,  $\varnothing$  1500 mm en  $\varnothing$  1800 mm en heeft een totale lengte van 60 km. In Moerdijk, Roosendaal en Bergen op Zoom bevinden zich persstations met toerengeregelde pompen waar het afvalwater van omliggende rioolstelsels wordt verzameld en waar de leiding weer op druk wordt gezet. In de persstations heeft iedere pomp een eigen persleiding waardoor het afvalwater naar een open buffertoren wordt gevoerd die gelegen is op een afstand van 100 meter. De buffertorens hebben zo drie of vier aanvoerleidingen en tenminste één afvoerleiding met de mogelijkheid van twee extra afvoerleidingen. Bij toenemende aanvoer kan de afvoercapaciteit van de AWP vergroot worden door aanleg van een tweede of derde afvoerleiding, waardoor de leidingweerstand van een traject afneemt.

De actuele leidingweerstand van de AWP bepaalt dus de maximum afvoercapaciteit. Als de aanvoer groter is dan de maximum afvoercapaciteit moet een tweede (of derde) leiding worden aangelegd waar hoge kosten mee gemoeid zijn. Om de maximum afvoercapaciteit te kunnen bepalen en daarmee het tijdstip van verdubbelen en een grote investering, is een juist inzicht in de bedrijfsweerstand dus van cruciaal belang. Uit metingen aan de AWP is nu gebleken dat op bijna alle trajecten de bedrijfsweerstand veel hoger is dan de ontwerpweerstand. De weerstand verschilt ook nog per traject en heeft daarbij waardes die sterk *wisselen* in de tijd. Grafiek 1 geeft een voorbeeld van de wisselende bedrijfsweerstand op het traject Roosendaal-Bergen op Zoom.



**Grafiek 1**

*Meet data over de periode 1994 t/m 2001. Het traject bestaat over een lengte van 8600 meter uit een enkele Ø 1500 mm buis en is over een lengte van 5600 meter dubbel uitgevoerd. Weergegeven zijn de weerstanden van de enkele en de dubbele leiding.*

Door het HWB is vervolgens gezocht naar de oorzaken van de toegenomen weerstand in de persleidingen. Het verloop van dit onderzoek en de belangrijkste resultaten en inzichten die hierbij zijn verkregen, zullen hier worden weergegeven. Daarbij is gebleken dat het fenomeen “Weerstanden in persleidingen voor transport van afvalwater” kritisch moet worden bekeken omdat er factoren een rol spelen die niet voldoende worden onderkend en mee gewogen. Eerst zal nu een overzicht worden gegeven van de theoretische kennis die op dit moment beschikbaar is.

### Stromingsweerstand in leidingen

Veel informatie inzake het berekenen van de hydraulische weerstand van een persleiding is te vinden in het handboek van Prof Huisman "Stromingsweerstand in leidingen" (Waltman Delft 1969) Hierin worden ook praktische aanwijzingen gegeven voor het gebruik van de formule van Darcy-Weisbach.

$$\text{Darcy-Weisbach: } \Delta H = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

H = opvoerhoogte (m<sub>wk</sub>)

$\lambda$  = weerstandscoëfficiënt (dimensieloos)

L = leidinglengte (m)

D = diameter leiding (m)

v = watersnelheid in de leiding (m/sec)

g = versnelling van de zwaartekracht (m/sec<sup>2</sup>)

Zo wordt op blz 28 gesteld dat de waarde van de weerstandscoëfficiënt of frictiefactor ( $\lambda$ ) bij turbulente stroming langs een hydraulisch ruwe wand *uitsluitend* afhangt van de buisdiameter en de wandruwheid (k) en voor een gegeven leiding *een constante waarde* heeft. En aangezien deze stromingscondities aanwezig zijn in persleidingen voor afvalwater geldt deze uitspraak dus voor deze leidingen.

Het verband tussen de  $\lambda$  en k wordt gegeven door de volgende formule van:

$$\text{Colebrook: } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log 3,7 \cdot \frac{D}{k}$$

k = wandruwheid (mm)

De weerstandsfactor  $\lambda$  van een persleiding wordt dus in de theoretische benadering geheel gerelateerd aan de ruwheid van de buiswand, maar andere factoren die karakteristiek zijn voor een leiding zoals buislengte bij gelede buizen, voegen, hulpstukken, afzetting in de gebruiksfase, lengteprofiel, gasopsluiting e.d worden niet genoemd. Aan de ontwerper wordt overgelaten hier op verstandige wijze rekening mee te houden. Dat dit een probleem is, wordt echter terdege onderkend want op blz 58 wordt toegegeven dat de weerstand weliswaar op betrekkelijk eenvoudige wijze kan worden bepaald zodra de grootte van de wandruwheid bekend is, *maar dat de wandruwheid zelf uitzonderlijk moeilijk te bepalen is*, omdat zij niet alleen afhangt van de hoogten der oneffenheden, maar ook van hun vorm en onderlinge afstand. In Tekening 5.1 (bijlage) worden daarbij k-waarden gegeven die zijn bepaald uit metingen aan vele soorten leidingen. Op blz 62 klinkt echter de waarschuwing dat deze k-waarden *slechts een aanwijzing geven* en geen absolute waarde hebben. Ook wordt aangegeven dat de tabel kan worden uitgebreid met nieuwe veldmetingen.

### Weerstandsvanandering in de gebruiksfase.

Huisman wijst op blz. 61 ook op verandering van de k-waarde in de gebruiksfase:

*"Voor oude leidingen treedt hiernaast als extra variabele nog de verandering op van de wandruwheid met de tijd. Was de oorspronkelijke buiswand erg ruw, dan zou door slijmafzettingen een vermindering van de ruwheid kunnen optreden. Dit is echter uitzondering en in de praktijk zullen corrosie, incrustatie (korstvorming) afzetting van slib en bacteriën doorgaans tot een toeneming van de wandruwheid leiden. In ernstige gevallen kan de wandruwheid hierbij tot een veelvoud van de oorspronkelijke waarde stijgen, terwijl bij afzetting van een wat dikkere sliblaag de oorspronkelijke ruwheid van geen betekenis meer is en de wrijvingsweerstand geheel door vorm en afmeting van de ribbels in deze sliblaag wordt bepaald. De snelheid waarmee de wandruwheid toeneemt hangt intussen af van de aard van het buismateriaal en de bekleding en van de samenstelling van het te transporteren water en kan moeilijk kwantitatief worden aangegeven".*

De verouderingsverschijnselen worden dus wel genoemd, maar er wordt niet aangegeven hoe hier mee om te gaan en de boodschap lijkt of dit maar moet worden geaccepteerd. Maar de waarschuwing ontbreekt in dit vakboek om de weerstand goed in de gaten te houden en debietmeters te installeren om dit te kunnen bepalen.

### Andere bronnen

Veel leveranciers van buizen wijzen ook op toename van de k waarde in de gebruiksfase als gevolg van corrosie, scheurvorming, hechting van slib en dergelijke. Soms wordt vermeld dat verschillen in wandruwheid van diverse materialen snel verdwijnen omdat de wand in korte tijd wordt bedekt met een vette laagje.

Ook Prof. Wiggers (Inzameling en transport van afvalwater, VBP Woerden 1993) noemt dit effect op blz 58 "Als het riool enige tijd in gebruik is, neemt de k-waarde af als gevolg van slijmhuidvorming. Dit effect is gunstig voor het afvoervermogen" Maar bij persleidingen moet ontwerper het zelf maar weer uitzoeken, want ook op blz 58 geeft hij aan: "Bij persleidingen wordt *uitsluitend* de k-waarde van het gebruikte materiaal in rekening gebracht". Dit is overigens in strijd met het rekenvoorbeeld op blz 115 waar de k-waarde van een kunststofleiding op 0,50 mm wordt gesteld, terwijl normaliter de pvc-buisfabrikant een k-waarde van 0,05 tot 0,10 opgeeft.

Prof. Koot (Inzameling en transport van rioolwater, Waltman Delft 1977) meldt op blz 113 "Voor rioleringsberekeningen wordt een k-waarde van 1,5 mm aanbevolen, doch voor lange, gladde leidingen (bijvoorbeeld persleidingen) kan men geringere waarden kiezen". Welke vermeld hij niet, maar even verder op blz 113 geeft hij een aanwijzing: "Voor de praktijk is het voldoende voor afvalwater aan te houden  $v = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (kinematische viscositeit), zeker als men met k-waarden van 0,5-1,5 mm rekent". Wanneer je welke k-waarde moet kiezen wordt aan de ontwerper overgelaten.

### Met een kluitje in het riet

De bovengenoemde formules geven het verband aan tussen de wandruwheid van het buismateriaal en de weerstand. Dat is ook logisch, want dat verband is in het laboratorium bij schone buizen onderzocht. Maar de slijmlaag *die in feite bepalend* is voor de "ruwheid" van de wand bij leidingen voor afvalwater is niet "wetenschappelijk" onderzocht, omdat het verschijnsel zich niet laat vangen onder laboratoriumcondities. Daar zijn veldwerk, inspecties en vele metingen voor nodig. En het opsluiten van lucht in een leiding mag natuurlijk helemaal niet dus daar zijn ook geen formules voor nodig. Het onderwerp van de weerstand van een leiding lijkt daardoor optisch vertekend omdat alleen gefocused wordt op dat wat wél bekend is: de wandruwheid en de formules van Darcy-Weisbach en Colebrook.

In het bovenstaande overzicht geeft Huisman nog de meest informatie over k-waardes en verandering van k-waarde in de tijd. De andere auteurs hebben daar niets meer aan toegevoegd. Maar de invloed van een hoge k-waarde op de  $\lambda$  weerstandcoëfficiënt is aanzienlijk zoals grafiek 4 (bijlage) aangeeft.

Het probleem van het kiezen van de juiste k-waarde wordt in de vakliteratuur dus aan de ontwerper overgelaten. Alleen van Huisman krijgt de ontwerper als troostende woorden mee dat de wandruwheid zelf uitzonderlijk moeilijk te bepalen is. Daar moet de ontwerper het dan mee doen en wordt dus met een kluitje in het riet gestuurd. Bij het ontwerp van persleidingen voor afvalwater wordt dan ook vaak de weerstandswaarde van een nieuwe leiding aangehouden. En het aardige is dat bij de nulmeting tijdens het in bedrijf stellen deze waarde soms ook daadwerkelijk wordt gemeten, zodat de ontwerper ook nog gelijk krijgt. Voor dat moment althans. Maar er wordt geen rekening gehouden met veranderingen van weerstand in de tijd. *Ontwerpers en beheerders waren soms zo zeker van hun zaak dat het inbouwen van debietmeters in (grotere) rioolgemalen niet nodig werd gevonden.* En zelfs vandaag de dag zijn er beheerders die dat niet nodig vinden. Maar zonder debietmeting is het moeilijk vast te stellen of de weerstand van de leiding toeneemt en is het bepalen van een goede druklijn van de leiding niet mogelijk.

Ook de gang van zaken bij het ontwerpen kan bijdragen aan de verwarring. De berekening van het werkpunt van de pompen voor afvalwaterpersleidingen is een taak voor de werktuigbouwkundige. De civiele man legt de leiding aan. De werktuigbouwer heeft doorgaans weinig interesse in het leggen van de leiding en de materiaalkeuze en vertrouwt op zijn berekening. Over de weerstand van een persleiding is meestal niet meer bekend dan datgene wat de verkoper van de buizen vertelt. Soms wordt de verantwoordelijkheid voor de berekening van de weerstand van een leiding met het bijbehorend werkpunt van de pomp zelfs bij de leverancier van de pomp gelegd. En die krijgt de schuld als de pomp zijn capaciteit niet haalt door een te hoge weerstand van de leiding, zelfs al is de leiding al jaren in bedrijf en is er geen betrouwbare weerstandsmeting beschikbaar.

Jammer genoeg werd en wordt bij beproeving van een pomp voor afname dikwijls nagelaten om de  $\lambda$  en de k waarde van de leiding te bepalen zodat een nulmeting ontbreekt. Daarna is het meestal de civiele man die gaat meten als er zich problemen voordoen en die <in sommige gevallen> probeert de leiding schoon te maken. Deze scheiding van disciplines draagt ook niet bij aan een goed inzicht in- en zorg voor de weerstand van het hele systeem.

Een andere reden waarom de pompcapaciteit vanaf het begin vaak niet voldoende aandacht krijgt is gelegen in het feit dat de pomp "op de groei" wordt gekozen. De geïnstalleerde capaciteit is pas over 10 of 15 jaar noodzakelijk, dus de pomp is in het begin altijd overgedimensioneerd, zodat een mindere prestatie niet erg opvalt.

### Onderzoek oorzaken verhoogde weerstand

In de theorieboeken is dus niets te vinden wat oorzaak zou kunnen zijn van de verhoogde weerstand in de persleidingen van HWB. In de beginperiode van het onderzoek was de aandacht van HWB dan ook gericht op het

ontdekken van verstoppingen in de leiding ter plaatse van zinkers. Daartoe zijn veel manometers op de leiding geplaatst om zeker te zijn dat de gemeten druklijn voldoende punten zou bevatten en betrouwbaar was. Lokale verstoppingen werden niet gevonden, maar uit het verloop van de druklijn bleek dat de weerstand over de hele leiding op gelijke wijze was toegenomen. De volgende stap was om de leiding bij een mangat open te maken en het inwendige visueel en met een rijdende videocamera te inspecteren om de oorzaak van de verhoogde weerstand te ontdekken. Daarbij is in de eerste plaats gekeken naar bezinking, maar al spoedig bleek dat de verhoogde weerstand werd veroorzaakt door afzetting op de wand. De belangrijkste bevindingen van dit onderzoek dat gedurende een periode van 10 jaar is uitgevoerd zijn hieronder vermeld.

#### *Bezinking*

Bezinking is nooit gevonden als oorzaak van verhoogde weerstand. Een uitzondering vormt de bezinking in de AWP in de periode 1970-1980 toen de stroomsnelheid in de  $\varnothing$  1500 mm leiding niet veel hoger was dan 0,10 m/s en een laag van 0,40 m bezonken materiaal op de bodem werd aangetroffen. In sommige grotere leidingen is op de bodem een schone strook waar te nemen waar de slijmlaag is verdwenen, vermoedelijk door transport van sediment.

#### *Afzetting en Scaling*

Bij verhoogde weerstand is tot nog toe slechts in twee persleidingen van het HWB afzetting van anorganische scaling vastgesteld. Deze werd veroorzaakt door lozing van industrieel afvalwater. In een  $\varnothing$  800 mm betonbuis van de AWP was een zeer ruwe harde afzetting van circa 7 mm  $\text{CaCO}_3$  scaling op de wand aanwezig en werd een wandruwheid gemeten overeenkomende met  $k=18$  mm (bijlage foto 1). Een poging om deze scaling door middel van foampigs te verwijderen is mislukt omdat de foampig vastliep in de losgemaakte scaling en opgegraven moest worden. In een  $\varnothing$  600 mm AC buis werd een laag van 110 mm zachte  $\text{Al}(\text{OH})_3$  scaling aangetroffen (bijlage foto 2) die met foampigs kon worden gereinigd. In een ander geval is afzetting van veel vet, wellicht afkomstig uit afvalwater van een restaurant of friteskraam in een  $\varnothing$  200 mm PVC leiding waargenomen.

#### *Slijmlagen*

Uit inspecties is gebleken dat in persleidingen voor huishoudelijk afvalwater *altijd* aangroei plaats vindt van een biologische slijmhuid. Dit houdt in dat bij (huishoudelijk?) afvalwater de wandruwheid van het gebruikte buismateriaal niet meer bepalend is voor de k-waarde van de leiding. Hier heeft Huisman ook op gewezen. Deze slijmlagen zullen wellicht bij grote betonleidingen van de AWP de wandruwheid te verlagen, maar kunnen soms voor veel extra weerstand zorgen. In één geval werd een wandruwheid van  $k=20$  mm gemeten veroorzaakt door de aanwezigheid van een 25 mm dikke onregelmatig gevormde slijmlaag op de buiswand (bijlage foto 3) als gevolg van geconcentreerd afvalwater uit een melkfabriek. Met foampigs is deze slijmlaag verwijderd. Deze slijmlaag kan in leidingen met kleine diameter wellicht wél voor extra weerstand zorgen, want in een  $\varnothing$  160 mm pvc leiding met slijmlaag werd een k-waarde gemeten van 0,9 mm. In de AWP is permanent een gladde slijmlaag van 5-10 mm aanwezig, die naar verwachting weinig of geen extra weerstand veroorzaakt. Het verkleinen van de diameter van de leiding door deze slijmlaag zou een verhoging van de  $\lambda$  waarde kunnen geven van maximaal 107 %. Dit kan dus niet de oorzaak zijn van de toename van 130 % tot 330 % die in de AWP gemeten worden. (tabel 1). Een verslag van dit onderzoek is in  $\text{H}_2\text{O}$  is gepubliceerd (20 april 1995), waarbij werd opgemerkt dat het verstandig is om te rekenen met een hogere ontwerpweerstand voor afvalwater persleidingen *indien er geen voorzieningen getroffen zijn om de leiding schoon te houden van excessieve slijmlagen of vetafzetting*.

Door het onderzoek van HWB leek nu aangetoond te zijn dat verhoogde weerstand <meestal> wordt veroorzaakt door scaling of door aangroei van een slijmlaag op de buiswand. Voor kleine leidingen zou de weerstand in de praktijk dus in principe beheersbaar moeten zijn omdat deze leidingen met foampigs eenvoudig te reinigen zijn. Helaas gaf dit geen verklaring voor de hoge en voortdurend wisselende weerstand in de grote buizen van het AWP systeem, waar nu de aandacht op gericht werd.

#### **Het AWP systeem**

De AWP transporteert thans 15.000 m<sup>3</sup>/u aan afvalwater naar de rwzi Bath. Het effluent wordt vervolgens over een afstand van 14,5 km naar het lozingspunt bij Waarde in Zeeland gepompt. Tussen 1970 en 1985 zijn alle gemeentelijke rioolstelsels in het verzorgingsgebied op de AWP aangesloten zodat de geïnstalleerde afvoercapaciteit ook daadwerkelijk kon worden benut. Vanaf dat moment was er ook voldoende snelheid in de leiding om bezinking uit het verleden mee te nemen en nieuwe bezinking te voorkomen.

Bij het ontwerp van de AWP is een wandruwheid van de betonbuizen aangenomen van  $k = 0,25$  mm. *De ontwerpers waren zo zeker van hun zaak dat ze het niet nodig vonden om debietmeters in te bouwen*, een handicap waardoor metingen aan de AWP om de weerstand van de leiding en de capaciteit van de pompen vast te stellen in de eerste 20

jaar zeer moeizaam waren. Uit deze periode zijn maar weinig (betrouwbare) meetcijfers beschikbaar. Rond 1990 zijn debietmeters in de AWP ingebouwd zodat vanaf dat moment betrouwbare meetcijfers konden worden verzameld, waarbij de sterk wisselende weerstand in kaart kon worden gebracht.

### Onderzoek weerstand in de AWP

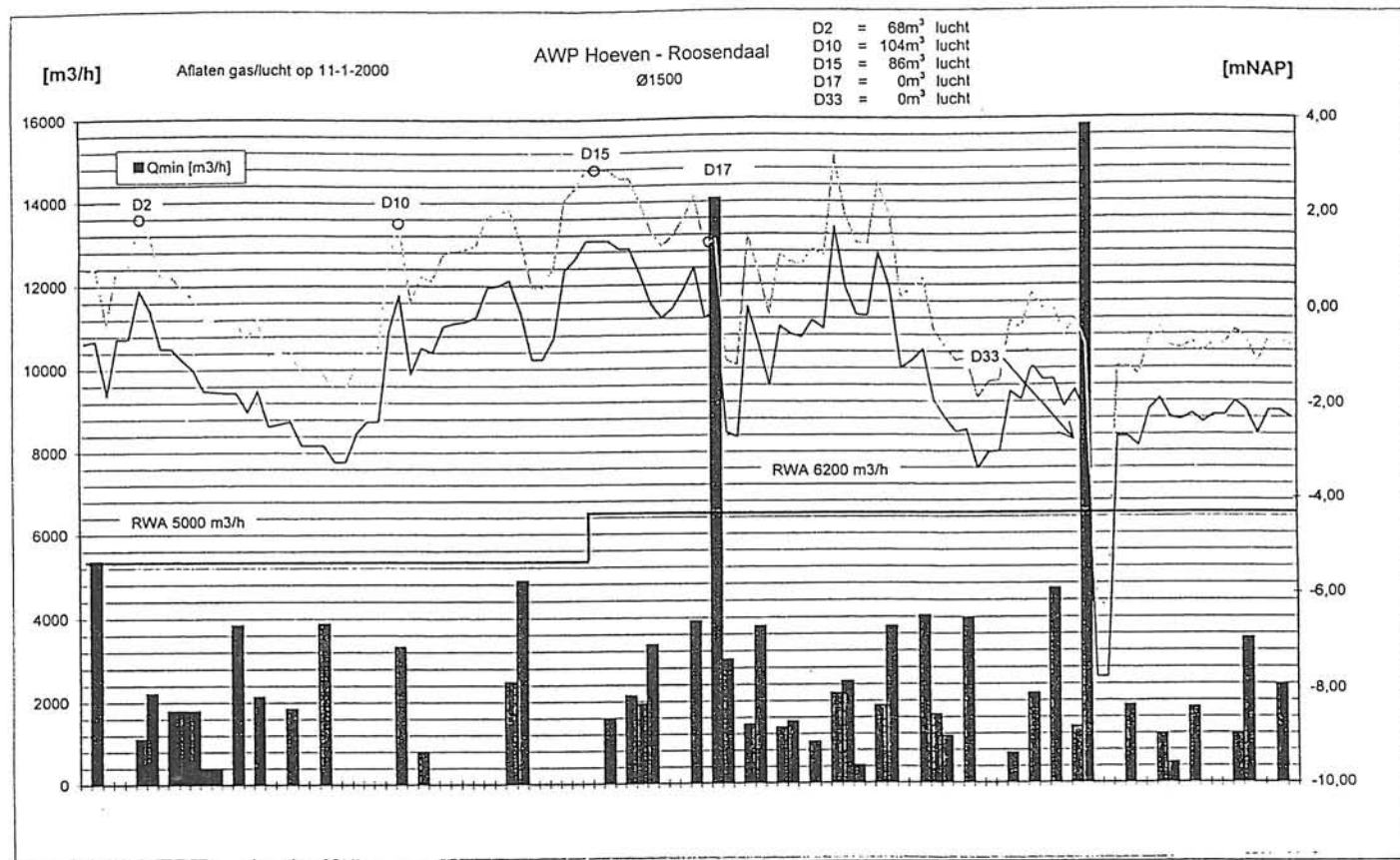
Het sterke wisselen van de <hoge> weerstand in de AWP kon niet verklaard worden door de slijmlaag op de wand. Door middel van inspecties was inmiddels ook vastgesteld dat op de trajecten met verhoogde weerstand geen bezinking aanwezig was. Als enige oorzaak bleef nu gasinsluiting over en dit zou ook goed passen bij de wisselend meetwaarden van de weerstand. Vervolgens is tussen Hoeven en Roosendaal een traject waar enorm hoge weerstanden worden gemeten, op een drietal hoge punten de Ø 1500 mm AWP ontluicht waarbij op D2, D10 en D15 respectievelijk 68 m<sup>3</sup>, 104 m<sup>3</sup> en 86 m<sup>3</sup> aan gas werd afgelaten. Als toelichting: de opvoerhoogte Δ H in een Ø 1500 mm buis met een λ waarde = 356\*10<sup>-4</sup>, (gemiddelde van min en max meetwaardes), komt overeen met een λ waarde 201\*10<sup>-4</sup> (k=1.5mm) in een Ø 1342 mm buis of een λ waarde 135\*10<sup>-4</sup> (k=0.25mm) in een Ø 1240 mm buis. Door de luchtkappen wordt de diameter als het ware "verkleind" tot resp Ø 1340 of Ø 1240 mm. Niet goed te verklaren is echter dat bij D17 en D33, die gelegen zijn voor de steilste hellingen in het lengteprofiel, juist helemaal géén gas werd aangetroffen.

Component Gasanalyse D15 op 15-3-2001	eenheid	resultaat	buiten lucht (referentie)
methaan (CH <sub>4</sub> )	vol%	0,65	2*10 <sup>-4</sup>
zuurstof (O <sub>2</sub> )	vol%	1,92	20,9
stikstof (N <sub>2</sub> )	vol%	96,16	78,1
kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	vol%	1,27	0,033
waterstof (H <sub>2</sub> )	vol%	< 0,01	0,5
zwavelwaterstof (H <sub>2</sub> S*)	ppm	0	0

De samenstelling van het gas op D 15 werd onderzocht en hoewel rottingsgassen zoals methaan werden verwacht, werd een hoog stikstofgehalte gemeten. Hieruit bleek dat er vermoedelijk sprake was van luchtinsluiting waardoor het weerstandsprobleem van de AWP in feite een luchtprobleem zou zijn.

De mogelijkheid van luchtinsluiting in de AWP was tot dusver nooit overwogen omdat de persstations zijn voorzien van open buffertorens. Verondersteld werd dat alle meegevoerde lucht uit de persstations hier zou kunnen ontsnappen en niet in de leiding zou worden gevoerd. Ook alle aanvoerende gemalen hebben windketels met ontluichters waar lucht zou kunnen ontwijken. Daarnaast werd verondersteld dat lucht zeker onder RWA condities bij topafvoeren door de waterstroom zou worden meegenomen tot het einde van de leiding.

Alle lucht wordt blijkbaar niet meegenomen, maar een deel blijft achter op hoge punten en veroorzaakt veel weerstand. Om na te gaan of de oorzaak gelegen is in te steile hellingen en/of te lage watersnelheden, is daarop gekeken naar de neerwaartse hellingen van de Ø 1500 mm AWP. Bij iedere helling is met de formule  $v_{\min} \cong 1.23 \sqrt{g \cdot D \cdot \sin \alpha}$  de minimum afvoer berekend die nodig is om lucht mee te nemen. Hieruit blijkt dat onder RWA situaties voldoende snelheid in de leiding aanwezig is om de lucht mee te nemen, maar in de praktijk van de AWP blijkt dat dit niet of onvoldoende het geval is, zie grafiek 2.



Grafiek 2

De Ø 1500 mm AWP tussen Hoeven en Roosendaal. Horizontaal is weergegeven het maximum debiet dat op dit moment door de leiding wordt afgevoerd. Bij de neerwaartse hellingen is een staafdiagram  $Q_{\min}$  [m<sup>3</sup>/u] weergegeven; het debiet waarbij de snelheid groot genoeg zou moeten zijn volgens  $v_{\min} \approx 1.23 \sqrt{g \cdot D \cdot \sin \alpha}$ , om het gas mee te voeren.

### Onderzoek naar lucht in leidingen

Met dit nieuwe inzicht zijn meerdere "probleem" leidingen in het beheersgebied van HWB onder de loep genomen en is een begin gemaakt met een onderzoeksprogramma om de omvang van het luchtprobleem in kaart te brengen. Naast leidingen met veel weerstand zijn er ook die voldoen aan de "ontwerp" weerstand en wonderlijk genoeg ook een aantal leidingen met weinig tot zeer weinig weerstand.

Om de verschillen te verklaren kunnen er drie gevallen worden onderscheiden:

- Er komt (in het rioolgemaal of daarna) lucht in de persleiding die geheel of gedeeltelijk in de leiding blijft.
- Er komt (in het rioolgemaal of daarna) lucht in de persleiding die wordt meegevoerd tot einde leiding
- Er komt (in het rioolgemaal of daarna) geen lucht in de persleiding;

Het onderzoek heeft zich vervolgens gericht op de twee vragen:

- A Hoe komt lucht in een persleiding?  
 B Hoe gaat lucht uit een persleiding?

Meer kennis en inzicht is nodig *hoe* lucht wordt ingesloten in het afvalwater; onder welke condities *blijft* lucht in het afvalwater om pas later in de persleiding te ontwijken; en tenslotte onder welke condities wordt lucht *niet meegenomen* door de waterstroom.

Daarop is een begin gemaakt met het bestuderen van het luchttechnisch ontwerp van rioolgemalen en persleidingen en is ook op locatie nagegaan hoe een en ander in de praktijk functioneert. Tekeningen van rioolgemalen en persleidingen zijn bekeken om verschillen te ontdekken tussen systemen waarbij veel weerstand in de persleiding



wordt gemeten en systemen met (zeer) weinig weerstand. Aan de hand hiervan zijn mogelijkheden geïnventariseerd en een aantal mechanismen verondersteld die een verklaring zouden kunnen geven hoe lucht in een persleiding komt en blijft en hoe lucht uit een persleiding verdwijnt.

## A Hoe komt lucht in een persleiding

### • *Mechanisme lucht 1:*

Rioolgemalen werken (meestal) **discontinu** en afvalwater wordt verpompt met een debiet dat wisselt tussen DWA en RWA. Bij droog weer aanvoer (DWA) dat circa 7500 uur per jaar en 300 dagen per jaar plaats vindt, kunnen de pompen 50 tot 150 keer *per dag* starten en stoppen. Bij starten van de pomp blijkt dat lucht in de leiding kan worden gedrukt als het uitslagpeil van de pomp onder de terugslagklep is gelegen en de ontluchting niet op de juiste plaats is aangebracht. (bijlage foto 4) In ongunstige gevallen kan 5 tot 35 liter lucht tussen de ontluchting en terugslagklep worden opgesloten. Bij starten van iedere pompcyclus wordt dit luchtvolume in de leiding gedrukt als de terugslagklep opengaat. *Dit is per dag dus 250 tot 1000 liter lucht.* Dit veroorzaakt een serieus luchtprobleem in de leiding wanneer deze lucht niet door de waterstroom wordt meegenomen.

### • *Mechanisme lucht 2:*

In de vuilwaterkelder kan lucht in het afvalwater worden gebracht door overstortend water (bijlage foto 5), sproeiende ontluichtingsleidingen en wild stromende slingergoten (bijlage foto 6). Dit lucht/water mengsel wordt door de pomp opgezogen, gecomprimeerd en in de leiding gebracht. Wellicht lost hierbij lucht op in het water (wet van Henry) als gevolg van een hogere druk. De zuurstof wordt verbruikt en de stikstof ontwijkt wanneer de druk in de leiding stroomafwaarts lager wordt.

### • *Mechanisme lucht 3*

Bij een niet goed afgestelde of niet goed geconstrueerde ontluchting kan bij het uitslaan van de pomp door de waterstroom die nog in beweging is lucht in de persleiding worden gezogen.

### • *Mechanisme lucht 4*

Bij een onjuist gedimensioneerde zuigmond of een te laag afgesteld uitslagpeil van de pomp kan lucht via de zuigmond in de pomp gezogen worden.

### • *Mechanisme lucht 5*

Lucht kan buiten het rioolgemaal door een (open) ontluichter-beluchter in de persleiding worden gezogen.

## B Hoe wordt lucht uit een persleiding verwijderd

### • *Door een ontluchting vóór de terugslagklep*

Deze ontluchting in het leidingwerk moet zorgen dat het luchtvolume dat zich tussen terugslagklep en uitslagpeil bevindt, kan ontwijken bij het starten van de pomp.

### • *Door een ontluchting op de verzamelersleiding*

De ontluchting op de verzamelersleiding in het rioolgemaal zal wellicht functioneren voor lucht geproduceerd onder mechanismes 1 en 3, maar blijkbaar niet geproduceerd volgens 2 en 4.

### • *Bij een buffertoren/ windketel*

Lucht kan ontsnappen via de buffertoren of de windketel, maar afvalwater waarin lucht volgens mechanisme 2 is opgesloten wordt door de pomp gecomprimeerd en laat deze lucht niet meer zo makkelijk los, zelfs als er een (open) buffertoren aanwezig is (zie AWP). *Dit zou nader onderzocht moeten worden.*

### • *Door voldoende watersnelheid.*

Lucht wordt meegesleurd in een neerwaartse helling van de persleiding als de snelheid groter is dan  $V_{\min}$ . Vraagtekens moeten echter worden gezet of lucht ook wordt meegesleurd in persleidingen met grotere diameters ook al voldoen watersnelheid en helling aan de formule:  $v_{\min} \cong 1.23 \sqrt{g \cdot D \cdot \sin \alpha}$ . *Dit zou nader onderzocht moeten worden.*

### • *Door ontluichters op de leiding*

Via (automatische) ontluichters op de leiding. Door vet, vuil en vaste delen verstopping en/of corroderen deze ontluichters waardoor ze niet meer functioneren. *Onderzocht zou moeten worden hoe de werking hiervan verbeterd zou kunnen worden.*

## Commentaar

### *Luchtintrede*

Bij rioolgemaal van het HWB zijn de mechanismen 1 t/m 3 in de praktijk vastgesteld. Vervolgens hebben wij de conclusie getrokken dat deze drie zeer waarschijnlijk de oorzaak zijn van de verhoogde weerstand. Op foto 4 is een ongelukkig geplaatste ontluchting van een pomp te zien, waarbij 35 liter lucht tussen ontluchting en terugslagklep kan worden opgesloten. In werkelijkheid zal het water enigszins blijven "hangen" op de onderdruk en zal het luchtvolume daardoor <veel> kleiner zijn.

Luchtintrede door een te laag inslagpeil of onjuist gedimensioneerde zuigmonden volgens mechanisme 4 is niet vastgesteld omdat hier bij het ontwerp meestal voldoende aandacht aan wordt gegeven. Ook zijn metingen verricht aan een ontluchter-beluchter buiten het persstation Moerdijk waar de Ø 800 mm AWP een dijk kruist. Aanzuigen van lucht volgens mechanisme 5 is hier niet waargenomen.

Als lucht in het rioolgemaal in de leiding wordt gebracht en niet alle lucht wordt door de waterstroom meegenomen door een ongunstig lengteprofiel van de leiding, dan zal de weerstand snel toenemen als er veel lucht wordt ingebracht. In het geval er weinig lucht wordt ingebracht zal de weerstand langzaam toenemen, waarschijnlijk tot een maximum waarde. Het is een kwestie van tijd. De maximum waarde zal afhangen van de maximum hoeveelheid lucht die een bepaalde leiding bij een bepaalde watersnelheid kan vasthouden.

### *Luchtverwijdering*

Bij de Ø 250 mm PVC transport leiding van Lepelstraat naar Wouw is vastgesteld dat de capaciteit van de pomp na een regenbui met circa 10% toeneemt, vermoedelijk omdat de weerstand van de leiding afneemt door het uitdrijven van lucht.

De Ø 800 mm AWP houdt waarschijnlijk lucht vast bij een snelheid van 1,20 m/s en de Ø 1500 mm AWP zelfs bij een snelheid van 1,80 m/s.

De zeer grote luchtweerstand in de Ø 1500 mm AWP tussen Hoeven en Roosendaal kan veroorzaakt worden doordat veel gemalen op deze leiding injecteren, en hun bijdrage aan lucht leveren. Omdat de snelheid van 1.00 m'/sec in dit AWP traject betrekkelijk laag is, zou dit een verklaring kunnen zijn voor de grote hoeveelheid lucht die is vastgesteld bij de inspecties.

### **Effect van continu afvoer/pompbedrijf**

Omdat het *discontinu* pompen van een rioolgemaal blijkbaar voor luchtproblemen kan zorgen, is gezocht naar rioolgemaal en/of leidingen waar het water *continu* wordt afgevoerd. In deze leidingen zou wellicht een lagere weerstand gevonden kunnen worden. In de AWP worden deze lagere weerstanden inderdaad gevonden op twee trajecten, de leiding Bergen op Zoom -rwzi Bath en de effluentleiding van de rwzi Bath.

#### *Ø 1500 mm AWP Bergen op Zoom -rwzi Bath*

In het persstation Bergen op Zoom is een bijpass aanwezig waardoor bij droogweer continu 4.000 m<sup>3</sup>/u aan afvalwater wordt afgevoerd. Het mechanisme van lucht 1 komt dus niet voor, maar dat van lucht 2 zou wellicht aanwezig kunnen zijn ten gevolge van een neerstortende straal. Deze straal kan weliswaar geen *verse lucht* aanvoeren, maar neemt wellicht toch extra gas mee. *Dit dient nader onderzocht te worden.*

#### *2xØ 1500 mm AWP effluentleiding van de rwzi Bath*

Op de rwzi Bath wordt het gezuiverde afvalwater aangevoerd door een effluent verzamelsloot en zijn de pompen continu in bedrijf om het water naar Waarde af te voeren. De luchtmechanismes 1, 2, 3, 4 en 5 kunnen hier niet voorkomen. De condities lijken hier het meest op het continue transport van schoonwater leidingen. Uitgebreide veldmetingen van WAT LAB in 1996 hebben zeer lage waarden aangetoond. Ook in deze leiding is een slijmlaag van circa 5 mm aanwezig. Aangenomen wordt dat er hydraulisch geen verschil is tussen het transport van schoonwater en van afvalwater en dat de problemen van verhoogde weerstand blijkbaar worden veroorzaakt door luchtinsluitingen.

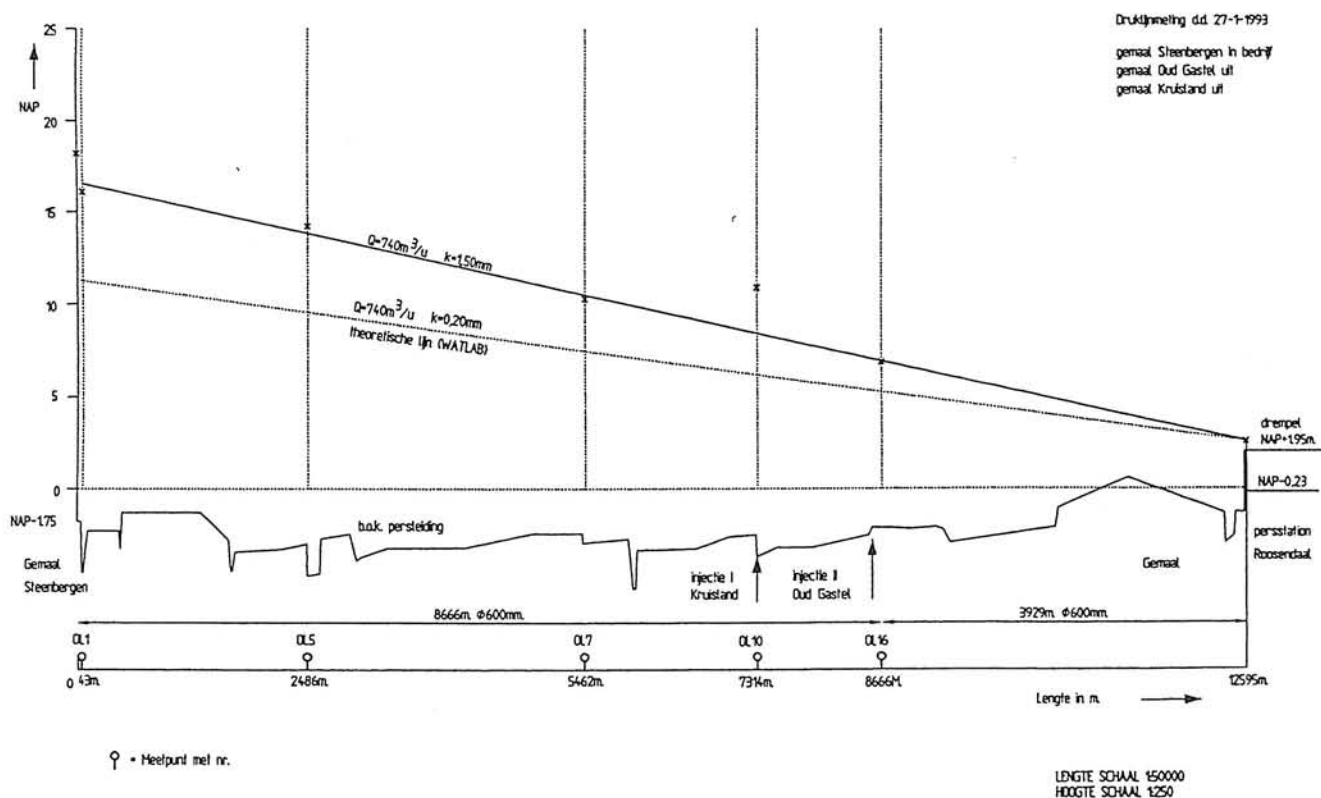
### **Extra energiekosten door de verhoogde weerstand**

Door de verhoogde weerstand van de persleiding moeten de pompen extra opvoerhoogte leveren voor het transport van het afvalwater waarvoor extra energie nodig is. Om een idee te krijgen van de ordegrootte, zijn voor het rioolgemaal Steenberg de extra energiekosten berekend die veroorzaakt worden door de weerstand van  $k=1,5$  mm in de Ø 600 mm persleiding (tabel 2). De druklijn is in grafiek 3 weergegeven.

De extra kosten zijn berekend met de formule:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_p \cdot H \cdot t_b \cdot 10^{-3}}{\eta}$$

- N = energieverbruik per jaar (kWh/a)
- $\rho$  = dichtheid van de vloeistof (kg/m<sup>3</sup>)
- g = de versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>)
- Q<sub>p</sub> = capaciteit van het gemaal
- H = opvoerhoogte (m)
- t<sub>b</sub> aantal bedrijfsuren per jaar
- $\eta$  = rendement van het gemaal



Grafiek 3

Druklijn persleiding Steenberg-Roosendaal bij ontwerpweerstand  $k = 0,20$  mm en bedrijfsweerstand  $k = 1,5$  mm

Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het energieverbruik tijdens afvoer bij droogweer en bij regenweer. In het jaar 2000 is 121.740 kWh aan energie verbruikt waarvoor € 19.235 moest worden betaald. Wanneer de weerstand van de leiding blijvend daalt van  $k=1,5$  mm naar de ontwerpwaarde  $k=0,20$  zou slechts 83.059 kWh aan energie nodig zijn voor deze afvoer. Dit levert een **besparing van 30% aan energiekosten** op, overeenkomend met € 6.020. Een weerstand van  $k=1,5$  mm is eerder regel dan uitzondering bij persleidingen in het beheersgebied van het HWB. Bij veel rioolgemalen valt dus winst te behalen als de ontwerpweerstand kan worden behouden of weer kan worden bereikt als het lukt om de juiste maatregelen daarvoor te ontwikkelen en operationeel te maken. Te denken valt aan schoonhouden van de leiding en het voorkomen van luchtinsluiting.

### Onderzoek naar verbeteringen

Door het HWB wordt op dit moment onderzocht op welke wijze kan worden voorkomen dat lucht via rioolgemalen in de persleidingen komt. Voordat besloten wordt om rioolgemalen aan te passen zal eerst een onderzoek worden welke maatregelen daartoe geschikt. Voor dit onderzoek zijn een aantal leidingen met hoge weerstand geselecteerd en zijn rioolgemalen geïnspecteerd. Eerst zal de bestaande situatie met hoge weerstand worden gemeten. Dan zal met foampigs alle lucht uit de leiding worden verdreven en volgt een tweede meting. Vervolgens zal worden gewacht hoe snel de leidingweerstand weer toeneemt. Zo kan het verschijnsel goed in beeld worden gebracht. Daarna kunnen aanpassingen worden uitgevoerd om de intrede van lucht te voorkomen, te verminderen of te verwijderen die kostenefficiënt zijn. Simpele beheersmaatregelen zullen soms in enkele gevallen ook het gewenste resultaat kunnen geven: door verhoging van het uitslagpeil zal het ontstaan van een luchtvolume tussen pomp en terugslagklep kunnen worden voorkomen. Verder zouden sproeiende ontluichtingsleidingen kunnen worden aangepast.

### Proef Roosendaal

In het persstation Roosendaal wordt inmiddels een proef uitgevoerd om het insluiten van lucht door overstortend water en slingergoten te elimineren. Daartoe is het waterpeil in de vuilwaterkelder verhoogd om zo de **valhoogte te reduceren** en de **verblijftijd voor ontgassing te verlengen**. De opzet van de proef is om de toevoer van lucht via de vuilwaterkelder te stoppen. Verwacht wordt dat na een aantal zware buien de nog aanwezige lucht in de AWP afgevoerd zal worden. Na deze buien zou dan de weerstand moeten dalen omdat er geen aanvoer van nieuwe lucht plaats vindt.

Gedurende de looptijd van de eerste proef zijn een aantal topafvoeren gepasseerd, maar de weerstand is slechts gedaald van  $\lambda=213 \cdot 10^{-4}$  naar  $\lambda=203 \cdot 10^{-4}$  of van  $k=2,13\text{mm}$  naar  $k=1,75\text{mm}$  zoals in grafiek 1 is aangegeven. De voorlopige conclusie is dat kennelijk toch nog lucht in de persleiding is gebracht, en dat de verhoging van het waterpeil onvoldoende was. In een poging om alsnog het gestelde doel te bereiken is voor een tweede proefperiode op 24-1-02 de waterstand verder verhoogd tot een peil dat voor de bedrijfsvoering nog acceptabel is. Het resultaat hiervan is nog niet bekend.

Tabel 1: Gemeten weerstanden in de AWP. afvoer discontinu en continu.

traject AWP betonbuizen ontwerp $k=0.25\text{ mm}$	AWP mm	Lengte km	v max m/sec	$\lambda \cdot 10^{-4}$ ontwerp = 100%	$\lambda \cdot 10^{-4}$ gemeten	k mm gemeten	variaties $\lambda$ waarde $\cdot 10^{-4}$	bedrijf	oorzaak
Moerdijk-Hoeven	Ø 800	8,3	1,20	150	483 = 322 %	16,60		discontinuu	scaling+lucht
Moerdijk-Hoeven	Ø 800	8,3	1,20	150	255 = 170 %	2,50	207-255	discontinuu	lucht
Hoeven-R'daal	Ø 1500	10,5	1,00	130	429 = 330 %	20,00	283-429	discontinuu	lucht
R'daal-BoZoom	Ø 1500	8,7	1,80	130	200 = 154 %	1,50	177-200	discontinuu	lucht
R'daal-BoZoom	Ø 1500	5,8	0,90	130	250 = 192 %	2,50	210-250	discontinuu	lucht
BoZoom C stuk	Ø 1500	5,0	1,15	130	123 = 94 %	0,17	**	continu	nulmeting
BoZoom-C stuk	Ø 1500	5,0	1,15	130	169 = 130 %	0,83	164-169	continu	bypass BoZoom
C stuk – drukput	Ø 1500	3,6	2,30	130	169 = 130 %	0,83		continu	bypass BoZoom
rwzi - Waarde	Ø 1500	12,9	1,25	130	130 = 94%	0,17		continu	effluent

Tabel 2: Gemeten weerstanden van andere leidingen. afvoer continu en discontinu

transportleiding	materiaal en Øi mm	Lengte km	v max m/sec	k ontwerp	$\lambda * 10^{-4}$ ontwerp = 100%	$\lambda * 10^{-4}$ gemeten	k mm gemeten	variaties $\lambda$ waarde $* 10^{-4}$	
Leur-Nieuwveer	G.IJ. Ø 700	6,2	1,30	0,25	154	134 = 87 %	0,13	110-134	
Rijsbergen-Nieuwveer	PVC Ø 593	11,9	1,20	0,75	200	143 = 71 %	0,15	143	**
Steenbergen-Roosendaal	AC Ø 600	12,6	0,80	0,20	155	152 = 98 %	0,19	152	nul meting
Steenbergen-Roosendaal	AC Ø 600	12,6	0,80	0,20	155	277 = 179 %	1,50-2,20	248-277	bedrijfs weerstand
Oudenbosch-Hoeven	AC Ø 600	3,4	0,95	0,20	155	174 = 111 %	0,34	172	**
Zevenbergen-Moerdijk	AC Ø 600	4,9	1,08	0,25	160	300 = 187 %	2,90	300	**
Lepelstraat-Wouw	PVC Ø 235	9,4	0,63	0,50	234	204 = 87 %	0,28	156-204	
Noordhoek-AWP	PVC Ø 150	1,0	1,50	0,10	178	321 = 181 %	0,90	321	**
Kaatsheuvel-Efteling	PVC Ø 188	3,7	0,60	0,06	152	367 = 241%	1,70	367	continu
Dongen-Rijen	AC Ø 700	4,2	0,90	0,40	170	320 = 188 %	4,15	303-320	**
Gilze-vliegbasis	AC Ø 400	3,9	0,97	0,17	160				
vliegbasis-Rijen	PVC Ø 470	3,9	0,96						

\*\* = weinig meetcijfers

De lage weerstanden in leidingen van Leur en Rijsbergen zijn interessant. In bepaalde situaties en onder bepaalde condities lijkt het mogelijk om een goed systeem aan te leggen.

De toegenomen weerstand in de persleiding van de Efteling waar effluent continu wordt verpompt wordt vermoedelijk veroorzaakt door een slijmlaag. De pomp kan geen lucht "happen" omdat de put altijd geheel gevuld is met water. Een interessant onderzoeksobject.

### Meetcijfers

Voor het meten van de debieten is gebruik gemaakt van elektromagnetische flowmeters (Krohne-Persenaire). De onnauwkeurigheid van deze meters is < 1% van de schaal eindwaarde.

De drukken werden aanvankelijk gemeten met manometers die vóór- en ná de meting werden geijkt. Daarbij was op ieder meetpunt langs de leiding een waarnemer nodig om volgens protocol gedurende de test aflezingen te noteren. De voorbereiding en de meting zelf werd met deze werkwijze zeer arbeidsintensief zoals een draaiboek (bijlage) laat zien en dit was de reden waarom dit zelden werd georganiseerd. De laatste jaren wordt met succes gebruik gemaakt van drukdozen met dataloggers die op de meetpunten worden aangebracht en data verzamelen en opslaan gedurende het hele verloop van een testdag. Dit maakt het mogelijk om het juiste moment uit te zoeken waarop het debiet en drukken langs de leiding stabiel zijn zodat de meetcijfers zeer betrouwbaar zijn. Ook wordt door de registratie over langere tijd door de datalogger het naslingeren van de druk in een leiding goed zichtbaar zodat onbegrijpelijke meetwaarden kunnen worden voorkomen. Vooral leidingen waarop toerengeregelde pompen zijn aangesloten zijn moeizaam, omdat iedere toerenwijziging weer een nieuwe golfbeweging in de leiding introduceert, die de meetwaarde beïnvloedt. Een bijkomend voordeel van dataloggers is dat er weinig mankracht nodig is voor een meting en dat ook meetcijfers van grote buien verzameld kunnen worden tijdens de nacht of in het weekend.

Voor het traject Roosendaal - Bergen op Zoom worden alle data van debieten en drukken 24 uur per dag digitaal door het beheersysteem opgeslagen. Meetcijfers worden verkregen door achteraf topafvoeren op te zoeken en de geregistreerde meetcijfers daarvan te noteren.

## Stellingen

- Bij toename van weerstand in een persleiding tijdens de bedrijfsfase kunnen vier factoren een rol spelen.
  1. Slijmlaag op de buiswand: in persleidingen voor huishoudelijk afvalwater vindt altijd aangroei plaats van een biologische slijmhuide, waardoor in de bedrijfsfase de wandruwheid van het gebruikte buismateriaal niet meer bepalend is voor de weerstand van de leiding.
  2. Afzetting op de buiswand : in bepaalde omstandigheden kan afzetting op de buiswand plaats vinden van vet en/of andere soorten scaling zoals  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Al}(\text{OH})_3$
  3. Lucht in de persleiding: de aanwezigheid van lucht in de persleiding kan voor (zeer) veel extra weerstand zorgen.
  4. Bezinking: door zeer lage stroomsnelheden kan bezinking in de leiding optreden. Dit komt echter zeer weinig voor.
- De mogelijke effecten van het discontinu pompbedrijf in een rioolgemaal krijgen te weinig aandacht en de gevolgen ervan worden niet goed begrepen.
- Persleidingen voor afvalwater met een continue afvoer lijken minder last te hebben van luchtweerstand.
- Het luchttechnisch ontwerp van rioolgemalen en persleidingen krijgt geen of onvoldoende aandacht. *Nader onderzoek is gewenst*
- Er zijn sterke aanwijzingen dat vele grotere leidingen lucht vasthouden waarbij een weerstandsprobleem wordt geschapen. Zijn deze leidingen verkeerd gelegd of is de sinus  $\alpha$  formule voor het meevoeren van lucht voor deze diameters niet geldig? *Nader onderzoek is gewenst*
- Automatisch werkende ontlueters in afvalwaterleidingen zijn gevoelig voor verstopping en daardoor onbetrouwbaar. Daarom worden ze bij HWB dan ook niet of nauwelijks toegepast. *Ontwerp van een bedrijfszekere ontluchting is gewenst. Te denken valt ook aan het ontwerpen van een luchtvang met ontluchting,, uitgevoerd als spoelleiding met magneetklep*
- Blijvend verlagen van een hoge bedrijfsweerstand van een persleiding kan een besparing opleveren aan energiekosten in de grootte van 30%.
- Persleidingen van niet te grote diameter ( $< \varnothing 800$  mm) zijn op betrekkelijk eenvoudige wijze goed schoon te maken met foampigs.

## **Conclusie**

Een belangrijke factor die verwaarloosd wordt bij het ontwerpen is dat lucht in de leiding gebracht kan worden wanneer het rioolgemaal **luchttechnisch onjuist** is ontworpen voor een **discontinuu** pompbedrijf. Ook kan lucht worden ingebracht als gevolg van een onjuiste bouw of een onjuiste bedrijfsvoering. Bij een **continu** pompbedrijf zoals bij transportleidingen voor ruwwater en schoonwater is het luchttechnisch juist ontwerpen nauwelijks van belang. De aandacht voor de ontwerpers is altijd gericht geweest op het vermijden van luchttoetreding in verband met het gevaar van waterslag. Niet voor extra weerstand in de leiding, wellicht omdat gerekend wordt op het meevoeren van lucht door uit te gaan van de algemene geldigheid van de formule:  $v_{\min} \cong 1.23 \sqrt{g \cdot D \cdot \sin \alpha}$ . Er is systematisch onderzoek nodig om de mechanismen van luchtinsluiting in rioolgemalen in beeld te brengen zodat het mogelijk wordt om verbeteringen aan te kunnen brengen in *bestaande* systemen.

Bij het ontwerpen van persleidingen bestaat er verwarring over de  $k$  waarde die moet worden toegepast en hier is niemand bij gebaat. Het extra energieverbruik door vervuiling en het belang van schoonmaken van leidingen moet meer aandacht krijgen.

### **Werk aan de winkel**

Te lang heeft de afvalwaterwereld genoeg genomen met onvolledige kennis inzake het fenomeen "Weerstand van persleidingen voor afvalwater in de bedrijfsfase". Uitbreiding van het aantal metingen is gewenst. Ook moet worden nagegaan of bij metingen aan persleidingen van andere beheerders dezelfde effecten aantoonbaar zijn. Vervolgens moeten de richtlijnen voor het ontwerpen van rioolgemalen en persleidingen worden aangevuld voor wat betreft:

- het luchttechnisch juist ontwerpen van rioolgemalen
- aandacht voor het discontinu bedrijf van de pomp
- de k-waardes van persleidingen
- het <mogelijk> toenemen van de weerstand van afvalwaterpersleidingen in de bedrijfsfase
- het meten van druklijnen
- het schoonhouden en schoonmaken van de leiding
- extra energiekosten door toename van weerstand in de persleiding

Dit is een nog ontbrekend hoofdstuk in de vakboeken. De afvalwaterwereld is gebaat bij het aanvullen van ontbrekende kennis op dit gebied. Ook energieleveranciers zijn gebaat bij besparing van energiekosten. Een landelijk onderzoek dat gesteund wordt door de (beheers)organisaties die daar belang bij hebben en er van kunnen profiteren zou hier de gewenste aanpak kunnen zijn. Het onderzoek zou begeleid moeten worden door een team van deskundigen waarin o.a. de TU Delft en de STOWA zitting hebben. *Kortom er is werk aan de winkel.*

Breda, 7-februari 2002

Auteurs:

ir.P.S.Kamma  
ir.F.P.van Zijl

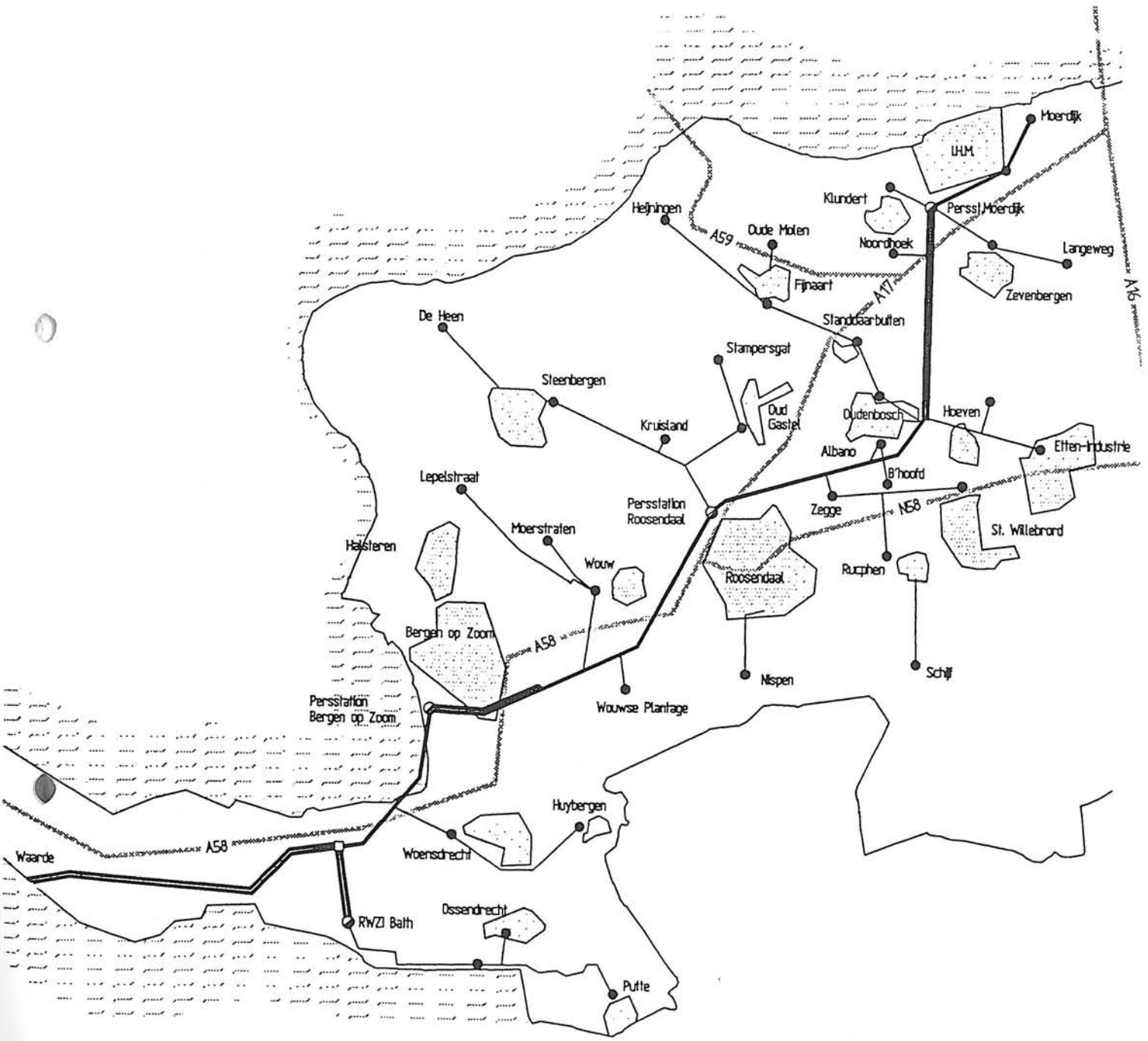
Litteratuur:

**Stromingsweerstand in leidingen** Mededelingen nr 14 (KIWA 1969)  
Prof.ir.L.Huisman

**Inzamelen en transport van rioolwater** (Waltman Delft 1977)  
Prof. Ir.A.C.J.Koot

**Inzamelen en transport van afvalwater** Rioleringstechniek deel 4 (VPB Woerden 1993)  
Prof.ir.J.B.M.Wiggers

**Ontwerppraktijk van persleidingen** (H<sub>2</sub>O van 20-4-1995)  
Ir.P.S.Kamma, Dr.Ir.J.V.Witter, Ir.F.P.van Zijl

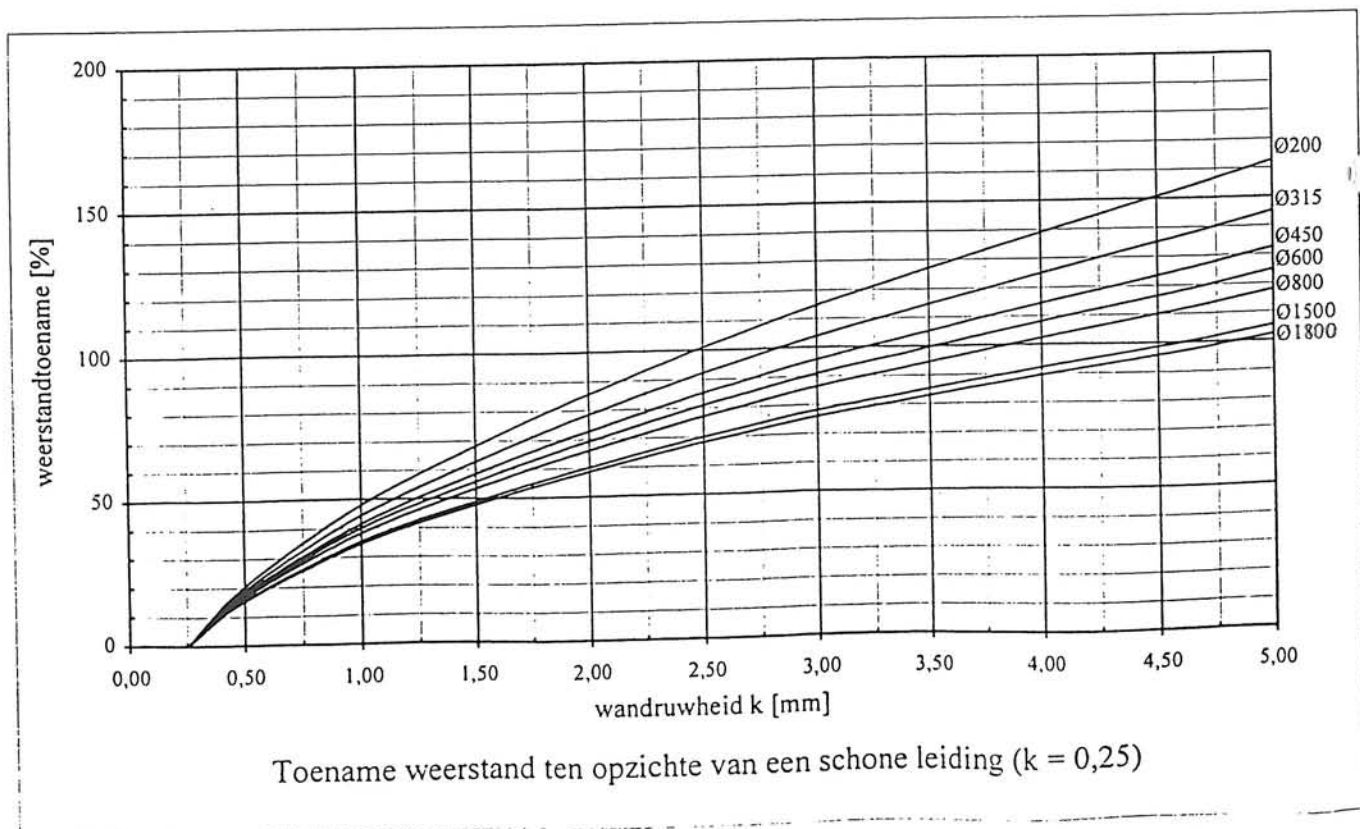
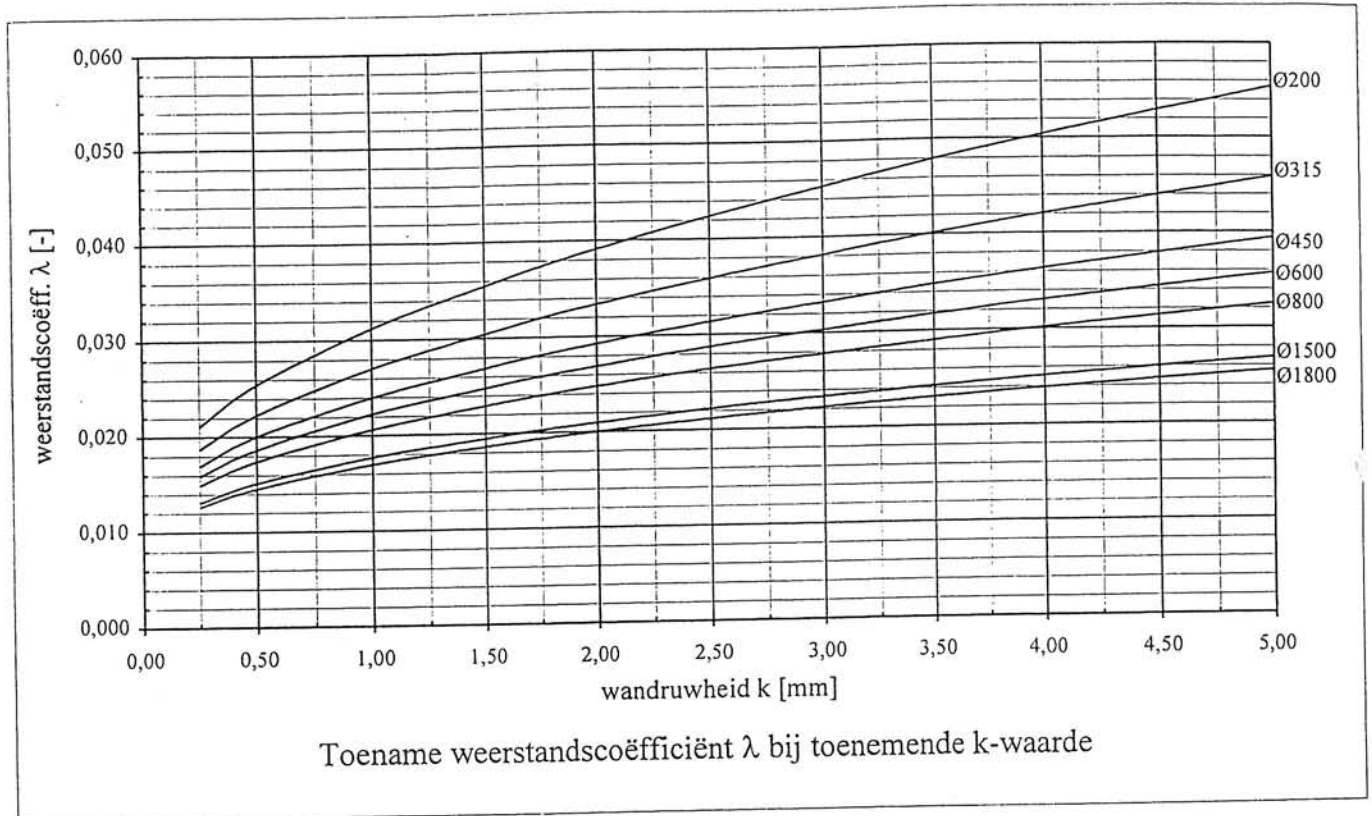


De AWP met verzorgingsgebied



# Toename weerstand persleidingen als gevolg van vervuiling

## Invloed van de k-waarde bij verschillende diameters



wand- ruwheid	getrokken buis van messing, koper en lood	tekening	wand- ruwheid	tekening	wand- ruwheid	tekening	
0,01 mm	<p>plastieken buis van kleine diameter</p> <p>geasfalteerde asbest-cement buis</p> <p>centrifugaal geasfalteerde gecentrifugeerde gietijzeren en naadloos stalen buis</p>	5.3	0,1 mm	<p>asbest-cement buis</p> <p>geschuurde cement</p> <p>hoofdleidingen volgens D.V.G.W.</p> <p>nieuwe verzinkt stalen buis</p> <p>geasfalteerde gietijzeren buis</p>	1 mm	<p>betonbuis</p> <p>gladde draineerleiding</p> <p>beton</p> <p>rechte rioolleiding zonder aansluitingen</p> <p>nieuwe geklonken stalen leiding</p> <p>sterk geroeste naadloos stalen buis</p> <p>gietijzeren buis met lichte pokvorming</p>	5.9
0,02 mm	<p>plastic bekleding</p> <p>geasfalteerde getrokken stalen buis</p> <p>gladde asbest-cement buis</p>	5.4	0,2 mm	<p>licht geroest naadloos stalen buis</p> <p>nieuwe gelaste stalen buis</p> <p>gresbuis</p> <p>nieuwe gecentrifugeerde gietijzeren buis</p> <p>spanbetonbuis</p> <p>gladde rioolleiding, recht en zonder aansluitingen</p>	2 mm	<p>rioolleiding met aansluitingen</p> <p>sterk geroeste gelaste stalen buis</p> <p>poreuse betonnen draineerleiding</p> <p>nieuwe geklonken stalen leiding met overlap</p> <p>ruwe beton</p> <p>sterk geroeste geklonken stalen leiding</p> <p>gietijzeren buis met sterke pokvorming</p>	5.10
0,05 mm	<p>nieuwe naadloos stalen buis</p> <p>spanbetonbuis volgens Freyssinet</p> <p>geasfalteerde gecentrifugeerde gietijzeren en gelaste stalen buis</p> <p>P.V.C. buis van grote diameter</p>	5.5	0,5 mm	<p>matig geroeste naadloos stalen buis</p> <p>gecentrifugeerde cement bekleding</p> <p>gladde rioolleiding met aansluitingen</p> <p>distributieleidingen volgens D.V.G.W.</p> <p>gecentrifugeerde betonbuis</p> <p>nieuwe gietijzeren buis</p> <p>gladde beton</p> <p>matig geroeste gelaste stalen buis</p>	5 mm	<p>sterk geroeste geklonken stalen leiding met overlap</p> <p>gietijzeren buis met zeer sterke pokvorming</p>	5.11

Tekening 5.1 Grootte van de wandruwheid

## Draaiboek druklijnmeting

### Vorbereiding meting

- Onderzoek lengteprofiel waar en hoeveel meetpunten op de leiding gewenst zijn.
- Meetpunten zonodig bijmaken en inspectie in het terrein welke punten daarvoor geschikt (te maken) zijn
- Toegankelijk maken van de meetlocaties (soms opgraven!!)
- Meetpunten geschikt maken voor aansluiting van de meetgevers
- Inmeten van de NAP hoogte van de meetpunten
- Meetgevers selecteren: manometers met juiste meetbereik
- Manometers ijken
- Formulier maken waarop de druklijn is ingetekend en de plaats van de meetpunten.
- Debietmeter controleren: is hij voldoende nauwkeurig

### Meting

- Water sparen voor de meting om tenminste 30 minuten op maximum capaciteit te kunnen pompen.
- Meetpunten ontluchten
- Manometers plaatsen, tenminste 3 en zoveel als nodig voor een bepaald lengteprofiel.
- Tijd afspreken van de metingen: hoeveel metingen, tijdstip en tijdsduur
- Waarnemingsformulieren verstrekken
- Waarnemers gaan naar hun positie langs het tracé (communicatie via GSM ?)
- Data waarneming iedere minuut gedurende 20 minuten
- Tenminste 4 waarnemers: debietmeter + drie manometers

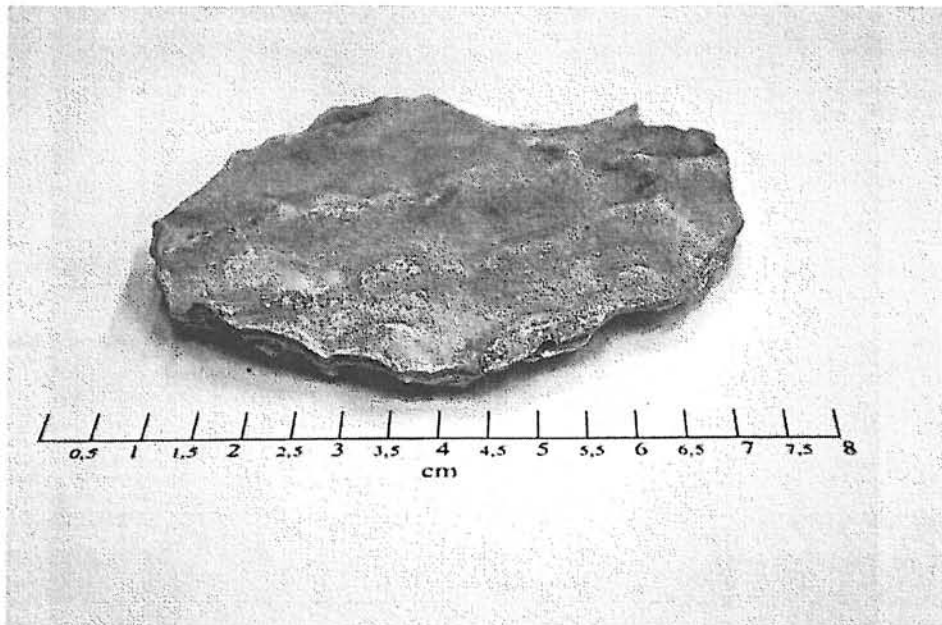
### Uitwerking

- Manometers ijken
- Het tijdstip opzoeken in de waarnemingen dat het debiet en de drukken stabiel zijn.
- De drukken combineren met de NAP maten en punten van de druklijn uitzetten
- de druklijn tekenen op NAP schaal door de punten van de druklijn heen
- Uit de druklijn de  $\Delta H$  bepalen met bijbehorende afstand en debiet
- De  $\lambda$  waarde en de  $k$  waarde berekenen met een speciaal programma

### Minimum eisen voor een goede meting:

Een goede debietmeter / geijkte manometers of geijkte dataloggers / voldoende water om tenminste 30 min te kunnen pompen / meetpunt in het gemaal op uitgaande persleiding / indien mogelijk tenminste 2 meetpunten langs het tracé / perspeil ontvangtpunt. / NAP maat meetpunten bekend

**NB:** Bij gebruik van dataloggers en debietregistratie kan tijdens de meting met één of twee mensen worden volstaan. Veel irritatie en tijd kan bespaard blijven als goede meetvoorzieningen aanwezig zijn, zodat een regelmatige meting (indien gewenst) kan worden opgenomen in het onderhoudsschema.



**Foto 1: Scaling van  $\text{CaCO}_3$  in de  $\varnothing$  800 mm AWP**



**Foto 2: Scaling van  $\text{Al(OH)}_3$  in een  $\varnothing$  600 mm AC buis**



Foto 3: Dikke slijmlaag in een  $\varnothing$  450 mm AC buis

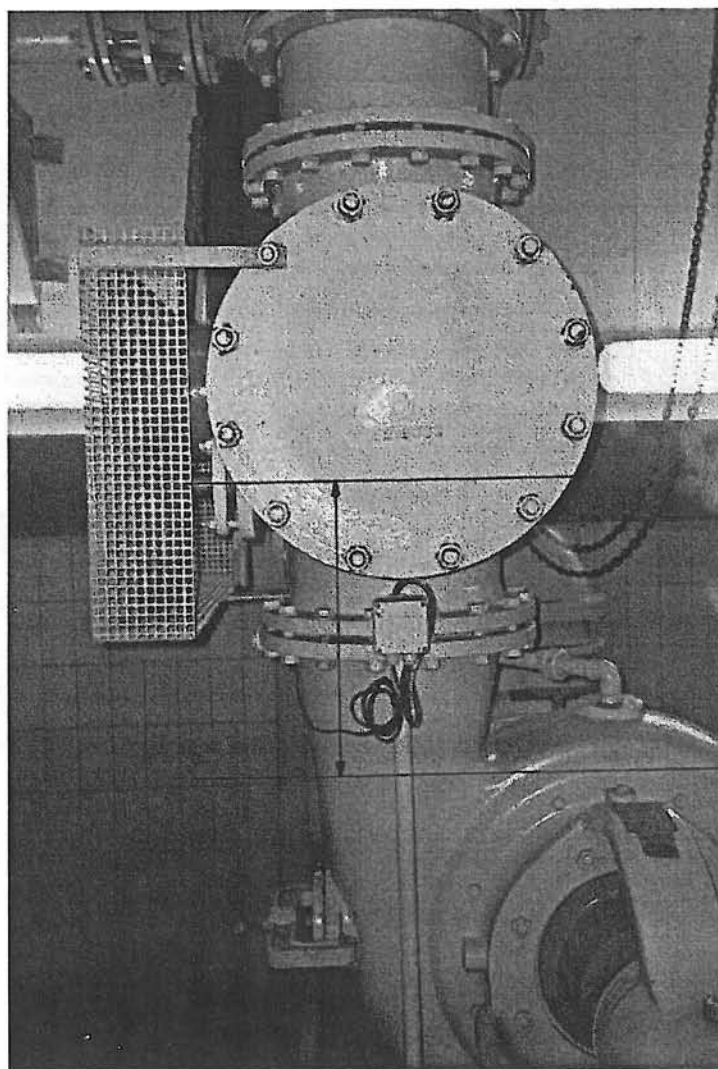
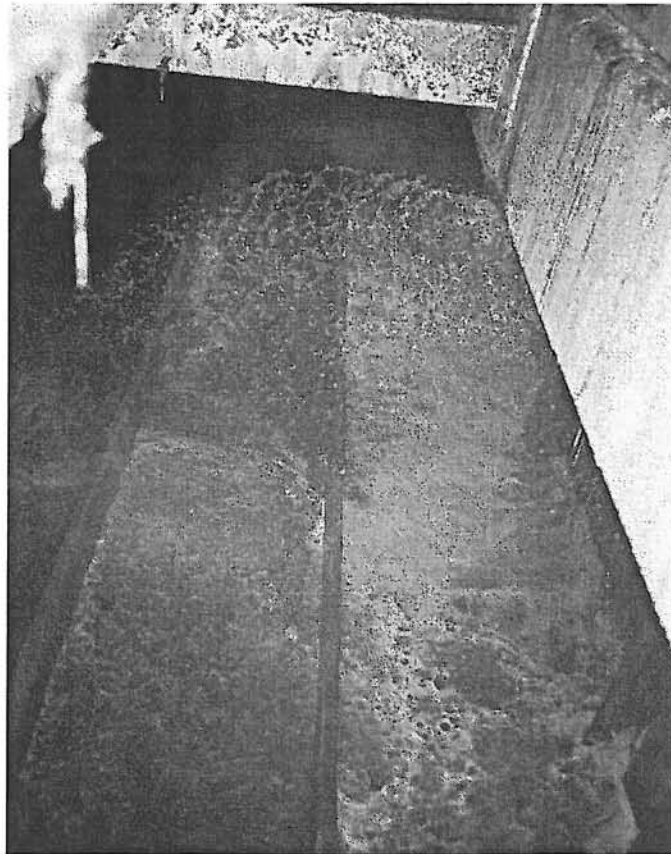


Foto 4: Opsluiten van lucht in een pomp



**Foto 5: Overstort zandvang**



**Foto 6: Sproeiende onluchttingsleidingen**

# The pressure losses of sewer pipeline systems in operation.

## Wall-roughness $k$ , Darcy-Weisbach friction factor, pressure losses of sewer pipeline systems, air in sewer pipeline systems, saving energy

The discharge capacity of sewer pipeline systems is often assumed to be constant, provided that pumping stations provide a constant performance. Often however, this discharge capacity tends to drop from the design capacity after some time. In general the decreased performance goes unnoticed for a long while, as discharge measuring equipment is often unavailable.

The pressure losses of sewer pipeline systems, as indicated by the supplier of the pipes, depends according to most pipe suppliers, solely on the specific wall-roughness. Even designers of sewer pipeline systems often underestimate the fact that, during the operational life of a pipeline, the pipeline-friction tends to increase over time, as bio-film or other scaling forms on the pipe-wall. Little is documented about what wall-roughness can be found in operational sewer pipeline systems.

A ten year period of research and measurements by the "Hoogheemraadschap van West Brabant" has indicated a strong increase of pressure losses in most cases. However, in some cases the actual pressure losses have been equal or less than the designed pressure losses. Apparently, it is possible to design a pumping station and sewer pipeline system with low and constant pressure losses.

The authors show, and argue, that increased pipeline-friction (and the fall in discharge capacity) cannot only be put down to deposition, the forming of bio-film or scaling on the pipe-wall. It is argued that in some sewer pipeline systems entrapped air in the pipeline accounts for most of the increased pipeline-friction. The operational costs spent on energy could be reduced up to 30 %, if pipelines could be kept airless under all conditions.

Apparently, air entrapped in discontinuous operated sewer pipeline systems, does not flow out under all conditions. The article mentions the various ways how air could appear in, and disappear out of sewer pipeline systems.

The authors conclude that too little is known about the way how the discharge capacity of sewer pipeline systems is affected by air-entrapment and by the forming of bio-film or other scaling forms on the pipe-wall, over time. They recommend further study and research on the topic, which should lead to better guidelines for the design of pumping stations and sewer pipeline systems.