Handreiking inventarisatie en inspectie persleidingen

Cornelis de Haan, (Partners4UrbanWater), Jeroen Langeveld (Partners4UrbanWater/TU Delft), Wybo Kuperus (Gemeente Rotterdam), Rien van Wanrooy (Waterschap Brabantse Delta), Ton Beenen (Stichting RIONED)

In Nederland ligt ruim 13.000 kilometer persleiding. Een groot deel van de persleidingen in Nederland stamt uit de jaren '70 en nadert het eind van de beoogde levensduur.
Het inspecteren van persleidingen is, anders dan bij vrijvervalriolering, (nog) geen routinematige activiteit van de leidingbeheerders. Het belang hiervan zal in de komende jaren toenemen. Om dit te faciliteren is een handreiking ontwikkeld voor inventarisatie en inspectie van persleidingen [1]. Dit artikel beschrijft de opzet en achtergronden van deze handreiking.

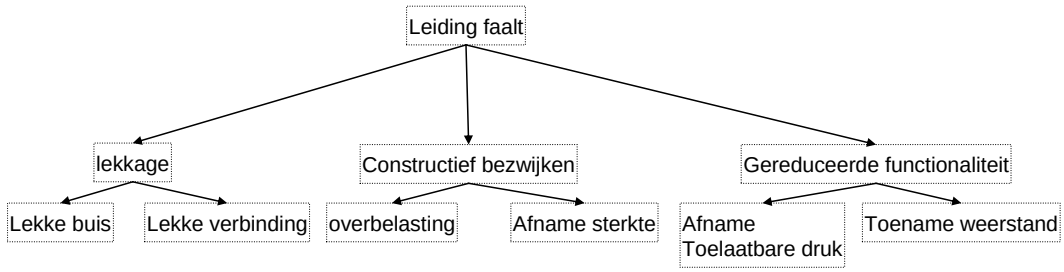
Persleidingen transporteren het via vrijvervalstelsels ingezamelde afval- en regenwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). In Nederland ligt ruim 13.000 kilometer persleiding, waarvan ongeveer 60% in beheer bij waterschappen en 40% bij gemeenten. Een groot deel van de persleidingen in Nederland stamt uit de jaren '70 en afhankelijk van de beheerfilosofie van de leidingbeheerder zijn deze leidingen nu op de helft of op het eind van de beoogde levensduur.
Het inspecteren van persleidingen is, anders dan bij vrijvervalriolering, (nog) geen routinematige activiteit van de leidingbeheerders. Het gebrek aan dubbel uitgevoerde transportroutes en toegangsmogelijkheden, het ontbreken van een 'one-size-fits-all'-inspectietechniek en het ontbreken van een acute noodzaak vormen hiervoor de belangrijkste verklaringen. Dat de echte noodzaak nog ontbreekt, volgt onder meer uit een analyse van de aantallen faalgebeurtenissen van persleidingen in Nederland. De faalfrequentie blijkt rond de 1 per 100 km persleiding per jaar te liggen. Ter vergelijking: de storingsfrequentie van drinkwaterleidingen ligt rond de 6 per 100 km drinkwaterleiding per jaar [2]. Het woordgebruik omtrent falen van de leiding verschilt overigens nogal per sector. Bij drinkwaterbedrijven spreekt men van storingen, terwijl gemeenten en waterschappen vaak spreken van incidenten of zelfs calamiteiten.
Desondanks is de kans reëel dat het aantal faalgebeurtenissen per kilometer per jaar met een stijgende leeftijd van de leidingen gaat toenemen. Daarnaast zorgt de introductie van assetmanagement voor een toegenomen aandacht voor risico's die samenhangen met het falen van persleidingen. Dit maakt dat de inspectie van persleidingen de komende jaren aan relevantie zal winnen. Om dit te faciliteren is een handreiking ontwikkeld voor inventarisatie en inspectie van persleidingen. Dit artikel beschrijft de opzet en achtergronden van deze handreiking.

Analyse faalmechanismen

Onder het 'falen' van een leiding wordt verstaan het niet meer volledig voldoen aan de specificaties ten aanzien van lekdichtheid, constructieve sterkte en hydraulisch functioneren. Deze definitie is breder dan in veel literatuur, waarin alleen lekkage en constructief bezwijken als falen worden gezien. De nu gehanteerde definitie sluit hierbij wel aan op de in SUF-SAS gehanteerde definitie van falen, waarbij ook gedeeltelijk falen ('pompen op halve kracht') als falen wordt gezien [3]
Voor de afbakening is gekozen voor een insteek die zich beperkt tot de leiding en de verbindingen. Bijzondere constructies, zoals afsluiters, ontluchters, waterslagvoorzieningen en gemalen kennen andere faalmechanismen en vragen uiteindelijk om geheel andere inspectiemethoden. Deze bijzondere constructies vallen buiten de scope van deze studie.
De inventarisatie van faalmechanismen is uitgevoerd op basis van (i) workshops met medewerkers van de gemeente Rotterdam, (ii) interviews, (iii) literatuur en (iv) uitgewerkte vragenlijsten. Dit heeft geleid tot een lijst van mogelijke faalmechanismen. Om deze systematisch te kunnen analyseren zijn de faalmechanismen verwerkt in een foutenboom. Hierbij is voor de eenvoud geen formele notitie aangehouden, maar zijn de gebeurtenissen tussen basisgebeurtenis (de 1^{e} aanleiding) en topgebeurtenis (falen) met een eenvoudige pijl verbonden.

Afbeelding 1 geeft een overzicht van de bovenkant van de foutenboom, waarin de drie vormen van falen, lekkage, bezwijken en hydraulisch functioneren, zijn opgenomen.

- Lekkage kan worden veroorzaakt door een lekke buis of een lekke verbinding. Een lekke buis kan vervolgens weer worden veroorzaakt door een scheur of gat of juist door poreus materiaal.
- Constructief bezwijken kan worden veroorzaakt door overbelasting, al dan niet gecombineerd met een afname van de sterkte van de leiding.
- Gereduceerde (hydraulische) functionaliteit hangt samen met een afname van de toelaatbare druk of een toename van de weerstand.



Afbeelding 1. Opbouw foutenboom

Afbeelding 2 geeft de volledige foutenboom weer. Deze is voor het overzicht aan het einde van dit artikel opgenomen.

Falen is veelal het gevolg van een combinatie van factoren, hoewel het in de praktijk moeilijk is om de daadwerkelijke combinatie van oorzaken te achterhalen. Dit maakt het kwantificeren van de bijdrage van verschillende factoren op basis van historische faalgebeurtenissen lastig. In de foutenboom is met rode getallen weergegeven hoe vaak een gebeurtenis is genoemd door respondenten en in de vragenlijst (zie afbeelding 2). Deze rode getallen bieden een eerste aanzet voor het verkennen van het relatieve belang van de verschillende gebeurtenissen voor falen en daarmee uiteindelijk voor een inspectie- en onderzoeksplan.

De meest genoemde oorzaken van falen zijn:

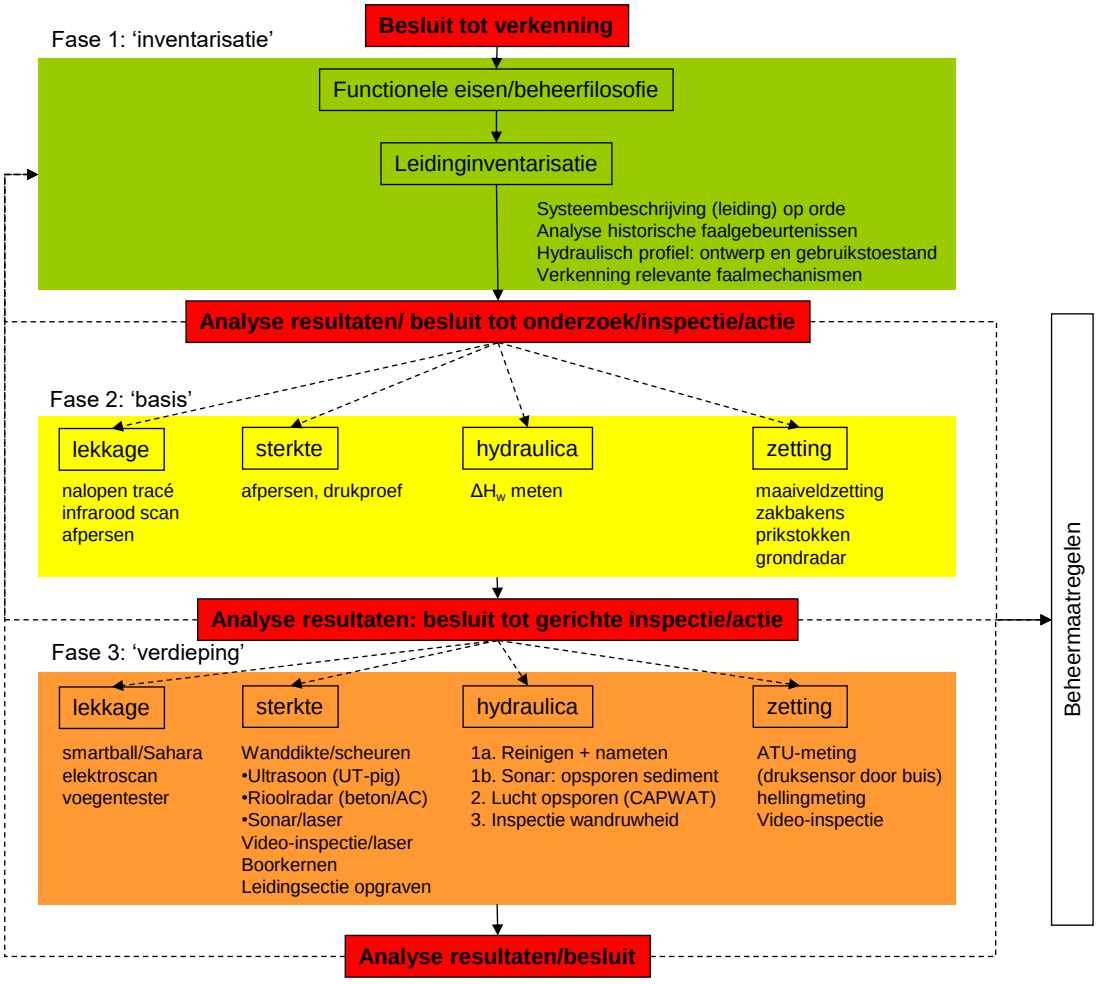
1. (grond-)werkzaamheden van derden nabij leidingen (met stip op 1, dit wordt ook bevestigd door internationale literatuur [4])
2. **buismateriaal**
3. onjuiste bediening van afsluiters
4. **ongelijke zetting**
5. **overbelasting (hydraulisch)**
6. overbelasting door verkeer
7. **lekkage**

Alleen de **vetgedrukte** gebeurtenissen zijn via inspectie- en onderzoeksmethoden in beeld te krijgen en te volgen. De overige gebeurtenissen vragen specifieke aandacht bij de uitvoering van werken, handleidingen en toezicht op de bediening van afsluiters en het bewaken van de verkeersbelasting.

Beoordelingsmodel persleidingen: Inspectie en onderzoeksmethoden

Afbeelding 3 geeft een stappenplan voor het onderzoek en de inspectie van persleidingen. Bij het opstellen van dit stappenplan zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- voordat wordt overgegaan tot inspectie is het noodzakelijk om eerst het systeem goed te kennen;
- inzet technieken van grof naar fijn: dus eerst onderzoeken of er überhaupt lekkage is voordat wordt gezocht naar de locatie van de lekkage;
- onderverdeling van technieken op niveau 'basis' en 'verdieping'. Technieken op niveau 'basis' zijn materiaalonafhankelijk, vereisen niet dat de leiding droog wordt gezet en zijn extern, oftewel vereisen geen 'spullen' in de leiding;



Afbeelding 3. Stappenplan beoordeling persleidingen

Het stappenplan in afbeelding 3 is gericht op het ondersteunen van de afweging tussen de benodigde inspanningen voor onderzoek en inspectie en het beperken van de risico's van falen. Dit houdt in dat de beheerder na elke stap via de balk 'besluitvorming' kan besluiten tot niets doen, het bijstellen van de functionele eisen (bijvoorbeeld verlaging van maximale werkdruk of debiet), nader onderzoek, of direct overgaan tot maatregelen, variërend van reparatie tot vervanging.
Gezien de leeftijd van veel leidingen en het feit dat tot nu toe vrijwel geen reguliere inspecties hebben plaatsgevonden, zal het doorlopen van het stappenplan van de fase 'inventarisatie' en waar nodig delen van niveau 'basis', het karakter krijgen van een 'nulmeting', die inzicht moet geven in de huidige staat.

Fase 1. Inventarisatie
Om de stappen in fase 1 gestructureerd te doorlopen, is een Excel-invulformulier gemaakt (zie www.riool.net). Dit formulier wordt bij voorkeur per hydraulische eenheid ingevuld. Elke hydraulische eenheid is gedefinieerd als een (deel)traject waarin het debiet niet verandert. Andere

manieren om een persleiding in te delen (op basis van inrichting/functie maaiveld of materiaal/diameter) leiden tot een onwerkbaar aantal delen.

1. Functionele eisen/beheerfilosofie

De eerste stap bij de beoordeling van de persleidingen is het inventariseren van de functionele eisen en de beheerfilosofie die van toepassing zijn. Tot de functionele eisen behoren onder meer het ontwerpdebiet en het bijbehorende werkpunt, bij voorkeur inclusief een acceptabele bandbreedte voor debiet en opvoerhoogte.

De beheerfilosofie geeft inzicht in de wijze van beheer die de ontwerper ooit heeft voorzien. Denk hierbij aan de aanwezigheid van coating en de noodzakelijke periodieke vervanging daarvan. Daarnaast moet de beheerder beschikken over een calamiteitenplan, zodat is geborgd welke actie benodigd is, mocht een leiding bezwijken tijdens de normale bedrijfsvoering of tijdens inspecties. Dit is vooral relevant voor leidingen die 'too big to fail' zijn. Dit zijn bijvoorbeeld leidingen waarbij het laten rijden van vrachtwagens met afvalwater niet meer mogelijk is. Dit geldt ook voor leidingen waar de omgevingsrisico's te groot zijn, doordat zij bijvoorbeeld vlak naast gasleidingen liggen en waar snelle reparatie (< 24 u) door ontgraven niet mogelijk is.

2. Leidinginventarisatie

Het doel van deze stap is het verzamelen van alle relevante informatie die nodig is om te kunnen besluiten om al dan niet onderzoek of inspectie uit te voeren. Tot de relevante informatie behoort in ieder geval:

- systeembeschrijving: een beschrijving van ligging, eigenschappen, revisie en aanleggegevens, alsmede een beschrijving van de toleranties.
- analyse historische faalgebeurtenissen, gericht op identificatie van relevante faalmechanismen
- hydraulisch profiel: werkdruk, onderdruk en kans op luchtophoping;
- verkenning relevante faalmechanismen. Hierbij wordt gekeken naar vier hoofdcategorieën: de drie topgebeurtenissen uit de foutenbomen (lekkage, constructieve sterkte en hydraulica) en daarnaast naar zetting, omdat dit een belangrijke voorspellende parameter kan zijn voor het optreden van falen en daarmee een belangrijke preventieve werking kan opleveren.

Analyse resultaten: overwegen inspectie

Na de inventarisatie wordt bepaald of het nodig is om de leiding te onderzoeken op het basisniveau, waarbij een afweging van kosten, baten en risico's aan de orde is. Aspecten die daarbij een rol spelen, zijn:

- kosten onderzoek/inspectie;
- kosten faalgebeurtenissen ontstaan door onderzoek;
- kosten procesbeïnvloeding
- levensduurverlenging leiding;
- reductie kans op 'klappen' leiding
- assetmanagementstrategie

Fase 2. Niveau 'basis'

Op het 'basis'-niveau van onderzoek/gerichte inspectie worden methoden ingezet die uitsluitsel moeten geven over de vraag of een bepaald faalmechanisme optreedt zonder (grote) verstoring van de bedrijfsvoering. Tabel 1 geeft een samenvatting van relevante technieken per faalmechanisme.

Tabel 1. Inzetbare inspectietechniek niveau 'basis'

Faalmechanisme	**Inzetbare techniek niveau 'basis'**
Lekkage	Nalopen tracé en visueel inspecteren maaiveld, infraroodscan maaiveld, dichtheidsbeproeving leiding
Sterkte	Afpersen, gecontroleerde waterslagsimulatie
Hydraulica	Meten weerstand over leiding, afleiden aanwezigheid lucht in leiding
Zetting	Maaiveldzetting, zakbakens op leiding, georadar, toetsing op ontwerpzetting pendelstukken, ongelijke zetting bij locaties wel/niet onderheid, veranderingen in maaiveld

Besluit tot onderzoek/gerichte inspectie: 'verdieping'

Indien de resultaten van de inspectie op niveau 'basis' daar aanleiding toe geven, kan het zinvol zijn om over te gaan tot inspecties op het niveau 'verdieping'. Denk bijvoorbeeld bij lekkage aan het opsporen van het lek om het te kunnen verhelpen. Ook bij dit besluit geldt dat weer een afweging gemaakt moet worden tussen kosten en baten, analoog aan de afweging uit de vorige paragraaf. Hierbij geldt dat de technieken op het niveau 'gerichte inspectie' soms ook het droogzetten van de leiding vereisen, met de bijbehorende kosten en risico's. Ook hier geldt dat de afweging gemaakt moet worden of de inspectiekosten opwegen tegen de kosten van de te treffen maatregelen.

Fase 3. Verdieping

De technieken die ingezet kunnen worden op het niveau 'verdieping' zijn technieken die van binnenin de buis gericht zoeken naar een bepaald faalmechanisme. De keuze voor een bepaalde techniek wordt bepaald door de systeemkenmerken, de resultaten van de uitgevoerde basisinspectie en de praktische haalbaarheid van nadere inspectie. De kosten voor het toepassen van de inspectietechnieken zijn sterk afhankelijk van de bijkomende kosten, bijvoorbeeld voor het realiseren van een toegangsmogelijkheid om te inspecteren of voor het verpompen van afvalwater via een tijdelijke leiding.

Afbeelding 4. Omleiding afvalwater soms duur en gecompliceerd

Tabel 2. Inzetbare inspectietechniek niveau 'verdieping'

Faalmechanisme	**Inzetbare techniek**
Lekkage	Inzet geluidsmeting: Smartball, sahara, inzet weglekken elektriciteit: electroscan
Sterkte	UT pig met ultrasone meting voor materiaaldikte, rioolradar voor materiaaldikte, sonar/laser voor binnendiameter, visuele inspectie, boorkernen, opgraven leidingsectie
Hydraulica	Reinigen met pigs, pompgedrag bij opstarten, visuele inspectie
Zetting	Pig/ATU-meting, hellingmeting of video-inspectie met voegwijdtemeting

Analyse resultaten/besluitvorming

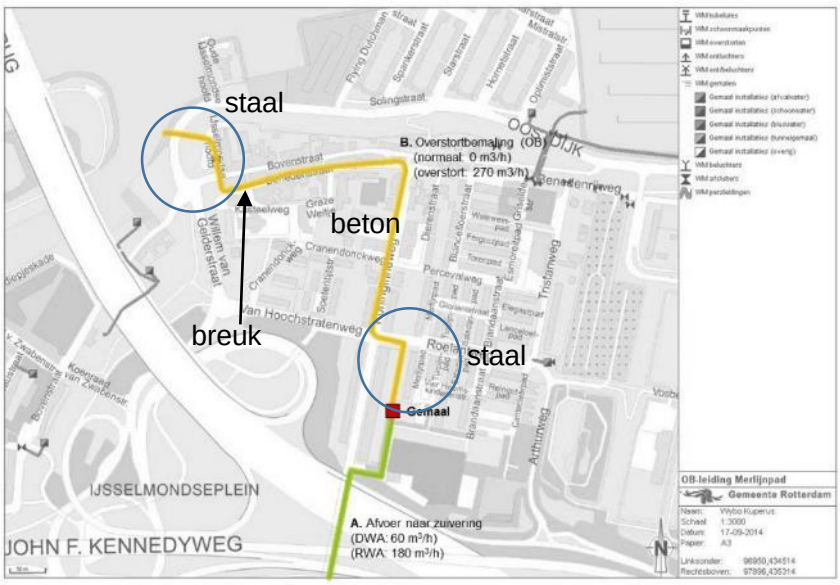
De resultaten van de gerichte inspectie moeten worden verwerkt en geïnterpreteerd, zodat deze input leveren voor besluitvorming over eventuele maatregelen.

Ervaring met fase 1: inventarisatie persleidingen

Voor 8 leidingen, in beheer bij gemeente Rotterdam, Waternet, waterschap Brabantse Delta en waterschap Scheldestromen, is Fase 1 is doorlopen. In dit artikel zijn ter illustratie de belangrijkste bevindingen voor een van deze leidingen opgenomen. Voor het doorlopen van fase 1, 'inventarisatie' is een invulformulier beschikbaar via RIONED, dat beheerders kunnen gebruiken om de benodigde informatie gestructureerd te verzamelen en te analyseren.

Voorbeeld inventarisatie persleiding Rotterdam

Afbeelding 5 toont de ligging van een gemaal in Rotterdam. Dit gemaal voert via persleiding A af naar rwzi Dokhaven. Het gemaal voert daarnaast tijdens hevige neerslag en bij problemen benedenstrooms van persleiding A ook rechtstreeks af naar de Nieuwe Maas via de overstortleiding, ook wel OB-leiding (overstortbemaling) genoemd. De OB-leiding is voor Rotterdam cruciaal voor het houden van droge voeten in de stad en het voorkomen van overstortingen op de singels. De gemeente beheert zowel het gemaal als de leidingen en is verantwoordelijk voor de debietsturing.
De OB-leiding moet 270 m^3/u kunnen afvoeren en mondt onder water uit in de Nieuwe Maas. Aangezien dit waterpeil fluctueert met het getij is de leiding ter hoogte van de dijkkruising voorzien van beluchters en ontluchters. De leiding staat daarbij deels droog. De betonnen leiding uit 1940 is 800 meter lang en heeft een diameter van 400 mm. Een bijzonderheid van de leiding is de kruising met een primaire waterkering. Dit deel van de leiding is van staal. Het betreft een honderdtal meters aangelegd in 1980.



Afbeelding 5. Plattegrond met leidingtracé persleidingen gemaal 29

In 2012 is het binnendijkse deel van de leiding met een videocamera geïnspecteerd. Om de video-inspectie mogelijk te maken zijn voorzieningen aangebracht om de leiding toegankelijk te maken. De inspectie heeft opgeleverd dat ten eerste de overgang beton-staal op een andere plaats zat dan volgens de revisietekeningen. Ten tweede bleek tijdens de inspectie dat een oppervlaktewatergemaal van het waterschap ook gebruik maakte van de OB-leiding als afvoerleiding. Dit gegeven ontbrak in het archief.
Vrij snel na de inspectiewerkzaamheden heeft een faalgebeurtenis (leidingbreuk) plaatsgevonden (zie afbeelding 6). De leiding was gebroken nabij de overgang staal-beton bij de teen van de dijk. Met de kennis van nu had de gemeente liever een dichtheidstest gedaan dan een visuele inspectie.

Afbeelding 6. Gebroken persleiding. Links: buitenkant, rechts: binnenkant

Uit de beschikbare gegevens die bij de inventarisatie over deze leiding zijn verzameld, volgt dat alle faalmechanismen relevant zijn. Ten gevolge van zettingen, vooral nabij de overgang tussen grondlichamen kunnen voegverbindingen open komen te staan, waardoor lekkage kan optreden en de leiding gevoelig is voor constructief bezwijken. Deze leiding heeft laten zien dat ook bij persleidingen de daadwerkelijk aanwezige leidingen en aansluitingen anders kunnen zijn dan volgt uit het dossier.

Voorbeeld inventarisatie persleiding Dongen-rwzi Rijen

De persleiding tussen Dongen en rwzi Rijen zorgt voor de afvoer van zowel dwa (droogweeraanvoer) als rwa (regenweeraanvoer). De persleiding is een echte transportleiding zonder inprikkers en is daarom in zijn geheel als een hydraulische eenheid te beschouwen. De maximale afvoer bij dwa bedraagt 720 m^3/u en bij rwa 1.420 m^3/u. Bij rwa mag hierbij maximaal 9 mwk (meter water kolom) aan wrijvingsverlies optreden.

De leiding van AC-beton is aangelegd in 1974. Het tracé is ongeveer 3,5 kilometer lang, met een diameter van 700 mm. Bijzonder is de zinker onder het Wilhelminakanaal. Daarnaast heeft de beheerder de leiding in het verleden vaak gepigd om vervuiling te verwijderen. Dit is de laatste jaren niet veel meer gebeurd. De totale weerstand over de leiding is beperkt tot 10 mwk, maar door waterslag kunnen drukken tussen -7 en 38 mwk optreden.

Van deze leiding is een uitgebreid en goed toegankelijk dossier met tekeningen beschikbaar bij de beheerder.

Door werkzaamheden is de leiding in 2014 buiten bedrijf geweest. De beheerder heeft deze mogelijkheid gebruikt om een deel van het tracé inwendig te inspecteren. Hierbij is de leiding visueel geïnspecteerd, zijn radarmetingen uitgevoerd op de restdikte van gezond materiaal, zijn boorkernen met een fenolfthaleïnetest beproefd en is een ring getest. De leiding bleek over het algemeen in goede staat, met enige materiaalveroudering en een beperkte infiltratie via een voeg. Deze infiltratie is waargenomen bij visuele inspectie in een droge leiding.

Faalhistorie

De leiding heeft in februari 1999 gefaald door lekkage bij een voegverbinding (zie afbeelding 7).

Uit de beschikbare gegevens die bij de inventarisatie over deze leiding zijn verzameld, volgt dat op zetting na alle faalmechanismen relevant zouden kunnen zijn. Lekkage is in het verleden aan de orde geweest en de ervaring leert dat verbindingen niet altijd even betrouwbaar zijn. De in 2014 uitgevoerde visuele inspectie bevestigt dit beeld. Aantasting van AC-beton is in principe mogelijk, terwijl een verminderde hydraulische functionaliteit in het verleden de aanleiding is geweest om regelmatig te piggen.

Afbeelding 7. Lekkage persleiding Dongen in 1999

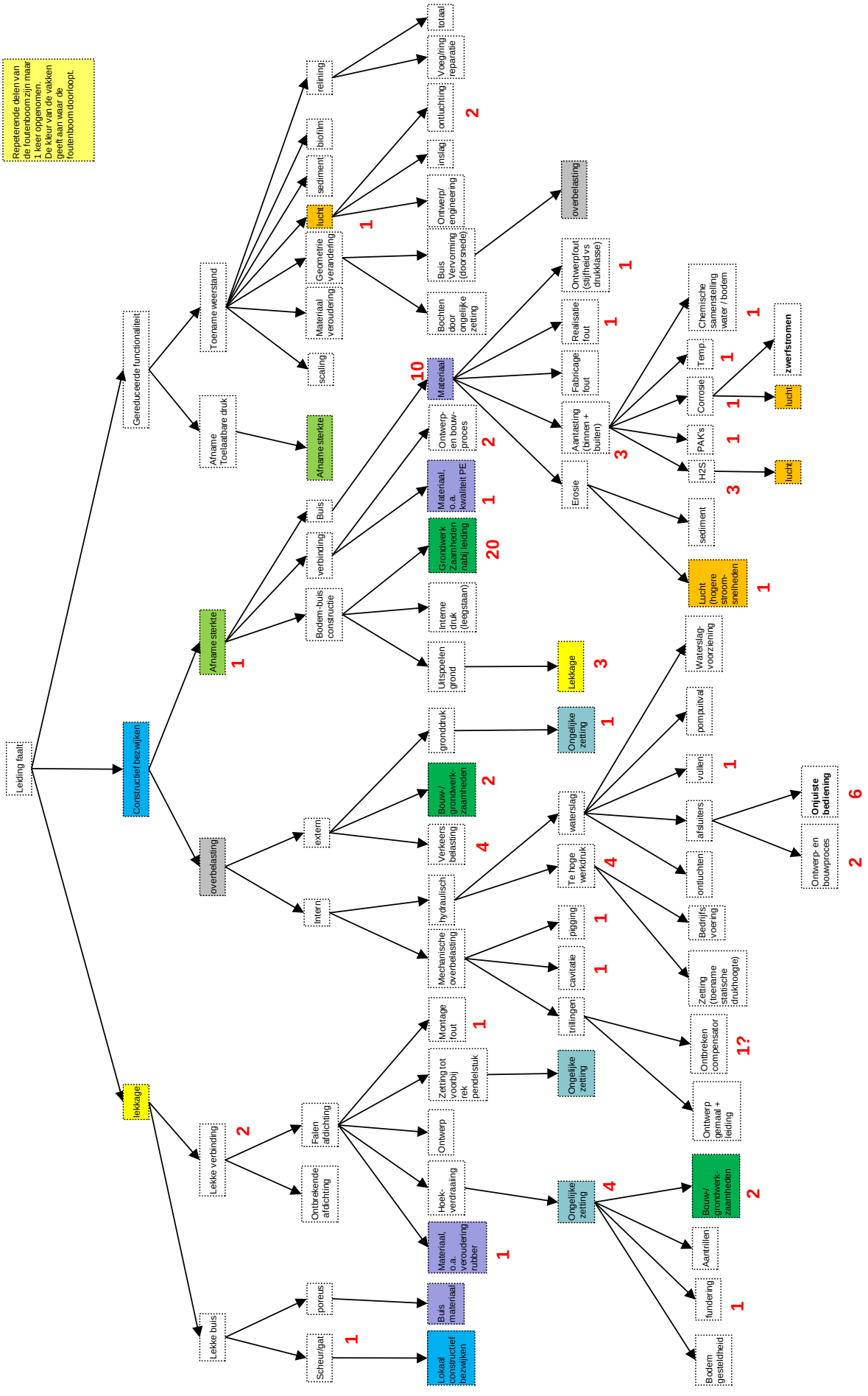
Vooruitblik

Het beheer van persleidingen zal de komende jaren steeds meer aandacht vergen en hopelijk ook krijgen. Inzicht in de conditie van de leiding is daarbij essentieel. De beheerder moet daarmee de balans zoeken tussen de inzet van middelen voor onderzoek en inspectie en de inzet van middelen voor een 'fail-and-fix'-strategie. Voor leidingen waarbij falen niet leidt tot grote negatieve effecten en waarbij ingrijpen na falen relatief goedkoop is, zal deze laatste strategie doelmatig blijken te zijn. Voor de overige leidingen biedt het ontwikkelde beoordelingsmodel een hulpmiddel waar de komende tijd verder ervaring mee zal worden opgedaan. Stichting RIONED en STOWA stimuleren daartoe de uitvoering van pilots op niveau 'basis' met dichtheidsbeproeving en druktesten, gecombineerd met metingen aan hydraulische weerstand en controle op zetting. Met andere woorden: een opleveringstest voor leidingen op leeftijd.
Voor meer informatie: www.riool.net/persleidingen

Referenties

1. Langeveld, J.G. en de Haan, C. (2015). Proeftuin persleidingen: Handreiking inventarisatie en onderzoek. Stichting RIONED/STOWA rapport 2015-21 NEN-EN 1610
2. Vloerberg, I. N. en Blokker, E.J.M. (2010). Sharing failure data to gain insight into network deterioration. Water Asset Management International. 6(2):9-14
3. Korving, H. en Langeveld, J.G. (2007). SUF-SAS. Uniforme registratie van storingen in het afvalwatersysteem. STOWA rapportnummer 2007-06/Stichting Rioned Waterkip rapport no. 4

4. Thomson, J.C., Morrison, R.S. en Sangster, T. (2010). Inspection guidelines for wastewater force mains. Jason Consultants LLC, WERF 2010, VA


Repeterende delen van de foutenboom zijn naar 1 keer opgenomen.
De kleur van de vakken geeft aan waar de foutenboom doorloopt.
Leiding faalt
Constructief bezwijken
Gereduceerde functionaliteit
Toename weerstand
totaal
Voegring/ reparatie
ontluchting
2
Ontwerp/ engineering
inslag
Buis Vervorming (doorsnede)
Bochten door ongelijke zetting
1
lucht
relining
biofilm
sediment
Geometrie verandering
Materiaal veroudering
scaling
Afname Toelaatbare druk
Afname sterkte
overbelasting
Afname sterkte
1
Buis
verbinding
Bodem-buis constructie
10
Materiaal
Ontwerp- en bouw-proces
2
Materiaal o.a. kwaliteit PE
1
Grondwerk Zaamheden nabij leiding
20
interne druk (leegstaan)
Uitspoelen grond
Lekkage
3
overbelasting
extern
gronddruk
Ongelijke zetting
1
Bouw-/ grondwerk-zaamheden
2
Verkeers-belasting
4
Intern
hydraulisch
Mechanische overbelasting
Ontwerpfout (stijfheid vs drukklasse)
1
overbelasting
Realisatie fout
1
Fabricage fout
Aantasting (binnen + buiten)
3
Erosie
sediment
Lucht (hogere stroom-snelheden
1
Chemische samenstelling water / bodem
1
Temp.
1
Corrosie
1
zwerfstromen
lucht
PAK's
1
H2S
3
lucht
lekkage
Lekke verbinding
2
Falen afdichting
Montage fout
1
Zetting tot voorbij rek pendelstuk
Ongelijke zetting
Ontwerp
Hoek-verdraaiing
Ongelijke zetting
4
Materiaal o.a. veroudering rubber
1
Ontbrekende afdichting
Lekke buis
poreus
Buis materiaal
Scheur/gat
1
Lokaal constructief bezwijken
waterslag
Te hoge werkdruk
4
pigging
1
cavitatie
1
trillingen
1?
Waterslag-voorziening
pompuitval
vullen
1
afsluiters
Onjuiste bediening
6
Ontwerp- en bouwproces
2
ontluchten
Bedrijfs-voering
Zetting (toename statische drukhoogte)
Ontbreken compensator
Ontwerp gemaal + leiding
Bouw-/ grondwerk-zaamheden
2
Aantrillen
tundering
1
Bodem gesteldheid