



stowa
Stichting
RIONED

Proeftuin persleidingen fase 2:

Inventarisatie en basisonderzoek

Proeftuin persleidingen fase 2:

Inventarisatie en basisonderzoek

Voorwoord

Persleidingen transporteren het ingezamelde afval- en regenwater naar de rioolwater-zuiveringsinstallaties en zijn een belangrijke schakel in het afvalwatersysteem. Bij falen kunnen zowel de directe als gevolgschade voor veiligheid, milieu en imago aanzienlijk zijn. Het beheer van persleidingen zal de komende jaren, door de vaak al hoge leeftijd van persleidingen, steeds meer aandacht vergen en hopelijk ook krijgen.

Deze publicatie is een update van het Stichting RIONED/STOWA rapport 2015-21 met aanvulling van de tot begin 2018 bereikte resultaten in de proeftuin persleidingen. De proeftuin persleidingen verzamelt de praktijkervaringen met onderzoek naar de conditie van persleidingen aan de hand van een stappenplan met drie stappen. De stappen zijn achtereenvolgens ‘inventarisatie’, ‘basisonderzoek’ en ‘verdiepend onderzoek’. De voorliggende publicatie licht het stappenplan toe en beschrijft in acht casestudy’s de ervaring met de stappen ‘inventarisatie’ en ‘basisonderzoek’.

Onderzoek naar de conditie van persleidingen is nog geen reguliere activiteit bij alle beheerders. De ervaring is dan ook nog niet uitgekristalliseerd in breed aanvaarde standaarden. Het stappenplan biedt een werkwijze om tegen acceptabele inspanning inzicht te krijgen in de relevante aspecten van de actuele conditie van persleidingen. De toepassing op acht praktijksituaties laat zien hoe u deze handreiking kunt gebruiken.

Stichting RIONED en STOWA zullen deze handreiking met het voortschrijden van de ervaringen aanvullen. Graag nodigen we u uit daaraan bij te dragen door ook uw ervaringen met onderzoekstechnieken te delen.

Hugo Gastkemper, Stichting RIONED
Joost Buntsma, STOWA

Ede, juli 2018

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding, doel en resultaat	8
1.2	Deelnemers proeftuin	9
1.3	Inhoud handreiking	9
1.4	Ontwikkeling van de handreiking	9
1.5	Leeswijzer	10
2	Werken met het stappenplan persleidingen	11
2.1	Uitgangspunten	11
2.2	Fase 1: Inventarisatie	11
2.2.1	Functionele eisen/beheerfilosofie	11
2.2.2	Leidinginventarisatie	12
2.2.3	Invulformulier voor fase 1	13
2.3	Analyse resultaten: overwegen inspectie	14
2.4	Fase 2: Basis	14
2.5	Analyse resultaten: overwegen gerichte inspectie	15
2.6	Fase 3: Verdieping	16
2.7	Analyse resultaten: bepalen maatregelen	18
3	Praktijkvoorbeelden fase 1	19
3.1	Case I: Rotterdam - Persleidingtracé gemaal 29, Merlijnpad	19
3.1.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	20
3.1.2	Functionele eisen	20
3.1.3	Kenmerken leidingtracé	20
3.1.4	Relevante faalmechanismen	23
3.2	Case II: Rotterdam - Persleidingtracé Heemraadsingel	23
3.2.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	24
3.2.2	Functionele eisen	25
3.2.3	Kenmerken leidingtracé	26
3.2.4	Relevante faalmechanismen	28
3.3	Case III: Yerseke	29
3.3.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	30
3.3.2	Functionele eisen	30
3.3.3	Kenmerken leidingtracé	30
3.3.4	Relevante faalmechanismen	32
3.4	Case IV: Persleiding Dongen naar rwzi Rijen	32
3.4.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	33
3.4.2	Functionele eisen	33
3.4.3	Kenmerken leidingtracé	33
3.4.4	Relevante faalmechanismen	34

4	Praktijkvoorbeelden fase 2	35
4.1	Case III. Yerseke-Waarde Fase 2	35
4.1.1	Vorbereiding	36
4.1.2	Afpersplan	36
4.1.3	Resultaten	37
4.1.4	Bevindingen	39
4.2	Case V Rotterdam fase 2	40
4.2.1	Hydraulica	40
4.2.2	Zetting	42
4.2.3	Lekdichtheidstest	42
4.2.4	Bevindingen	43
4.3	Case VI en case VII Waterschap Brabantse Delta	44
4.3.1	Kenmerken Case VI. Etten-Hoeven	45
4.3.2	Hydraulisch functioneren	46
4.3.3	Kenmerken Case VII. Moerdijk-Hoeven	47
4.3.4	Lekkagetest	48
4.3.5	Bevindingen	48
5	Ervaringen, conclusies en vervolgtraject	51
5.1	Ervaringen met invulformulier als onderdeel fase 1 'inventarisatie'	51
5.1.1	Functionele eisen	51
5.1.2	Kenmerken leidingtracé	51
5.2	Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 2 niveau 'basis'	53
5.3	Conclusies	53
5.4	Vooruitblik en vervolgtraject	55
	Literatuur	56
	Bijlage 1 Invulformulier fase 1	57
	Bijlage 2 Overzicht toepasbare inspectietechnieken fase 2 en 3	60
	Bijlage 3 Stroomschema bepaling van toepassing zijnde norm voor leidingstrekking	64
	Colofon	66

1 Inleiding

1.1 Aanleiding, doel en resultaat

Persleidingen transporteren het in de riolering verzamelde afvalwater naar de rwzi. Daarmee vormen ze een essentieel onderdeel van de afvalwaterketeninfrastructuur. Het grootste deel van de persleidingen in Nederland stamt uit de periode van de inwerkingtreding van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo, 1970) en de grootschalige introductie van rwzi's. Het huidige faalniveau ligt nog vrij laag (gemiddeld 1 faalgebeurtenis per 100 km per jaar) en de gevolgen zijn meestal beperkt. Mede daardoor is er tot nu toe relatief weinig aandacht geweest voor onderzoek naar de conditie van persleidingen. Met de introductie van asset management krijgen beheerders meer aandacht voor inzicht in de kans op falen van persleidingen en de bijbehorende risico's. In dit kader neemt de behoefte aan goede informatie over de (te verwachten) conditie van persleidingen sterk toe.

Om beheerders van persleidingen hierin te faciliteren, hebben Rotterdam, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap Scheldestromen en Waternet met ondersteuning van Stichting RIONED en STOWA deze handreiking in een proeftuin (door-)ontwikkeld.

Een gebruikelijke werkwijze bij beoordeling van de noodzaak tot maatregelen loopt via de volgende stappen:

- Inventarisatie van risicovolle (delen van) leidingtracés op basis van de verwachte kans op en gevolgen van falen zoals ernstig capaciteitsverlies of bezwijken van dat deel van de leiding;
- Vaststellen van op risico's gebaseerde, toetsbare eisen aan de toestand en het functioneren van de leiding(delen);
- Uitvoeren van onderzoek naar de toestand (leidingconditie) en naar het (hydraulisch) functioneren;
- Toetsen van de onderzoeksresultaten aan de vastgestelde eisen en beoordelen van de verschillen in het licht van de verwachte risico's;
- Adviseren over maatregelen voor het beheer.

Doel

De Proeftuin persleidingen had oorspronkelijk tot doel een beoordelingsmodel te ontwikkelen voor het toetsen van de huidige toestand van persleidingen aan de eisen (maatstaven voor ingrijpen). Dit doel is nog niet bereikt. Hiervoor zijn meerdere oorzaken. De benaderde beheerders hebben onvoldoende eisen als afkeuringscriteria beschikbaar. Voor bijvoorbeeld een toename van de hydraulische weerstand door vervuiling ontbreken algemeen geldende richtlijnen. Ten tweede zijn de meetmethoden voor het vaststellen van oorzaken voor relevante faalmechanismen bij persleidingen vaak relatief duur en is veelal nog onbekend in hoeverre de aangeboden onderzoeksmethodieken daadwerkelijk een discriminerend resultaat opleveren. Daarnaast is bij veel beheerders de benodigde basisinformatie voor gericht onderzoek en voor een goede beoordeling nog niet voldoende beschikbaar.

Voordat een eenduidig beoordelingsmodel kan worden opgesteld, is eerst meer ervaring nodig met de bruikbaarheid van onderzoeksmethoden en aansluitend met te hanteren afkeuringscriteria. Tenslotte vraagt zowel de uiteindelijke beoordeling als de daaraan voorafgaande effectieve onderzoekstrategie een afweging op basis van risico's. Wat is de kans op falen (capaciteitsverlies of bezwijken) en wat zijn de gevolgen bij falen van de persleiding versus de kosten van en eventuele extra kans op falen bij onderzoek van de persleiding. En: wat levert het onderzoek aan aanvullende informatie op voor een betere onderbouwing van de keuze voor beheersmaatregelen?

Het resultaat tot nu toe van de proeftuin persleidingen bestaat daarom uit een stappenplan voor een systematische aanpak. De stappen bestaan achtereenvolgens uit:

- inventarisatie van reeds beschikbare informatie over de leiding, gevoerd beheer en eisen;
- eenvoudig onderzoek met nauwelijks verstoring van de operationele bedrijfsvoering van de persleiding;
- zo nodig meer in het operationeel beheer ingrijpende en vaak ook duurdere onderzoekstechnieken.

Na elke stap maakt u beter geïnformeerd een keuze over het vervolg op basis van een risico-afweging zoals gebruikelijk bij assetmanagement.

1.2 Deelnemers proeftuin

De deelnemers aan de eerste fase van de 'Proeftuin persleidingen', waarin de systematiek is uitgewerkt, waren:

Nico Beumer	Waternet
Wybo Kuperus/Richard Kors	Gemeente Rotterdam
Rien van Wanrooij	Waterschap Brabantse Delta
Bram Wisse	Waterschap Scheldestromen
Ton Beenen	Stichting RIONED en STOWA

In de tweede fase hebben de volgende deelnemers praktijkonderzoeken ingebracht:

Richard Kors	Gemeente Rotterdam
Rien van Wanrooij	Waterschap Brabantse Delta
Bram Wisse	Waterschap Scheldestromen
Jan Hoek Spaans	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Jeroen Langeveld en Cornelis de Haan, Partners4Urbanwater, hebben deze handreiking opgesteld.

1.3 Inhoud handreiking

Deze handreiking gaat over inventarisatie van gegevens en over onderzoek naar de conditie van leidingen voor zover dit relevant is voor beoordeling van het constructief, hydraulisch en milieuhygiënisch functioneren. Uiteindelijk doel van de inventarisatie en het onderzoek is besluiten over de noodzaak van investeringen voor beheermaatregelen.

Gemalen, afsluiters en ontluchters blijven buiten beschouwing. Deze handreiking gaat niet over drukriolering in het buitengebied. De handreiking is zoveel mogelijk materiaal-onafhankelijk geschreven en merknamen van specifieke onderzoekstechnieken zijn veralgemeniseerd naar het doel van de techniek.

1.4 Ontwikkeling van de handreiking

Het stappenplan is opgesteld na een uitgebreide analyse van de onderliggende faalmechanismen op basis van een inventarisatie via interviews, een enquête en literatuuronderzoek. Uit deze analyse blijkt dat lang niet alleen verouderingsprocessen de aanleiding vormen voor falen. Een belangrijk deel van de faalmechanismen hangt samen met andere aspecten, zoals werkzaamheden, grondverzet en de bediening van pompen en afsluiters. Dit houdt in dat met een inspectie zoals gebruikelijk in vrijvervalriolering slechts een deel van de calamiteiten te voorzien is. Daarnaast blijkt dat het falen van persleidingen in drie typen te verdelen is: constructief bezwijken, lekkage en verminderde hydraulische functionaliteit.

Onderzoek op niveau 'basis' en 'verdieping'

Aansluitend is gezocht naar technieken waarmee het optreden van faalmechanismen te detecteren is. Dit heeft geleid tot een longlist van technieken, waaruit geen 'one size fits all'-techniek rolt. Veel technieken zijn behoorlijk kostbaar en soms ingewikkeld. Bovendien is de meerwaarde voor bepaling van de resterende gebruiksduur van de leiding lang niet altijd aanwezig. Daarom is onderscheid gemaakt in onderzoek op de niveaus 'basis' en 'verdieping'. Op het basisniveau krijgt u als beheerder algemeen inzicht in het optreden van een van de drie faalvormen, gecombineerd met een analyse van mogelijke zetting als voorspellende parameter. Het verdiepingsniveau is aan de orde als u na analyse van de resultaten van het basisonderzoek besluit tot meer gerichte inspectie.

Het stappenplan

Het stappenplan is bedoeld om tegen een minimale inspanning inzicht te krijgen in de relevante faalmechanismen voor persleidingen. De faalmechanismen zijn verdeeld in vier groepen: lekkage, sterkte, hydraulica en (ongelijkmatige) zetting. Het stappenplan bestaat uit drie fasen, per fase neemt de benodigde inspanning toe (zie figuur 2.1).

- Fase 1: het vastleggen van de eisen voor en de kenmerken van de leiding. Hieruit volgt welke faalmechanismen relevant kunnen zijn en eventueel nadere aandacht behoeven.
- Fase 2: het onderzoeken en testen zonder inspectiemateriaal in de leiding te brengen. De verstoring van het bedrijfsproces is minimaal.
- Fase 3: het inzetten van inspectietechnieken en beproevingen die de bedrijfsprocessen eventueel langere tijd kunnen verstoren.

Praktijkervaringen met fase 1 en fase 2

Hoewel de te doorlopen stappen in fase 1 deels zijn gebaseerd op bestaande checklists, was er nog geen praktijkervaring met de voorgestelde aanpak. De vier beheerders die nauw betrokken waren bij het opstellen van het stappenplan, hebben ieder twee cases aangeboden om de aanpak voor fase 1 te testen en evalueren. Hiervoor is een invulformulier opgesteld (zie bijlage 1) waarmee de benodigde informatie gestructureerd te verzamelen en analyseren is.

Dit invulformulier is als een spreadsheet te downloaden van de website van Stichting RIONED: www.riool.net/inventarisatie-persleidingen

De eerste versie van de handreiking is opgesteld op basis van de ervaringen in de acht uitgevoerde casestudies. Vier daarvan zijn beschreven en illustreren het gebruik van de handreiking voor de inventarisatie (fase 1 van het stappenplan).

Deze tweede versie van de handreiking bevat ook de ervaringen uit de proeftuin met het uitvoeren van onderzoek op het basisniveau voor een viertal leidingen. (fase 2)

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het stappenplan.

Hoofdstuk 3 werkt vier praktijkvoorbeelden van fase 1 uit.

Hoofdstuk 4 werkt vier praktijkvoorbeelden van fase 2 uit.

Hoofdstuk 5 besluit met ervaringen, conclusies en het beoogde vervolgtraject.

Bijlage 1 bevat het invulformulier voor fase 1 (ook te downloaden als Excel-bestand).

Bijlage 2 geeft een overzicht van de toepasbare inspectietechnieken in fase 2 en 3.

Bijlage 3 bevat een stroomschema naar de norm met van toepassing zijnde eisen voor een persleiding.

2 Werken met het stappenplan persleidingen

Aanleidingen voor het in kaart brengen van de conditie van afvalwaterpersleidingen kunnen bestaan uit een langzaam toenemend aantal storingen, de wens tot aanpassing van de capaciteit of de opstelling van een langetermijninvesteringsplan. Voorafgaand aan de beoordeling van de persleiding doorloopt u het stappenplan zoals hieronder beschreven. Deze aanpak bevordert een effectieve onderzoekstrategie passend bij assetmanagement.

2.1 Uitgangspunten

Het stappenplan uit figuur 2.1 geeft een overzicht van de stappen die u als beheerder moet doorlopen om persleidingen zo doelmatig mogelijk te kunnen beoordelen. Het stappenplan richt zich op onderzoek van de leidingsegmenten van persleidingen. Onderzoek naar individuele appendages, zoals gemalen, windketels, afsluiters, be- en ontluchters valt vooralsnog buiten de scope. De uitgangspunten hierbij zijn:

- Voorafgaand aan inspectie moet u het systeem goed kennen. Daarmee wordt bedoeld dat u tenminste beschikt over informatie die noodzakelijk is voor de keuze van een geschikte inspectietechniek. Hiertoe behoren gegevens als ligging en tracé, materiaaltype, diameter, toegankelijkheid en aanwezige appendages.
- Inzet van de technieken van grof naar fijn. Dus eerst onderzoekt u bijvoorbeeld of er überhaupt lekkage is, voordat u op zoek gaat naar de locatie van de lekkage.
- Verdeling van de technieken in de niveaus 'basis' en 'verdieping'. Technieken op basisniveau kunt u bij elke persleiding toepassen (onafhankelijk van het materiaal). Bovendien hoeft u de leiding niet droog te zetten en komen er geen spullen of materialen in de leiding.
- Balanceren tussen de benodigde onderzoeksinspanningen en het benodigd inzicht ter beperking van de faalrisico's. Dit houdt in dat u als beheerder na elke stap kunt besluiten (rode blokken in figuur 1.1) tot niets doen, de functionele eisen bijstellen (bijvoorbeeld de maximale werkdruk of het debiet verlagen), nader onderzoek doen 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 plaatsvinden en archiefinformatie niet volledig is, heeft het doorlopen van fase 1 doorgaans het karakter van een nulmeting. Deze nulmeting geeft inzicht in de huidige staat en in correcte informatie over ligging, materiaal en diameter.

2.2 Fase 1: Inventarisatie

2.2.1 Functionele eisen/beheerfilosofie

Als eerste inventariseert u de functionele eisen en de beheerfilosofie. Onder de functionele eisen vallen onder meer het ontwerpdebiet en het bijbehorende werkpunt van gemaal en persleiding, bij voorkeur inclusief een acceptabele bandbreedte voor debiet en opvoerhoogte.

De beheerfilosofie geeft inzicht in de beheerwijze die de ontwerper ooit heeft voorzien. Denk hierbij aan de aanwezigheid van coating en de noodzakelijke periodieke vervanging daarvan. Daarnaast moet u als beheerder beschikken over een calamiteitenplan, zodat is geborgd welke actie nodig is als een leiding bezwijkt tijdens de normale bedrijfsvoering of inspecties. Dit is vooral relevant voor leidingen die 'too big to fail' zijn, oftewel leidingen waarbij het laten rijden van vrachtwagens met afvalwater niet meer mogelijk is. Dit geldt ook voor tracés die bijvoorbeeld vlak naast gasleidingen liggen en waar snelle reparatie (< 24 h) door ontgraven niet mogelijk is. Overweeg voor leidingen die in deze categorie vallen om voldoende redundantie in het gehele afvalwatersysteem aan te brengen. Bijvoorbeeld door compartimentering, omleidingsroutes voor dwa of een parallelle leiding.

NEN 3650 geeft een overzicht van de van toepassing zijnde normen, die samenhangen met de aard van de transporteren stof en de ligging in of nabij belangrijke waterstaatswerken en in grondwaterbeschermingsgebieden. Voor persleidingen met afvalwater geldt dat zij onder de eisen van NEN 3651 vallen zodra zij in of nabij belangrijke waterstaatswerken liggen, onder NEN 3650 vallen wanneer zij in een grondwaterbeschermingsgebied liggen en in overige gevallen onder gangbare normen voor riolering vallen. Bijlage 3 geeft het op NEN 3650 gebaseerde schema waarmee u de van toepassing zijnde norm kunt selecteren.

2.2.2 Leidinginventarisatie

In deze stap verzamelt u alle relevante informatie om te kunnen besluiten of inspectie nodig is. Hiertoe behoren in elk geval:

- beschrijving leiding;
- analyse historische faalgebeurtenissen;
- hydraulisch profiel;
- verkenning relevante faalmechanismen.

Beschrijving leiding

De beschrijving van de leiding omvat de volgende kenmerken:

- 1 beschrijving tracé en diepteligging (X, Y, Z);
- 2 bijzondere onderdelen (zoals ont- en beluchters, waterslagvoorzieningen en kleppen);
- 3 diameter en materiaal (ook aanwezigheid coating/relining);
- 4 jaar van aanleg/renovatie (onder meer aanwezigheid en gebruiksduur aquaringen);
- 5 hydraulisch profiel/dwarsprofiel conform ontwerp;
- 6 bedieningsvoorschrift (inclusief ontluchting/waterslag);
- 7 gebruik maaiveld/ligging ten opzichte van andere infrastructuur (gasleiding, trambaan, dijk);
- 8 zettingsgevoeligheid gebied;
- 9 bodemkarakteristieken;
- 10 extern bepaalde leidingklasse uit eigen/externe normen (bijvoorbeeld NEN 3651 bij dijken);
- 11 aanwezigheid bijzondere samenstelling afvalwater of grondwater (voormalige gas-fabrieken en/of specifieke vergunningen bij industriegebied);
- 12 revisie/aanleggegevens;
- 13 sterkteberekeningen;
- 14 aanwezigheid voorzieningen inspectie: piglanceerunits, glasvezel, zakbakens;
- 15 kabels en leidingen;
- 16 vergunningen.

Daarnaast bevat de beschrijving de ontwerpuitgangspunten/toleranties voor:

- 17 Lekkage: De lekverlieseis is afhankelijk van de voor de leiding geldende norm. Voor een betonnen persleiding in een grondwaterbeschermingsgebied, die valt onder NEN 3650-4, geldt een toegestaan lekverlies van 0,1 ml/m²/h. Voor een betonnen leiding die wordt ingezet voor transport onder lage druk, die valt onder NEN 1610, mag dit 0,15 l/m² zijn tijdens beproeving van 30 minuten bij een relatief lage waterdruk, ofwel 0,3 l/m²/h. Met het schema uit bijlage 3 kunt u de voor de leiding geldende norm selecteren. Behalve in grondwaterbeschermingsgebieden, waar het effect op de grondwaterkwaliteit centraal staat, zijn de toegestane lekverliezen gericht op het voorkomen van instabiliteit van de leiding en speelt de vuilemissie vanuit de persleiding geen rol.
- 18 Sterkte: de leiding moet 1,2 tot 1,5 maal de maximale bedrijfsdruk conform ontwerp kunnen weerstaan. De gedachte hierachter is dat als de leiding deze druk aankan, deze ook de normale bedrijfsdruk moet kunnen weerstaan. De factor 1,5 wordt vaak aangehouden bij opleveringsinspectie.
- 19 Weerstand/hydraulisch functioneren: toelaatbare extra weerstand, minimum van 10% dynamische opvoerhoogte of 0,5 mWk. Deze acceptabele extra weerstand is afhankelijk van:
 - toelaatbare leidingdruk;
 - toelaatbaar extra energieverbruik;
 - praktische haalbaarheid (dagelijks piggen schiet niet op...);
 - functioneren afvalwatersysteem doordat gemaal/persleiding ontwerpdebiet niet kan afvoeren.
- 20 Zetting: openstaande voegen/hoekverdraaiing, toleranties zijn afhankelijk van materiaal en diameter en beschikbaar via leveranciers.
- 21 Zetting: toelaatbaar zettingsverschil over pendelstukken conform ontwerpspecificaties.

Analyse historische faalgebeurtenissen

Door analyse van de historische faalgebeurtenissen [voetnoot: Deze handreiking gebruikt overigens de term faalgebeurtenis of falen, onafhankelijk van de ernst of omvang en zonder onderscheid tussen incident of calamiteit. De drinkwatersector gebruikt het woord storing om falen aan te duiden], krijgt u inzicht in de faalhistorie van het te onderzoeken tracé.

Deze historie kan veel informatie geven over de te verwachten faalmechanismen. Is er geen database, dan zijn interviews met oudgedienden de aangewezen manier om deze informatie te achterhalen.

Hydraulisch profiel

Het hydraulisch profiel laat zien:

- 22 waar welke werkdruk te verwachten is;
- 23 waar eventuele onderdruk kan optreden;
- 24 waar in de leiding een kans bestaat op luchtophoping of zelfs tijdelijk (deels of volledig) droogstaan. De leidingdelen waar lucht aanwezig kan zijn, hebben namelijk een grotere kans op aantasting.

Verkenning relevante faalmechanismen

Op basis van de beschikbare informatie over de leiding en het gebruik daarvan kunt u bepalen welke faalmechanismen relevant zijn. Hierbij kijkt u naar de vier hoofdcategorieën: lekkage, constructieve sterkte, hydraulica en zetting. Zetting kan een belangrijke voorspelende indicator voor falen zijn.

2.2.3 Invulformulier voor fase 1

Om de stappen in fase 1 gestructureerd te doorlopen, is een Excel-invulformulier gemaakt (zie bijlage 1). Gekozen is om de lijst per hydraulische eenheid in te vullen. 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) leidt tot een onwerkbaar aantal delen.

Het invulformulier omvat:

- 1 Functionele eisen, met daarin de onderdelen:
 - a Algemeen leiding: tekstuele aanduiding leidingtracé.
 - b Functie leiding: keuze uit transportleiding, overstortbemaling, reserveleiding, loze leiding, bijzonderheden type afvalwater.
 - c Hydraulische kengetallen: debietranges met bijbehorende wrijvingsverliezen, minimale en maximale drukhoogten, mogelijke leegstand (bij dijkovergangen, overstortbemalingsleidingen).
 - d Hydraulische aspecten: waterslagberekeningen, gevoelige locaties waterslag, spat-/trekkrachten in bochten en aansluitingen, aanwezigheid lucht in leiding tijdens normale bedrijfsvoering, inclusief locaties.
- 2 Kenmerken leidingtracé, met daarin de onderdelen:
 - a Technische beschrijving leiding: overzichtstekening, aanlegjaar, renovatiejaar, materiaal en diameter, aanwezigheid bijzondere objecten, aanwezigheid voorzieningen voor inspectie, as-designed-, as-built- en as-is-tekeningen, opleveringsdossier, dossier materiaal-kenmerken, ligging ten opzichte van andere infrastructuur (gasleidingen, trambanen, dijken), bodemopbouw en zettingsgevoeligheid, fundering persleiding, dossier grond- en leidingsterkteberekeningen, dossier inspectiegegevens.
 - b Technische eisen leiding: toelaatbaar lekdebiet, maximale druk, maximaal toelaatbare hydraulische weerstand, maximaal toelaatbaar energieverbruik, toelaatbare zetting.
 - c Omgevingsaspecten/risico-indeling: NEN 3650 of NEN 3651 van toepassing, inventarisatie gebiedsfuncties, risicoklasse nabijgelegen infrastructuur, dossier vergunningen, beperkingen aan werkzaamheden door samenstelling grondwater/bodemgesteldheid of door overige infrastructuur/gebouwen.
 - d Aanwezigheid calamiteitenplan, alternatieven voor overname functie, externe risico-inventarisatie beschikbaar.
 - e Faalhistorie: aanwezigheid dossier falen leiding, vastgelegde incidenten, incidenten vergelijkbare leidingen elders in beheergebied.

Op basis van de informatie die u met behulp van het invulformulier in deze twee categorieën verzamelt, kunt u bepalen welke faalmechanismen redelijkerwijs te verwachten zijn voor de betreffende leiding.

2.3 Analyse resultaten: overwegen inspectie

Na de inventarisatie besluit u of u het nodig vindt om de leiding te onderzoeken op het basisniveau. Hierbij moet u ook de kosten, baten en risico's afwegen. Aspecten die daarbij een rol spelen, zijn:

- kosten onderzoek/inspectie;
- kosten faalgebeurtenissen ontstaan door onderzoek;
- kosten procesbeïnvloeding (bijvoorbeeld stilzetten pompen);
- levensduurverlenging leiding;
- kansreductie springen van de leiding.

Tabel 2.1 geeft voor de onderzoeken op het niveau 'basis' aan hoe deze aspecten scoren voor een leiding met een diameter van 800 mm, circa 2 km lengte en een vervangingswaarde van € 2 miljoen. Zo kunt u bepalen of de inspectiekosten opwegen tegen de baten.

Tabel 2.1 Criteria inspectie op niveau 'basis'

Onderzoeks-aspect	Activiteit	Indicatie kostprijs	Kans op gevolg-schade	Mate van risico voor proces-beïnvloeding	Meerwaarde aanvullend inzicht ter beperking faalrisico
Lekkage	Nalopen tracé	≤ € 1.000	0	0	Beperkt
	Infrarood scan uit de lucht	€ 1.000-20.000	0	0	Klein
	Afpersen leiding en bepalen lekdebiët	€ 5.000-10.000	Kleine verhoogde kans	Kan lang duren om stabiele meting te krijgen	Groot: levert inzicht of leiding niet lekt
Sterkte	Afpersen-drukproef	€ 5.000-10.000	Kleine verhoogde kans	Leiding kan klappen	Groot
Hydraulica	ΔHw meten	≤ € 10.000	0	0	Aandacht voor hydraulica zorgt voor kleinere kans op te hoge belastingen
Zetting	Maaiveld-zetting	€ 1.000-10.000	0	0	Zinvol
	Zakbakens uitlezen	< € 5.000, afhankelijk van aantal	0	0	Zeër belangrijk bij overgangen
	Prikstokken	€ 5.000-10.000	Zeër klein	0	Zinvol, mits voldoende detail
	Grondradar	circa € 10.000	0	0	Zinvol, mits voldoende detail

2.4 Fase 2: Basis

Op het basisniveau zet u onderzoeksmethoden in om vast te stellen of een bepaald faal-mechanisme optreedt zonder de bedrijfsvoering te (veel te) verstoren en zonder andere faalmechanismen te laten optreden. Per faaltype behoren tot deze methoden:

Lekkage

Het nalopen van het tracé en visueel inspecteren van veranderingen in het maaiveld kunnen een indicatie geven van lekkage. Ook een infrarood scan vanuit een vliegtuigje of vanaf het maaiveld kan inzicht geven in significante lekkage.

Een veel directer methode is een waterdichtheidstest. Hierbij zet u een gevulde leiding op beperkte druk. Voor deze methode is relatief weinig inspanning nodig. NEN 1610, NEN 3650 en NEN 805 geven bij beproeving van persleidingen op waterdichtheid meerdere mogelijkheden en gedetailleerde voorschriften.

Voorbeeld

Stel, een leiding die valt onder NEN EN 1610 van 1 km met een diameter van 1 meter mag circa 1000 l/uur aan lekvolume hebben. Dit komt in orde van grootte overeen met een rond gat met een diameter < 1 cm. Indien dezelfde leiding valt onder NEN-EN 3650-4 mag het lekverlies 0,3 l/uur bedragen. Een dergelijk lekverlies is wel aan te tonen met een lekkagetest, maar is vervolgens vrijwel niet op te sporen met gangbare technieken.

Bij een groter lekdebiet dan het gewenste niveau is – afhankelijk van het gewenste risico- en prestatieniveau – verder onderzoek mogelijk zinvol. Bij heel lange en grote leidingen bestaat de kans dat maar enkele voegen of breuken een probleem vormen. Dan loont het wellicht de moeite het tracé in segmenten te beproeven.

De waterdichtheidstest zou u met enige regelmaat kunnen uitvoeren. Dan is dit een indicator voor het risico op uitspoelen van de bodem rondom de leiding (stabiliteit grond).

Het afpersen met lucht wordt ten eerste ontraden in verband met veiligheid, maar valt als methode onder het onderzoeksniveau ‘verdieping’.

Sterkte

Om de constructieve sterkte te controleren, is het afpersen een geschikte basismethode. Het uitgangspunt hierbij is dat u de leiding moet kunnen belasten conform de specificaties. Hiervoor zijn meerdere methoden voorhanden, de meest toegepaste zijn:

- Het afpersen tot tussen 1,2 en 1,5 maal de werkdruk. Voor een beheerste persproef kunt u deze druk stapsgewijs opvoeren.
- Het testen met onderdruk ter grootte van de onderdruk waarop de leiding is gedimensioneerd. Bijvoorbeeld om gevolgen van pompuitslag op te vangen met daarop een marge van 0,5-1 mWk, afhankelijk van situatie en leidingmateriaal. Dit kan op twee manieren:
 - permanente onderdruk creëren door met een pompje de leiding te laten ‘vacuümzuigen’. Dit kan voor leidingen met mof/spieverbindingen problematisch zijn;
 - een waterslagsituatie gecontroleerd simuleren (dit kan zeer stapsgewijs door pompen steeds sneller te stoppen (vooral eenvoudig bij pompen gestuurd met frequentie-omvormers).

Doe na de toetsing op sterkte bij voorkeur nogmaals een waterdichtheidstest om uit te sluiten dat door de test lekkage is ontstaan.

Hydraulica

Bij de analyse van de hydraulica legt u de focus op de toename van de weerstand ten opzichte van de weerstand conform de specificaties. Dit doet u door de weerstand over de leiding te meten onder normale bedrijfsvoering in een aantal condities (dwa/rwa) en daaruit af te leiden of de leidingweerstand te sterk is toegenomen. Is dat het geval, dan moet aanvullend onderzoek uitwijzen wat hiervan de oorzaak is. Bij aanwezigheid van drukopnemers en nauwkeurige debietmeters kunt u uit het pompregime (eventueel aangevuld met pompmanipulatie) afleiden of sprake is van lucht of vervuiling in de leiding.

Zetting

De basis voor het onderzoek naar zetting is het verzamelen van gegevens over zetting van het maaiveld, bijvoorbeeld aan de hand van historische kaarten of satellietbeelden. Daarnaast kunt u met technieken als zakbakens, het ‘aanprikken’ van de leiding of met grondradar inzicht krijgen in de hoogteligging van de leiding.

De eerste toets is of de ontwerpzetting van de pendelstukken in het maaiveld al overschreden is of sneller bereikt wordt dan waarvan in het ontwerp is uitgegaan.

De tweede toets is het nagaan of sprake is van ongelijke zetting. Dit is lastiger te voorspellen, maar locaties met een wel/niet onderheide overgang, (voormalige) watergangen of plekken met veranderingen in het maaiveld (hoge taluds) verdienen extra aandacht.

2.5 Analyse resultaten: overwegen gerichte inspectie

Op basis van de inspectieresultaten op het basisniveau besluit u of gerichte inspecties op het verdiepingsniveau nodig zijn. Als u bijvoorbeeld lekkage hebt geconstateerd, kunt u met gericht onderzoek de locatie van het lek opsporen om het probleem te verhelpen. Net als bij het besluit tot inspectie op basisniveau moet u ook nu weer de kosten, baten en risico's afwegen. Dit is in deze fase extra belangrijk, omdat u bij de gerichte onderzoekstechnieken soms ook de leiding moet droogzetten. Hierdoor worden de kosten hoger en de risico's groter.

2.6 Fase 3: Verdieping

De onderzoeksmethoden die u kunt inzetten op het verdiepingsniveau zijn technieken die in de buis gericht zoeken naar een bepaald faalmechanisme. De keuze voor een techniek hangt af van de systeemkenmerken, de resultaten van de basisinspectie en de praktische haalbaarheid van nadere inspectie. (Bijlage 2 geeft een overzicht van alle inzetbare technieken.)

De haalbaarheid van nadere inspectie verschilt per techniektype en uitvoeringswijze en de daarmee samenhangende kosten, risico's en complexiteit:

- a Inspectie van buiten de leiding (graven, betonproeftest van buitenaf, geluid (correlator) om lekkage te testen). De kosten variëren sterk, afhankelijk van het aantal locaties en de opzet. Denk aan prijzen vanaf € 5.000 per locatie per techniek per dag. Meer informatie hierover vindt u in de WERF-rapportage: *"Inspection guidelines for wastewater force mains"*.
- b Inspectie tijdens bedrijfsvoering (pigging, sensor die meestroomt). De kosten voor een dergelijke inspectie bedragen € 5 à 10 per meter, exclusief bijkomende kosten (toegankelijk maken, rondpompen).
- c Inspectie in natte situatie met weinig/geen stroming (geluidsmeting, electroscanning).
- d Inspectie in drooggezet systeem (video-inspectie met rijdende wagen). Bij gangbare dagproductie zijn de kosten € 5 à 10 per meter, exclusief bijkomende kosten, zie onder.
- e Destructieve inspectie (leiding verwijderen en in lab testen). Afhankelijk van de toegankelijkheid bedragen de kosten per locatie € 5.000 à 10.000.

Uit veiligheidsoverwegingen zijn methoden om via persoonsinspectie te inspecteren niet opgenomen. Mogelijk is dit bij calamiteiten en in uitzonderingssituaties te verantwoorden, maar voorzichtigheid lijkt gepast gezien (bijna)ongevallen in het verleden.

Bijkomende kosten

De kosten voor de inspectietechnieken zijn sterk afhankelijk van de bijkomende kosten:

- Het maken van een installatie om te piggen of te inspecteren, kan € 25.000 kosten (en dus ongeveer € 10 tot 50 per meter voor leidingen van 500 tot 2.500 meter).
- Het zorgen voor alternatieve afvoerroute van afvalwater kan voor een grote leiding met een groot debiet circa € 25.000 kosten (en dus ongeveer € 10 tot 50 per meter geïnspecteerde leiding voor leidingen van 500 tot 2.500 meter). Afhankelijk van techniek vooraf reinigen en/of droogzetten leiding

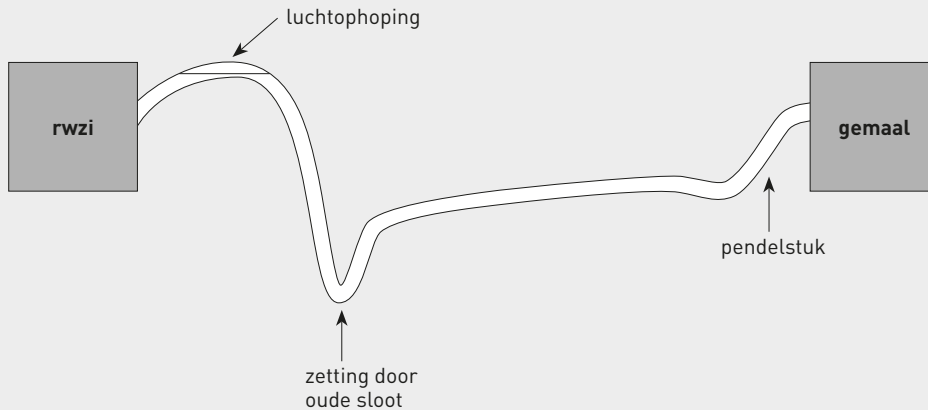
De totale inspectiekosten inclusief bijkomende kosten voor leidingen van 500 tot 2.500 meter variëren daarmee van € 2 tot meer dan € 100 per meter. Deze forse range moet u meenemen in uw besluitvorming.

De uitvoeringsvormen, mogelijke technieken en te onderzoeken faalmechanismen geven zo veel combinatiemogelijkheden dat het ondoenlijk is deze allemaal uit te werken. In het kader staat een voorbeeld van hoe u de keuze voor een techniek in de verdiepingsslag kunt maken.

Voorbeeld: inspectie persleiding

In figuur 2.1 ziet u de langsdoorsnede van een typische persleiding, Ø 800 mm, uitgevoerd in gietijzer. Het gemaal is onderheid en de persleiding heeft een pendelstuk om het verwachte zettingsverschil tussen leiding en gemaal op te vangen. De leiding voert af naar de rwzi, op een hoog punt kan lucht zich ophopen. De basisinspectie heeft laten zien dat:

- sprake is van luchtophoping;
- geen of nauwelijks sprake is van lekkage;
- er geen faalhistorie beschikbaar is;
- het maaiveld een zetting heeft van 50 cm.



Figuur 2.1 Langsdoorsnede typische persleiding

Vraag: Welke inspectietechniek is van toepassing voor een verdiepingsslag?

Antwoord: Nader onderzoek van de wanddikte met een pig uitgerust met ultrasone meting op locatie met luchtophoping, meting langsprofiel (X, Y, Z) met ATU-meting of XYZ-pig.

N.B. Bij GVK-leidingen is onderzoek van de wanddikte niet van toepassing, aangezien daar geen aantasting optreedt.

Lekkage

Lekkage is nauwkeurig op te sporen met technieken op basis van geluid dat via lekken de persleiding verlaat of binnenkomt.

Electroscan meet het ontsnappen van elektriciteit vanuit de leiding via lekken. Daarnaast kunt u met een voegentester individuele voegen beproeven. Deze methode is relatief bewerkelijk.

Sterkte

Bij het onderzoeken van de buissterkte zijn de resterende wanddikte, scheuren en de kwaliteit van het leidingmateriaal meestal de bepalende parameters. De wanddikte is te bepalen met een UT-pig op basis van een ultrasone meting. Deze methode is geschikt voor kunststof en metaal. Voor beton en asbestcement (AC) is de rioolradar een goed alternatief. Daarnaast kunt u met sonar, al dan niet gecombineerd met laser, de binnendiameter bepalen. Door deze te vergelijken met de oorspronkelijke diameter krijgt u ook een indruk van de resterende wanddikte.

Video-inspectie is vooral geschikt om te zien waar aantasting optreedt. De grootste meerwaarde hierbij zit in het opsporen van plekken waar bijvoorbeeld een interne coating of lining kapot is.

Het nemen van boorkernen of het opgraven en onderzoeken van een leidingsectie zijn destructieve technieken die goed inzicht geven in de kwaliteit van de leiding op een bepaalde plaats. Belangrijk hierbij is dat u het monster op een representatief punt laat nemen.

Hydraulica

De drie meest voor de hand liggende oorzaken van een toegenomen weerstand zijn sediment, lucht en wandruwheid (aannemende dat diameterafname door relining in beeld is). Sediment kunt u met sonar opsporen. Maar een veel directer methode is goed reinigen met pigs en daarna nogmaals meten of het probleem is opgelost.

Lucht kunt u opsporen door bij het opstarten het pompgedrag te analyseren (zie CAPWAT handboek).

Een eventuele toename van de wandruwheid door aantasting is met visuele inspectie te traceren.

Zetting

Een effectieve manier om de hoogteligging van de leiding te meten, is een pig/ATU-meting. Hierbij zet u de leiding vol en leidt u er een niveausensor doorheen. Een andere methode is de hellingmeting of video-inspectie gecombineerd met een voegwijdtemeting.

2.7 Analyse resultaten: bepalen maatregelen

Op basis van de resultaten van de verdiepingsinspectie besluit u welke maatregelen nodig zijn.

3 Praktijkvoorbeelden fase 1

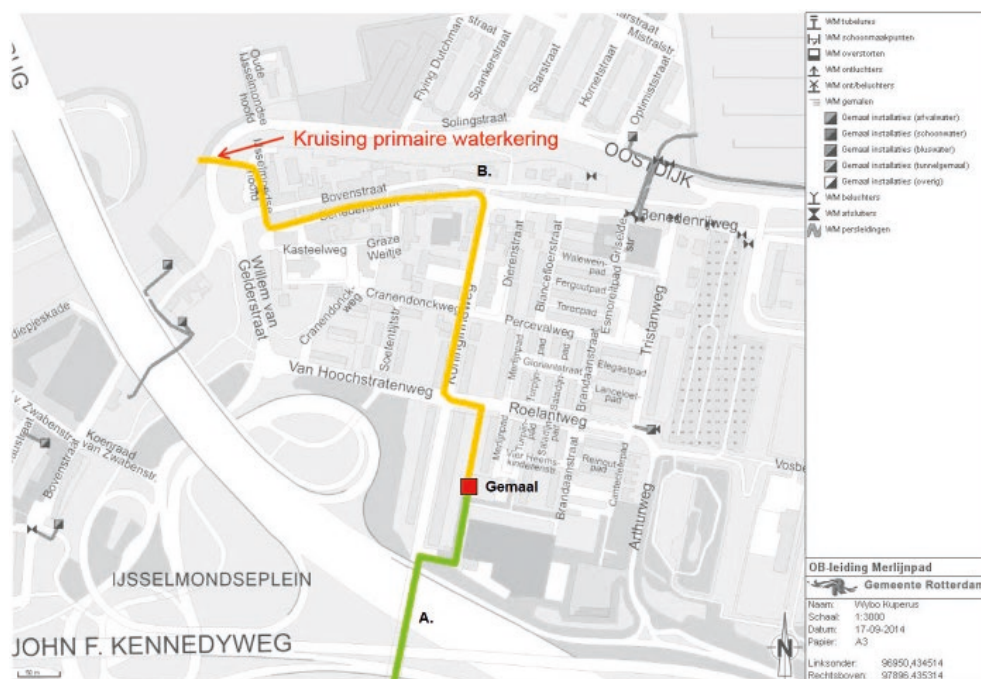
De vier beheerders die nauw betrokken zijn geweest bij het opstellen van het stappenplan, hebben ieder twee cases aangedragen om de aanpak voor fase 1 te testen en evalueren. Hierbij is ook het invulformulier uit bijlage 1 gebruikt. Dit hoofdstuk werkt vier van deze praktijkvoorbeelden uit.

3.1 Case I: Rotterdam - Persleidingstracé gemaal 29, Merlijnpad

Figuur 3.1 toont de ligging van gemaal Merlijnpad in Rotterdam. Dit gemaal voert via persleiding A af naar rwzi Dokhaven via rioolgebied 36. Tijdens hevige neerslag en bij problemen benedenstrooms van persleiding A voert dit gemaal ook rechtstreeks af naar de Nieuwe Maas via de overstortleiding, ofwel de OB-leiding (overstortbemaling).

De OB-leiding is voor Rotterdam cruciaal om in de stad droge voeten te houden en het binnendijks overstortende volume te beperken. De gemeente beheert zowel het gemaal als de leidingen en is verantwoordelijk voor de debietsturing.

De OB-leiding mondt onder water uit in de Nieuwe Maas. Aangezien dit waterpeil fluctueert met het getij, is de leiding bij de dijk kruising voorzien van be- en ontluchters. De leiding staat daarbij deels droog.



Figuur 3.1 Plattegrond met persleidingstracé gemaal 29



Figuur 3.2 Luchtfoto gebied met persleidingstracé gemaal 29

3.1.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

Het systeem bestaat uit twee persleidingen, in dit geval ging de interesse uit naar de OB-leiding. Deze overstortleiding kent geen andere inprickers en is daarmee voor het invulformulier te zien als hydraulische eenheid.

3.1.2 Functionele eisen

De OB-leiding moet 270 m³/h kunnen verwerken.

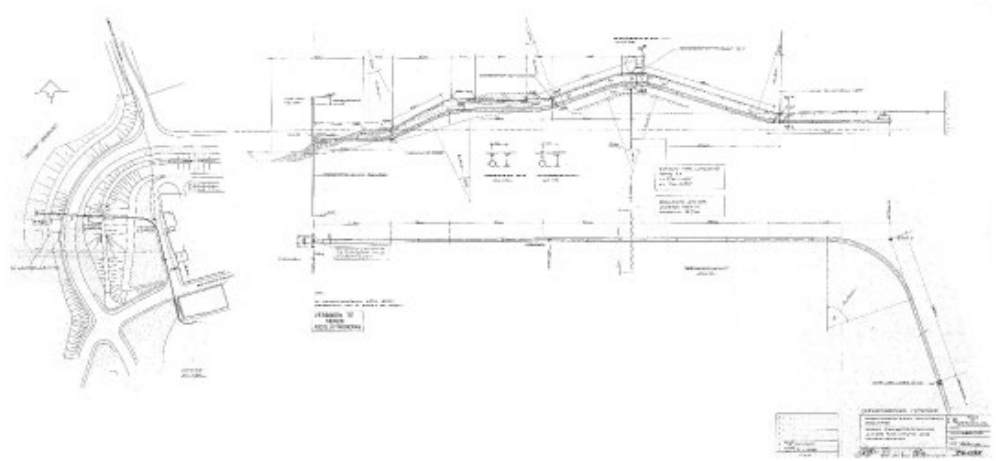
3.1.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

De betonnen leiding is 800 m lang, heeft een diameter van 400 mm en is aangelegd in 1940. Bijzonder is de kruising met een primaire waterkering. Dit deel van de leiding is van staal, 100 meter lang en aangelegd in 1980.

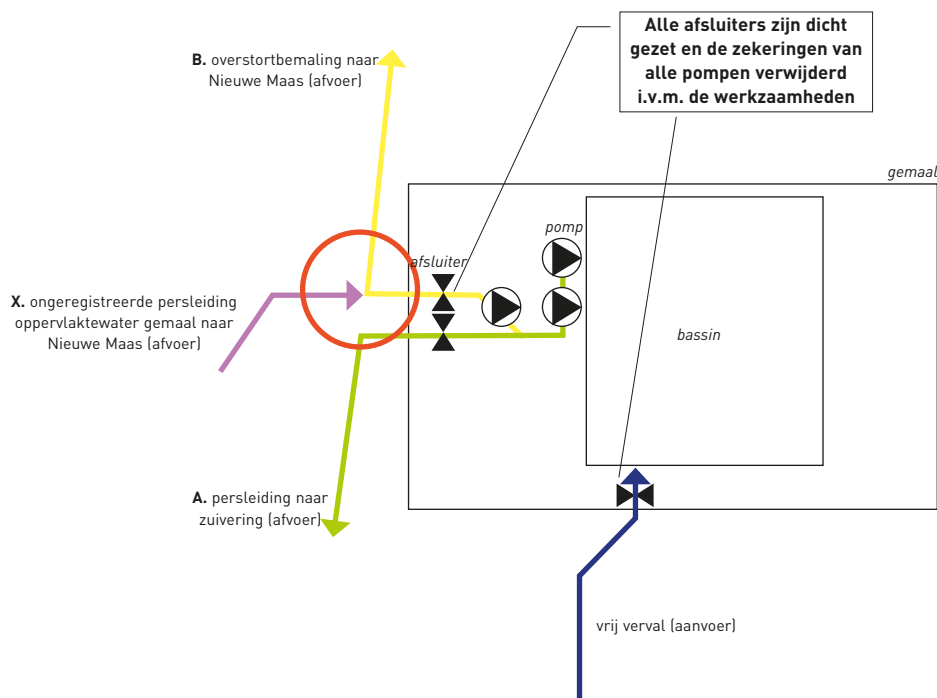
De gegevens die over de leiding beschikbaar zijn, staan in een digitaal dossier. De beheerder kan in dit dossier per locatie inzoomen, waarna de onderliggende revisietekeningen beschikbaar komen (zie figuur 3.3). De leiding heeft nauwelijks dynamische opvoerhoogte en het gemaal moet vooral de statische opvoerhoogte overbruggen. De leiding kent relatief lage waterdrukken.

Figuur 3.3 Voorbeeld technische tekening uit digitaal dossier: leiding bij dijk kruising



Nadat de beheerder alle relevante technische tekeningen en dossiers uit het archief had gehaald, heeft hij de leiding in 2012 met een videocamera laten inspecteren. Hiervoor zijn voorzieningen aangebracht om de leiding toegankelijk te maken. De video-inspectie vond plaats in het binnendijkse deel van de leiding. Inclusief alle maatregelen heeft de inspectie € 80.000 gekost voor 400 m. Hiervan is een belangrijk deel opgegaan aan het toegankelijk maken van de leiding.

De inspectie zelf heeft geen bijzonderheden opgeleverd. Wel kwam toevallig naar voren dat nog een leiding van het waterschap was aangesloten op de overstortleiding (zie figuur 3.4). Het ging hier om een afvoerleiding van een oppervlaktewatergemaal van het waterschap, die niet op tekening stond. De aannemer ontdekte de leiding na de inspectie. Bij het weghalen van zijn materieel hoorde hij ineens ergens water vallen en de persleiding liep snel vol, terwijl het gemaal niet in bedrijf was. Verder bleek dat de overgang van beton naar staal op een andere locatie zat dan de revisietekening aangaf (zie figuur 3.5). Het dossier uit het archief bleek deels onjuiste en achterhaalde gegevens te bevatten.



Figuur 3.4 Schematische tekening locatie aangesloten leiding oppervlaktewatergemaal



Figuur 3.5 Bijzonderheden uit dossier

Technische eisen
Niet beschikbaar.

Omgevingsaspecten
De leiding ligt in stedelijk gebied, maar niet in het centrum. Voor Rotterdam is dit een relatief kleine leiding. Voor de gemeente is vooral de dijkkruising erg belangrijk vanwege het overstromingsrisico.

Calamiteitenplan
De gemeente heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld. Maar dit plan voorziet niet in een specifieke aanpak per leidingsectie. Voor deze leidingsectie zijn tijdens droog weer en beperkte neerslag alternatieve routes beschikbaar om het afvalwater via de vuilwaterleiding naar de rwzi af te voeren. Dit geldt uiteraard niet voor de tijdens de inspectie ontdekte afvoer van het oppervlaktewatergemaal van het waterschap. Het langdurig buiten bedrijf nemen voor inspectie zou hier tot problemen kunnen leiden. Bij hevige neerslag is het erg belangrijk dat de leiding zijn functie behoudt om droge voeten te houden.

Faalhistorie

Vrij snel na de inspectiewerkzaamheden was sprake van een leidingbreuk (zie de figuren 3.6 en 3.7). De leiding was gebroken nabij de overgang van staal naar beton, bij de teen van de dijk (zie figuur 3.8).

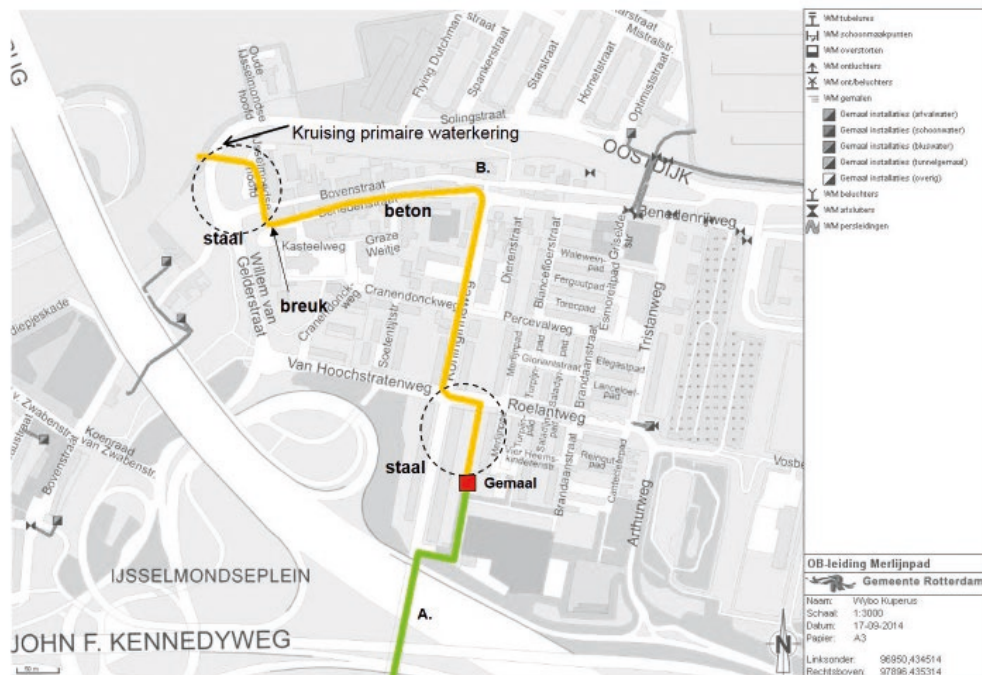
Figuur 3.6 Foto's gebroken persleiding: buitenkant (links) en binnenkant (rechts)



Figuur 3.7 Foto locatie breuk persleiding: water op straat



Figuur 3.8 Locatie leidingbreuk en materialen persleiding



3.1.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Erg belangrijk. In dit gebied kunnen door zetting voegverbindingen open komen te staan en het ongewapend beton kan scheuren/afbreken. Daarnaast is lekkage in het dijklichaam zeer ongewenst.
- Constructief bezwijken: Ja, vooral de betonnen leidingdelen.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Belangrijk, is ook een goed hulpmiddel om te controleren of de leiding inderdaad geen onbekende aansluitingen heeft.
- Zetting: Zeer belangrijk, vooral nabij overgangen tussen grondlichamen, in dit geval de dijk. Na 20 tot 50 jaar kan zetting dusdanig zijn dat pendelstukken de zetting niet meer kunnen opvangen. Gezien de leeftijd van de leiding is dit dus inmiddels een aandachtspunt.

3.2 Case II: Rotterdam - Persleidingstracé Heemraadsingel

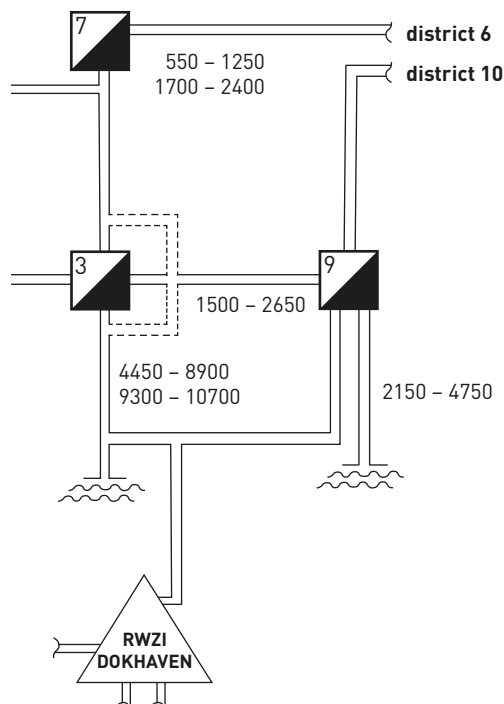
Figuur 3.9 toont de ligging van gemaal Heemraadsingel in Rotterdam. Dit gemaal voert via een persleiding rechtstreeks af naar rwzi Dokhaven. Het deel van de persleiding dat onder de Nieuwe Maas doorgaat, gebruikt de gemeente voor de afvoer van zowel gemaal Heemraadsingel als gemaal Westersingel. Samen zijn deze twee gemalen verantwoordelijk voor de afvoer van Rotterdam-Noord en daarmee is dit een relatief belangrijk leidingtracé. De gemeente beheert zowel het gemaal als de leidingen en is verantwoordelijk voor de debietsturing. Hierop is één uitzondering: de afvoer is stop te zetten als dat nodig is vanuit de procesvoering van rwzi Dokhaven.



Figuur 3.9 Ligging leidingtracé Heemraadsingel

Het systeem heeft meerdere mogelijkheden voor de bedrijfsvoering. Naast een grote range aan debietcombinaties zijn enkele bijzondere manieren van bedrijfsvoering mogelijk, bijvoorbeeld als gemaal 3 of 9 (tijdelijk) buiten werking is. Figuur 3.10 toont schematisch de verbindingen tussen de gemalen en de aanwezige directe lozingsmogelijkheden in de Nieuwe Maas.

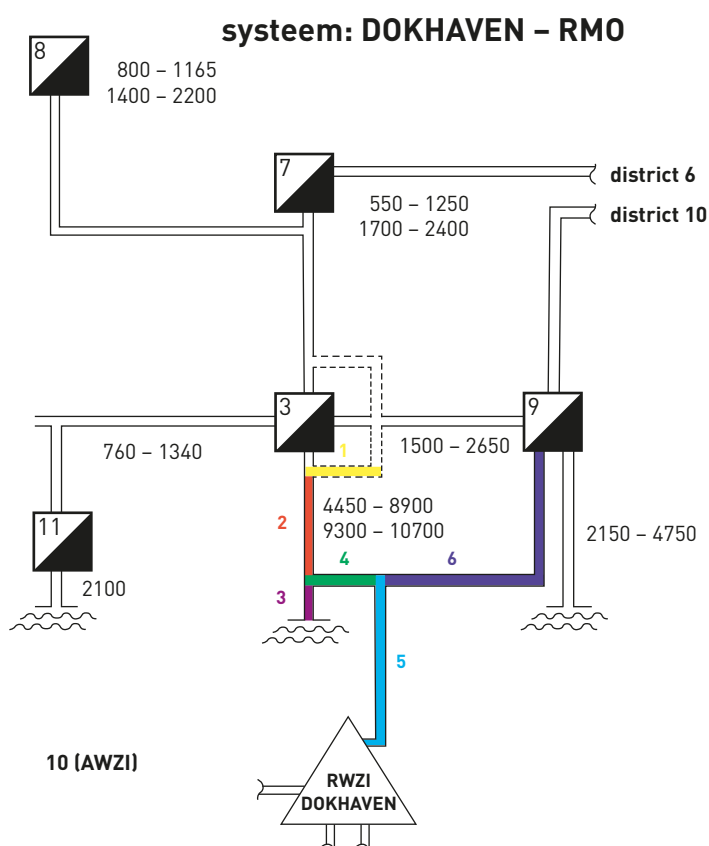
Figuur 3.10 Schematische weergave mogelijke routes afvalwater



3.2.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

Het persleidingstracé is in zes hydraulische eenheden te verdelen (zie figuur 3.11). Per hydraulische eenheid kunnen bij een willekeurige bedrijfssituatie andere debieten optreden en hiermee samenhangend een andere belasting. Figuur 3.12 toont de ligging van hydraulische eenheid nummer 2, die in dit voorbeeld is uitgewerkt.

Figuur 3.11 Indeling in zes hydraulische eenheden



In tabel 3.1 staan de kenmerken van de zes hydraulische eenheden.

Hydraulische eenheid	Debiet min	Debiet max
1: Bypass leiding gemaal	0	2.650
2: Leiding van gemaal 3 naar nooduitlaat	0	10.700
3: Leiding naar nooduitlaat	0	10.700
4: In lage debietrange twee richtingen mogelijk	-2.000	10.700
5: Leiding onder Nieuwe Maas	0	9.693
6: Leiding van gemaal 9 naar leiding onder Nieuwe Maas	0	4.000

Tabel 3.1 Kenmerken hydraulische eenheden



Figuur 3.12 Ligging hydraulische eenheid 2 (in rood)

3.2.2 Functionele eisen

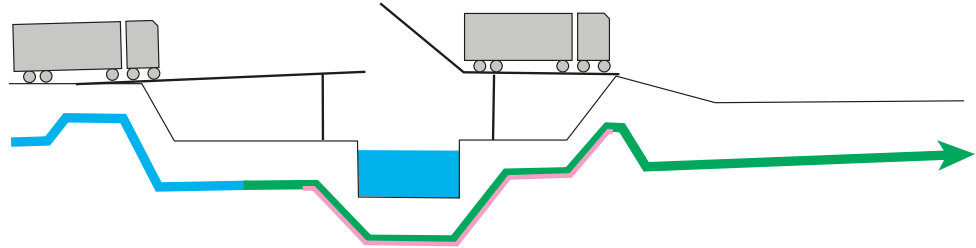
De leiding in hydraulische eenheid 2 moet debietranges kunnen verwerken tussen 4.450-8.900 m³/uur tijdens normale bedrijfsvoering en tussen 9.300 en 10.700 zodra bij grote buien de overstortbemaling aan gaat en tussen 1.500-2.650 m³/uur indien gemaal 3 in storing staat. Vanwege de vele inpijkkende en achterliggende gemalen (cascadesysteem) en rioolvreemd water is er altijd een stevige afvoer.

3.2.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

De leiding in hydraulische eenheid 2 bestaat uit verschillende materialen en diameters. De leiding is bijna 2 km lang en stamt uit 1940, maar is deels vernieuwd. De delen uit 1940 zijn medio jaren 80 voorzien van aquaringen. De leiding moet vooral statische opvoerhoogten overbruggen en kent relatief lage waterdrukken. Na archiefonderzoek is een uitgebreid dossier met tekeningen beschikbaar (zie figuur 3.13).

Figuur 3.13 Tekening uit dossier



De tekening in figuur 3.13 laat een interessant leidingtracé zien. Wel en niet onderheide delen wisselen elkaar af. De leiding ligt boven de tunnelbak van de metro en heeft een doorgang onder het kanaal. Ook beschikt de leiding over mangaten en een be- en ontlufter net boven de metrobak.

Bijzonder aan dit systeem zijn de be- en ontlufter op meerdere plaatsen. Bij stilstand zorgen deze voor lucht in de leiding en bij falen kunnen deze zorgen voor hevelen van de leiding, waardoor bij hoge buitenwaterstanden water uit de rivier kan binnenstromen via deze leiding.

Technische eisen

Niet beschikbaar.

Omgevingsaspecten

De leiding loopt door grootstedelijk gebied met veel bijzondere infrastructuur: een kruising met een vaarweg waar de leiding nabij het bruggenhoofd ligt en een doorgang van drie dijken, waarvan één primaire waterkering. Daarnaast kruist de leiding een metrotunnel en vele kabels en andere leidingen. De gemeente vindt deze leiding vanwege de ligging en de afvoerfunctie zeer belangrijk.

Calamiteitenplan

De gemeente heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld, maar dit moet zij op een aantal punten aanscherpen (zie de recente faalgebeurtenis hieronder bij 'Faalhistorie'). Belangrijke aandachtspunten zijn het moment van signalering van de buitendienst en de beschikbaarheid van een dossier met informatie over de omgeving (leidingen, funderingswijze en bronneringsmogelijkheden).

Faalhistorie

Door zetting is de leiding bij de overgang van niet onderheid naar wel onderheid gebroken (zie de figuren 3.14 en 3.15). Dit is een vrij recente faalgebeurtenis op de overgang van gietijzeren elementen. Bij de gemeente zijn meerdere incidenten met dit type leiding bekend. In vrijwel alle gevallen was zetting de primaire oorzaak. Soms lag het ook aan de kwaliteit van de voegverbinding; door droogstand was het voegtouw uitgedroogd. De gietijzeren buis zelf is in geen enkele situatie bezweken.



Figuur 3.14 Locatie leidingbreuk in grootstedelijke omgeving in bruggenhoofd



Figuur 3.15 Foto's lekkage leiding door zetting

3.2.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Zeer belangrijk, door zetting gaan voegen steeds verder openstaan en lekkage door uitgedroogd voegmateriaal is een bekend probleem door historische faalgebeurtenis.
- Constructief bezwijken: Belangrijk, controle op doorroesten van staal.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Belangrijk aspect, omdat het een indicator is voor faalmechanismen en er een groot verzorgingsgebied achter ligt met een grote impact. Maar een harde ingrijpmaatstaf op hydraulica (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik) ontbreekt en door de grote range aan gebruikstoestanden vraagt deze analyse om serieuze inspanning.
- Zetting: Zeer belangrijk, omdat leidingen oud zijn, vooral bij overgangen/kruisingen met veel hoogteverschil en van wel naar niet onderheid (zie figuur 3.16).

In feite geldt voor deze leiding vanwege de ligging en functie: 'too big to fail' en is enige voorzorg gewenst.

Figuur 3.16 Zettingskaart op basis van satellietmetingen: leiding in bruggenhoofd bij overgang onderheid-niet onderheid



De blauwe lijn in figuur 3.16 geeft globaal de ligging van de leiding aan. De oranje bolletjes in het rood gearceerde gebied laten zien dat het maaiveld is verzakt bij de leidingbreuk. Daarnaast is grote lokale zetting zichtbaar aan de noordzijde van het kanaal.

3.3 Case III: Yerseke

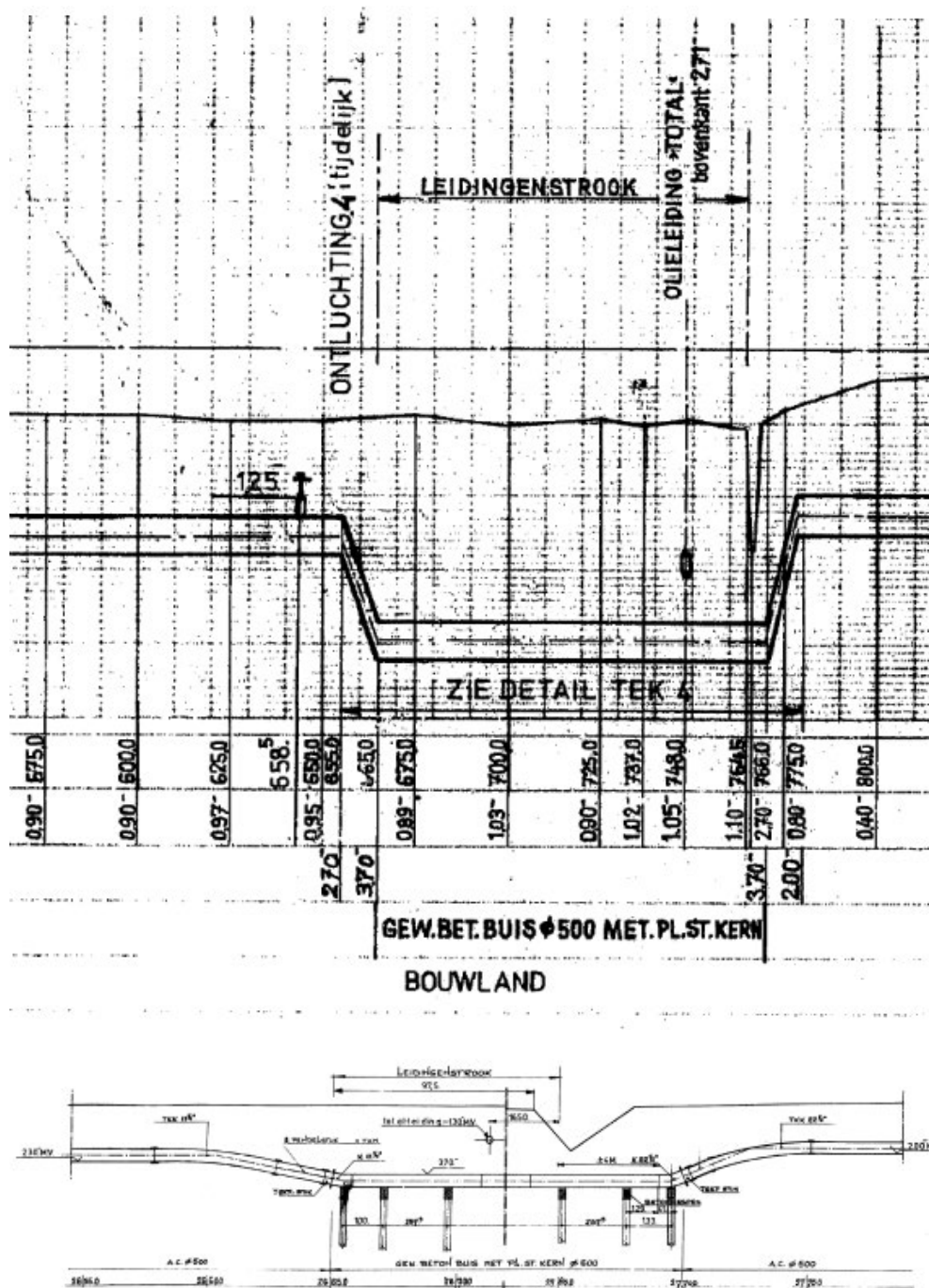
Figuur 3.17 toont de ligging van de persleiding voor de afvoer van afvalwater van Yerseke naar Kruiningen. De leiding voert zowel dwa als rwa af. Op het tracé prikken enkele rioolgemalen in. De leiding ligt over het algemeen in onbebouwd gebied, zodat falen niet direct leidt tot grote maatschappelijke schade. Deze leiding staat hiermee symbool voor een groot deel van de persleidingen in beheer bij waterschappen.



Figuur 3.17 Ligging persleiding Yerseke-Kruiningen

Van deze leiding is een uitgebreid dossier met tekeningen van oplevering en revisie beschikbaar. Dit dossier is via een GIS-applicatie en een relatief eenvoudig te raadplegen database toegankelijk.

Figuur 3.19 Tekeningen uitvoering leiding bij kruising leidingenstrook, inclusief overgangen wel-niet onderheid



Technische eisen

Niet beschikbaar. Wel is bekend dat de leiding bij oplevering afgeperst moest worden op 6 bar. Delen van de leiding zijn echter maar op 5 bar afgeperst vanwege praktische problemen bij de oplevering.

Omgevingsaspecten

Voor deze leiding is een dossier met oude vergunningen beschikbaar. In een GIS-omgeving is inzichtelijk welke gebiedsfuncties en andere infrastructuur de leiding doorkruist. Belangrijke elementen zijn bijvoorbeeld de kabels- en leidingenstrook en de spoorlijn/verkeersweg.

Calamiteitenplan

Het waterschap beschikt over een calamiteitenplan, met daarin een draaiboek voor reparatie van de leiding. Zo moet de beheerder de afvoer bij calamiteiten per as of een tijdelijke pomp-inrichting (TPI) regelen. Het calamiteitenplan is gericht op de eigen taken van het waterschap, het voorziet niet in de te nemen acties bij een calamiteit bij andere infrastructuur.

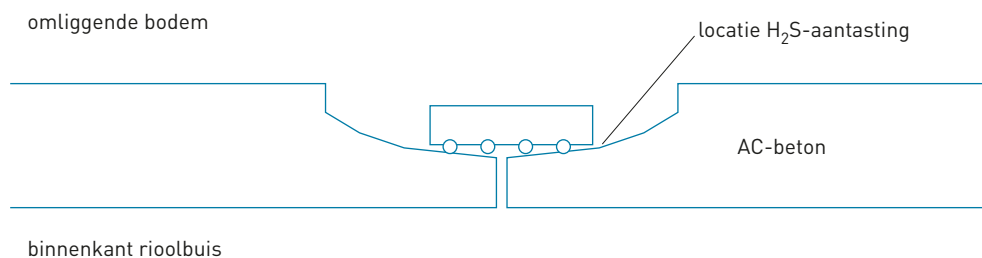
Faalhistorie

De leiding heeft nog niet gefaald. Wel is er ervaring met falen van andere AC-leidingen in dit gebied. Wellicht is het ontbreken van faalgebeurtenissen een gevolg van de strenge beproevingseisen tijdens de aanleg en oplevering, waardoor de leidingen van hoge kwaliteit zijn. Deze strenge eisen gelden bijvoorbeeld voor waterdichtheidstesten en trekvastheid van de verbinding.

3.3.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Ja, want bekend is dat bij AC-beton bij de verbindingen H₂S-aantasting kan plaatsvinden die niet van binnenuit zichtbaar is (zie figuur 3.20).
- Constructief bezwijken: Ja. AC-beton is gevoelig voor aantasting en het waterschap is beducht voor deze leiding vanwege de kruisingen met belangrijke infrastructuur.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Deze leiding heeft een historie met capaciteitsproblemen door vuil/lucht en de beheerder heeft regelmatig gepigd. Een harde ingrijpmaatstaf op hydraulica (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik) onbreekt.
- Zetting: Anders dan restzetting is zetting in dit gebied vermoedelijk een beperkt probleem.

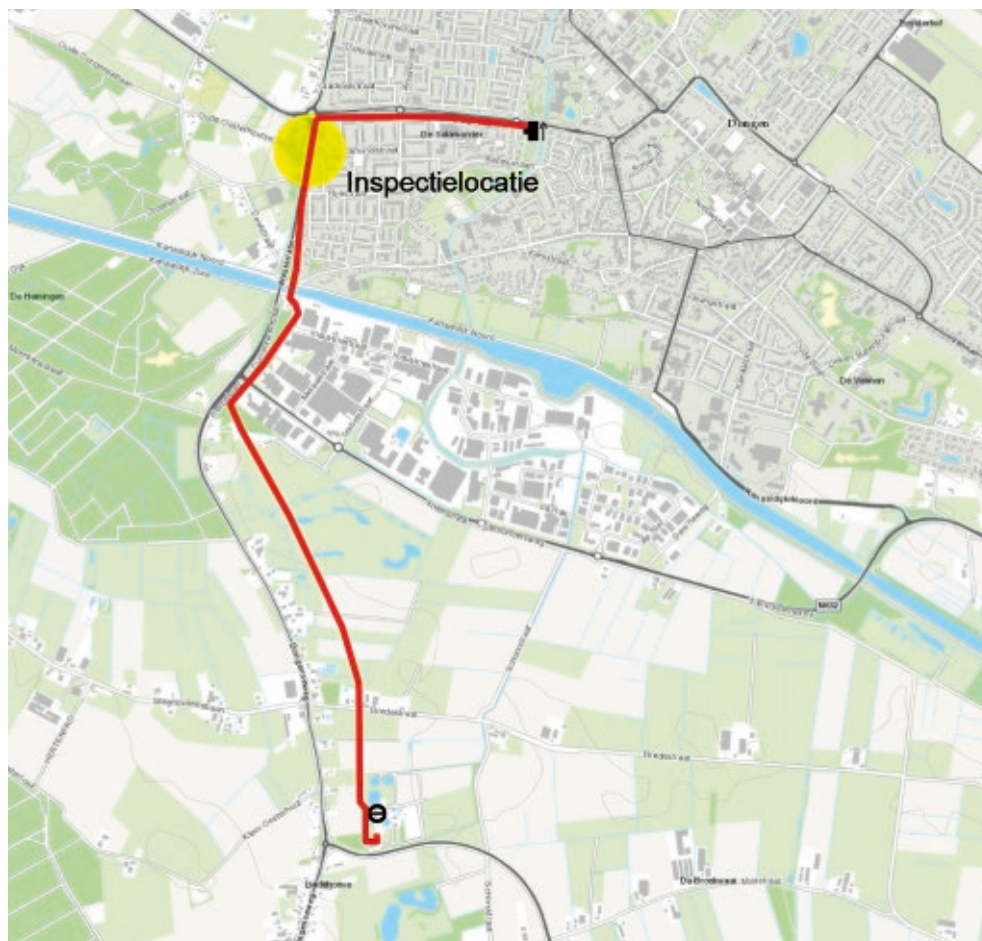
Figuur 3.20 Aantasting door H₂S bij verbindingen van AC-leidingen op voor inspectie van binnenuit niet zichtbare locatie.



3.4 Case IV: Persleiding Dongen naar rwzi Rijen

De persleiding Dongen-rwzi Rijen zorgt voor de afvoer van zowel dwa als rwa.

Figuur 3.21 Ligging persleiding Dongen



De gele stip in figuur 3.21 geeft de locatie aan waar in 2014 is geïnspecteerd.

3.4.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

De persleiding is een echte transportleiding zonder inpijpers en is daarom in zijn geheel als een hydraulische eenheid te beschouwen.

3.4.2 Functionele eisen

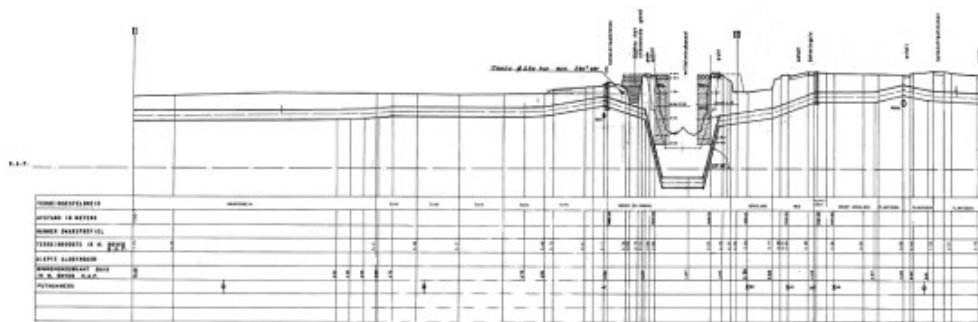
De maximale afvoer bij dwa bedraagt 720 m³/h en bij rwa 1.420 m³/h. Bij rwa mag hierbij maximaal 9 mwk aan wrijvingsverlies optreden.

3.4.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

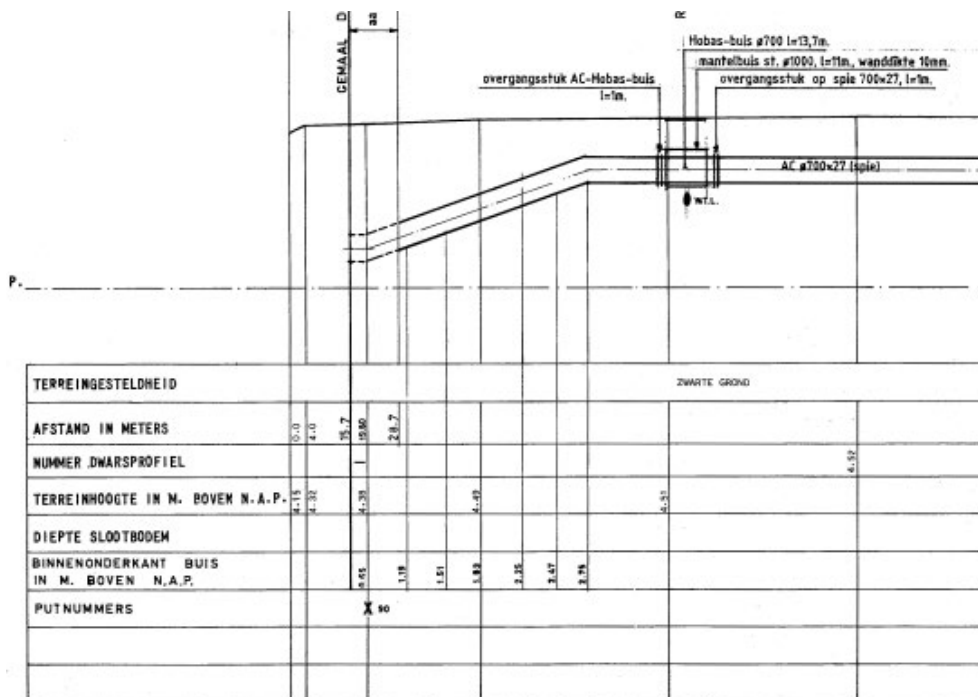
De leiding is van AC-beton en aangelegd in 1974. Het tracé is ongeveer 3,5 km lang, met een diameter van 700 mm. Bijzonder is de zinker onder het Wilhelminakanaal. Daarnaast heeft de beheerder de leiding in het verleden vaak gepigd om vervuiling te verwijderen. Dit is de laatste jaren niet veel meer 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 dossier met tekeningen beschikbaar. Deze zijn via GIS en een relatief eenvoudig te raadplegen database toegankelijk (zie figuur 3.22).



Figuur 3.22 Tekening ligging persleiding Dongen

Door werkzaamheden is de leiding in 2014 buiten bedrijf geweest. De beheerder heeft deze mogelijkheid gebruikt om een deel van het tracé te inspecteren (zie figuur 3.21). Hierbij is de leiding visueel geïnspecteerd, zijn radarmetingen uitgevoerd op de restdikte van gezond materiaal, zijn boorkernen met een fenolftaleinetest 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. Als de leiding in bedrijf is, treedt naar verwachting exfiltratie op.



Figuur 3.23 Detail overgang AC-GVK-buis

Technische eisen

Specifieke technische eisen zijn niet beschikbaar. Wel is bekend dat in het verleden een eis van 6 bar gold.

Omgevingsaspecten

De leiding ligt grotendeels in een buitengebied en kruist geen bijzondere infrastructuur, behalve bij het Wilhelminakanaal. Hierdoor zijn omgevingsaspecten niet relevant.

Calamiteitenplan

Het waterschap heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld. Maar voor deze leiding bestaat geen specifiek plan.

Faalhistorie

De leiding heeft in februari 1999 gefaald door lekkage bij een voegverbinding (zie figuur 3.24).

Figuur 3.24 Foto's lekkage persleiding Dongen in 1999



3.4.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Hiermee zijn in het verleden al problemen geweest en het is bekend dat (bij hogere leeftijd) de verbindingen niet altijd even betrouwbaar zijn. De visuele inspectie bevestigt dit beeld.
- Constructief bezwijken: Deze kans bestaat door mogelijke aantasting van het AC-beton.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Zeker, want in het verleden moest de beheerder de leiding regelmatig piggen. Desondanks ontbreekt een duidelijke ingrijpmaatstaf op hydraulica (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik).
- Zetting: Niet, want in dit gebied is nauwelijks sprake van zetting.

4 Praktijkvoorbeelden fase 2

Drie beheerders hebben fase 2 'Basis' uit figuur 2.1 doorlopen voor vier leidingen. Daarbij is fase 2 voor de leiding uit Case III Yerseke-Waarde doorlopen alsmede voor drie andere leidingen.

4.1 Case III. Yerseke-Waarde Fase 2

Uit het resultaat van fase 1 (zie paragraaf 3.3) blijken lekkage en constructief bezwijken voor deze leiding de relevante faalmechanismen zijn. Waterschap Scheldestromen heeft in 2016 en 2017 lekdichtheidstesten en sterktetesten uitgevoerd. Belangrijke aanleiding hiervoor was de wens om via de leiding een hoger debiet af te voeren. De testen moesten uitwijzen of de leiding nog tegen de bijbehorende hogere werkdruk bestand is. Deze paragraaf beschrijft de opzet en de bevindingen van deze testen. De testen zijn uitgevoerd op de gehele leiding en niet alleen op de hydraulische eenheid die is beschreven in paragraaf 3.3. Figuur 4.1 geeft een overzicht van de gehele leiding.



Figuur 4.1 Ligging persleiding Yerseke-Waarde

4.1.1 Voorbereiding

Als voorbereiding op de testen is de leiding gereinigd met behulp van een foampig. Daarbij is vastgesteld dat geen lucht door de pig uit de leiding is geduwd, wat een indicatie is dat op dat moment niet veel lucht in de leiding zat.

Tevens zijn alle appendages zoals afsluiters en ontluchters opgezocht en nagekeken. Veel ontluchters bleken vol te zitten met vet, zodat reiniging noodzakelijk was. Het bleek niet eenvoudig om alle afsluiters te lokaliseren en sommige afsluiters bleken in eerste instantie niet volledig af te sluiten.

Tenslotte is in een afpersplan de uitvoering van de testen tot in detail beschreven. De belangrijkste onderdelen van het afpersplan zijn navolgend beschreven. Een praktische beperking vanuit de structuur van het afvalwatersysteem is dat de test alleen kan worden uitgevoerd tijdens droog weer en met een maximale duur van 8 uur.

4.1.2 Afpersplan

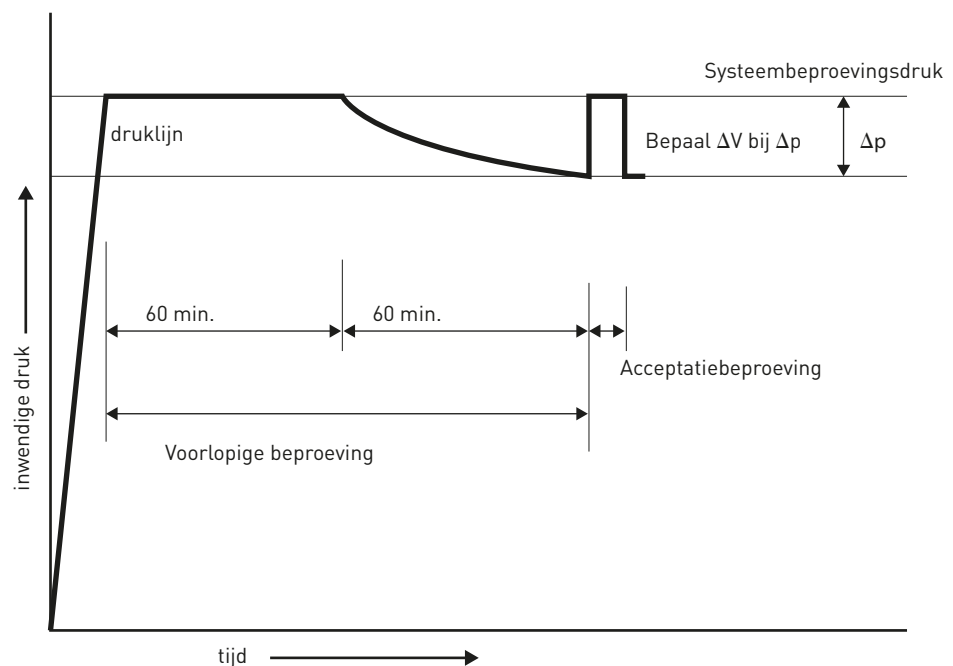
Voor aanvang van de test zijn de volgende acties ondernomen:

- Alle gemalen die op de leiding lozen, laten uitschakelen door operator.
- Afsluiters dichtzetten door operator, ondersteund door aannemer. Via een stethoscoop is gecontroleerd of de afsluiters helemaal dicht waren.
- Afpersunit aansluiten op piglanceerpunt bij gemaal Yerseke Steeweg nadat eventueel aanwezige lucht afgelaten is. Controleren wat de invloed van de pomp op de drukmeter van de afpersunit is.
- Stabilisatiefase inzetten. Deze is bedoeld om de waterkolom in de leiding tot rust te brengen en eventueel achtergebleven lucht in het afvalwater op te lossen. Voor deze fase wordt minimaal 1 uur uitgetrokken. De druk wordt in deze fase opgevoerd naar de beproevingsdruk en constant gehouden door bij te pompen. Tijdens deze fase worden afsluiters gecontroleerd op waterdichtheid en eventueel nagetrokken.

Vervolgens zijn de testen uitgevoerd conform de testmethode uit figuur 4.2. In deze methode wordt de druk opgevoerd tot de beproevingsdruk. De beproevingsdruk wordt gedurende 1 uur gehandhaafd door indien nodig water bij te pompen. Na 1 uur wordt het bijpompen gestaakt en wordt de drukval gemeten. Aansluitend wordt de druk weer opgevoerd tot de beproevingsdruk, waarbij het bijgepompte volume wordt gemeten. Dit volume is het opgetreden lekverlies.

De sterktetest wordt uitgevoerd na een succesvolle test op dichtheid. De beproevingsdruk bij de dichtheidstest bedraagt 2 bar, de beproevingsdruk bij de sterktetest bedraagt 4 bar. Deze beproevingsdrukken komen overeen met de beproevingsdrukken bij de opleveringstest uit 1975.

Figuur 4.2 Testprotocol leidingbeproeving

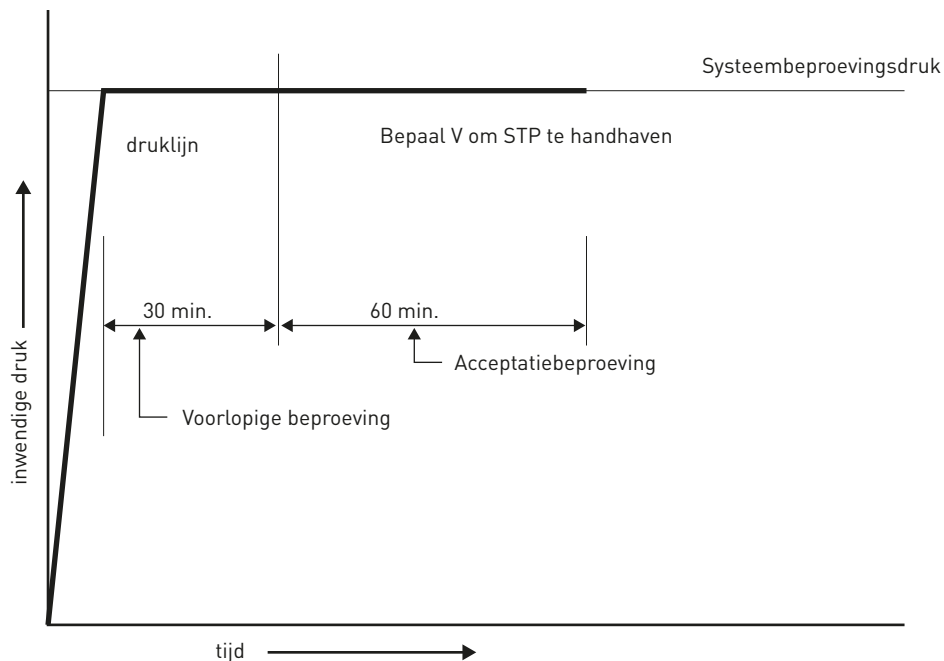


Belangrijk vraagstuk bij de lektheidtest is het toegestane lekdebiet. Bij oplevering gold voor deze leiding een acceptabel lekdebiet van 50 l/h, wat overeenkomt met een erg klein lek in internationale literatuur. Deze eis is beduidend minder streng dan de eis conform NEN 3650-4, die voor deze leiding neer zou komen op 1,5 l/h. Het waterschap heeft voor deze leiding gesteld dat, gegeven de leeftijd, een lekdebiet van 100 l/h acceptabel is.

Voor de sterktest geldt dat, als de leiding nieuw zou zijn, het drukverlies na een uur niet meer mag zijn dan 40 kPa, ofwel 0,4 Bar bij een testdruk van 4 Bar. Dit drukverlies, dat overeenkomt met de eis uit NEN 805, is als basis meegenomen in de test.

4.1.3 Resultaten

Het waterschap heeft op 3 oktober 2016 de eerste poging gedaan om de testen uit te voeren. De drukmeter was in de eerste poging aangesloten op dezelfde leiding als de pomp van de afpersunit. Tijdens de uitvoering van de test bleek dat de drukmeter te dicht bij de pomp van de afpersunit zat, waardoor de testprocedure zoals opgenomen in figuur 4.2 niet mogelijk bleek. Als alternatief is ingezet op de lekverliesmethode conform figuur 4.3.



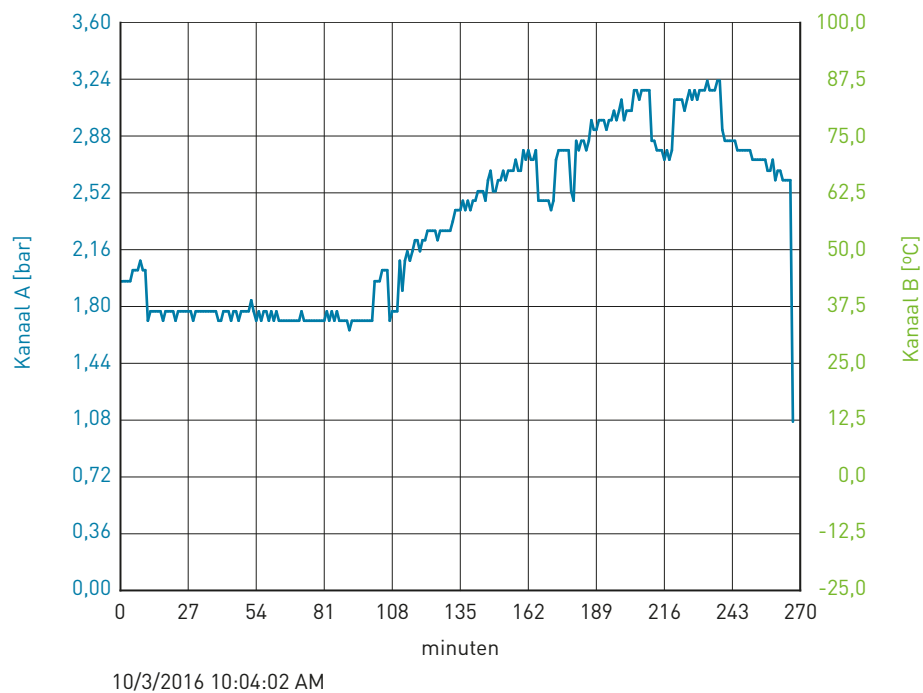
Figuur 4.3 Alternatief testprotocol: lekverliesmethode (STP= system test pressure)

De gemeten druk in de persleiding tijdens de eerste beproeving is opgenomen in figuur 4.4. Bij het begin van de meting is de leiding op een druk van 2 bar gebracht en is de pomp uitgezet. De druk neemt hierop snel af naar 1,75 bar en neemt in 1:30 af tot 1,70 bar. Het weer op druk brengen tot 1,75 bar vraagt om het bijpompen van 270 liter water, ofwel omgerekend 180 l/h.

Vervolgens is geprobeerd om de druk verder te verhogen tot 4 bar, maar de maximaal bereikte druk bleef steken op 3,2 bar door een ontoereikende vulcapaciteit van de pomp.

Op 20 september 2017 is de beproeving opnieuw ingezet, maar nu met een grotere pompunit en watervoorraad (figuur 4.5). De leiding is op een druk van 4 bar gebracht, waarna bleek dat ongeveer 3,6 m³/h moest worden bijgevuld om de leiding op druk te houden. Hierop is de proef afgesloten en is gezocht naar de oorzaak. Dit bleek te liggen in een kapotte ontluchterbocht (figuur 4.6), die is ontdekt doordat ter plaatse een rioollucht en een minimale wel in de watergang werden waargenomen.

Figuur 4.4 Metingen datalogger



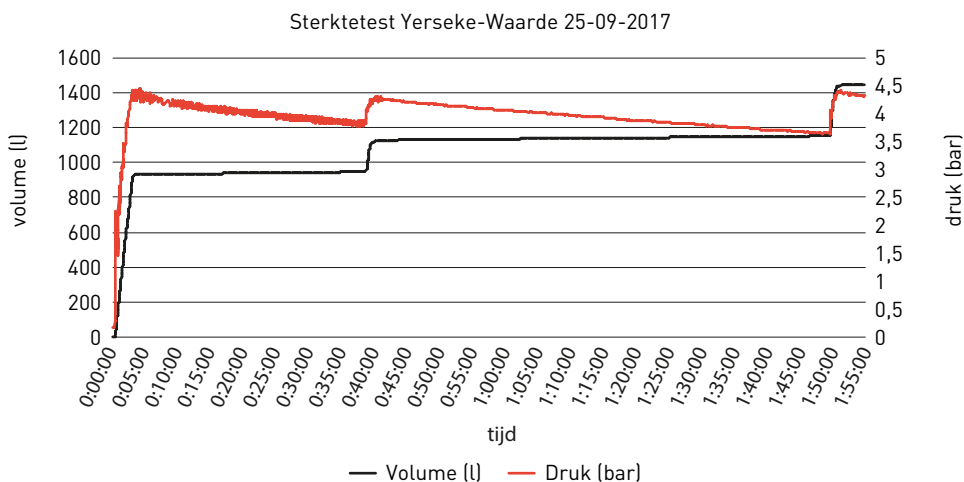
**Figuur 4.5 Pompunit en watervoorraad
beproeving 20 september**



**Figuur 4.6 Kapotte
ontluchterbocht**



Op 25 september 2017 is vervolgens de beproeving hervat. De metingen uit figuur 4.7 geven een duidelijk beeld van de beproeving. Voor het op druk van 4 bar brengen van de leiding is een volume van 900 liter benodigd. Tijdens de stabilisatiefase van 40 minuten is nog ongeveer 100 liter bijgepompt om de leiding op druk te houden. Vervolgens is de leiding weer op druk gebracht voor de testfase van 1 uur. Na dit uur bleek de druk met 0,53 bar te zijn afgenomen. Aansluitend is de leiding nogmaals op afpersdruk gebracht om het verloren volume te meten. Het verloren volume bedraagt 330 liter.



Figuur 4.7 Metingen sterktest
25 september 2017

4.1.4 Bevindingen

Het lekverlies tijdens de dichtheidsbeproeving ligt op 180 l/h. Dit is fors meer dan het toegestane lekverlies van 50 l/h bij oplevering. Hier moet wel bij worden aangetekend dat dit lekverlies zeer waarschijnlijk te wijten is aan een van de afsluiters. Tijdens de beproeving is met een stethoscoop een ruis waargenomen die kan duiden op een (33%) verlies.

De drukval bij de sterktebeproeving ligt op 0,53 bar. Dit is beperkt hoger dan de gestelde eis van 0,4 bar. Gegeven het feit dat de beproeving heeft plaatsgevonden met bestaande afsluiters en de leiding vooraf niet is ontluicht, heeft het waterschap de geconstateerde overschrijding van de eisen geaccepteerd en besloten dat geen maatregelen benodigd zijn.

De beproeving heeft ook laten zien dat een echt lek ($3,6 \text{ m}^3/\text{h}$, komt overeen met $0,15 \text{ l/m}^2$, een lekdebiet dat de grenswaarde is voor lage druk leidingen conform NEN 1610), zoals de kapotte beluchterbocht, in de praktijk leidt tot zintuiglijk waarneembare consequenties. Het gemeten lekdebiet van 180 l/h is een factor 20 lager. Een dergelijk lekdebiet leidt niet snel tot waarneembare consequenties en is daardoor lastig op te sporen.

De benodigde inzet voor de beproeving op dichtheid en sterkte is bijgehouden door het waterschap.

De voorbereiding (afsluiters lokaliseren en gangbaar maken, ontluichters reinigen/verwijderen en foampiggen) heeft in totaal € 20.000,- gekost aan externe kosten en € 5.000,- aan interne kosten.

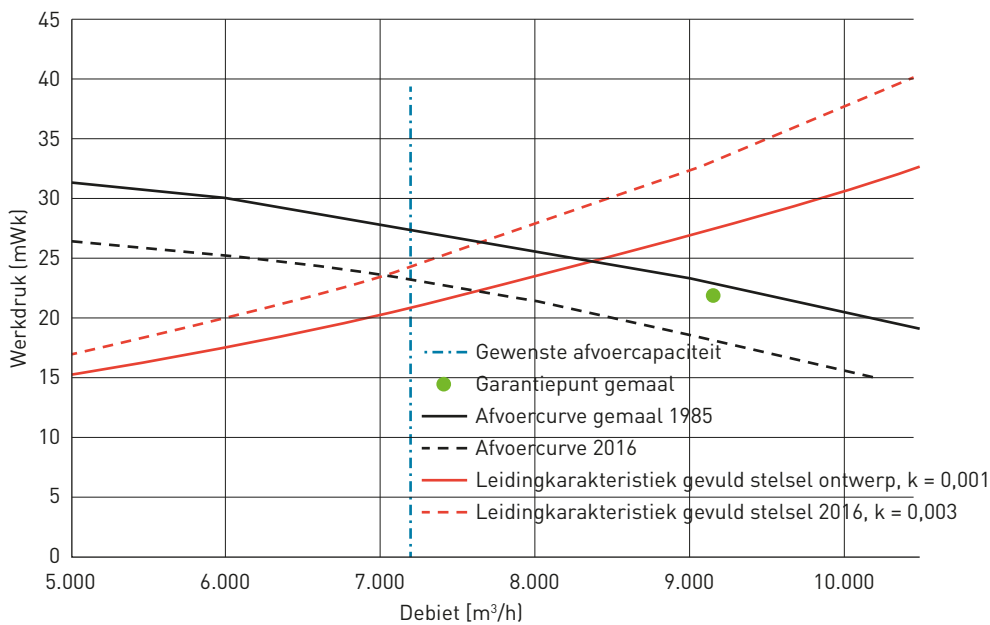
Voor de eerste beproeving was een bedrag benodigd van € 2.000,- aan externe kosten en € 4.000,- aan interne kosten.

De tweede beproeving (tweemaal uitgevoerd door lekkende beluchterbocht en inclusief reparatie) heeft € 11.000,- aan externe kosten en € 7.000,- aan interne kosten opgeleverd.

De kosten voor de beproeving liggen hiermee in totaal op € 49.000,-, ofwel € 5,4/m persleiding. Met de eigenlijke beproeving is slechts 20% van de kosten gemoeid. Het grootste deel van het budget was in feite benodigd voor klein onderhoud: het gangbaar maken van appendages en het herstellen van de lekkage. Hierbij bleek ook weer dat de buitendienst vaak meer weet over aanwezige appendages zoals ontluichters dan is af te leiden uit tekeningen.

De inspanning heeft in dit geval opgeleverd dat is besloten dat de testresultaten voor wat betreft lektheid en druksterkte geen aanleiding geven om op korte termijn maatregelen te treffen.

Gemaal 10 hoort een debiet te kunnen leveren via de persleiding naar de rwzi van 7.200 m³/h. In de praktijk wordt deze waarde niet gehaald. Uit beschikbare debietmetingen van het gemaal is afgeleid dat in 2009 nog een maximum debiet van 7.000 m³/h geleverd werd, terwijl dit in 2016 is teruggelopen tot 6.800 m³/h. De pompen zijn in 2016 op de testbank gezet, waaruit naar voren is gekomen dat een capaciteit van ruim 8.000 m³/h haalbaar zou moeten zijn bij een schone persleiding.



Figuur 4.10 Verschuiving werkpunt leiding case V.

Figuur 4.10 geeft een schematisch overzicht van de huidige situatie met betrekking tot hydraulica. Het werkpunt van het transportsysteem is verschoven door extra weerstand in de leiding (een toename van de systeemruwheid van 1 mm naar 3 mm) en slijtage van de pompen. Het ontwerpdebiet van 7.200 m³/h kan niet meer geleverd worden. Vervuiling van de leiding of van bijvoorbeeld vlinderkleppen, zoals elders in het transportsysteem van Rotterdam ook is geconstateerd (zie figuur 4.11), kan de toename van de systeemruwheid hebben veroorzaakt.

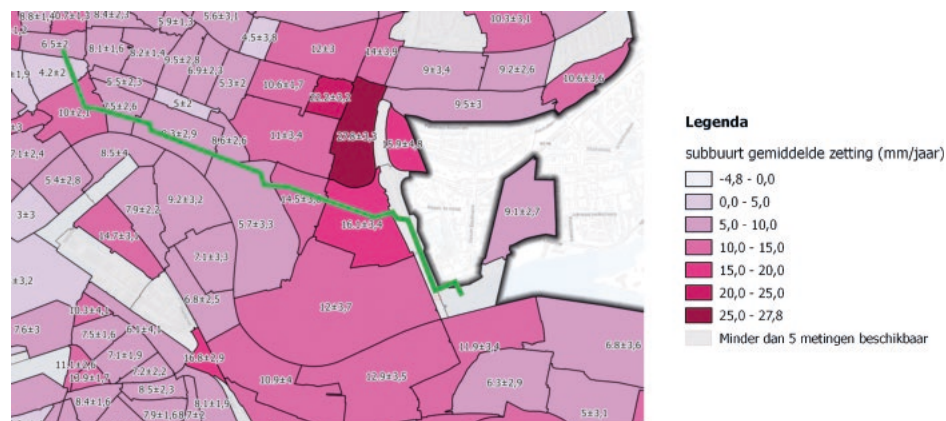


Figuur 4.11 Voorbeeld verstopping vlinderklep

4.2.2 Zetting

In Rotterdam varieert de zetting tussen 0-2 cm/jaar, zie figuur 4.12. Lokale zettingsverschillen leveren in de praktijk problemen op. Voor de transportleiding is een analyse gemaakt van de kwetsbare punten voor zetting. Daaruit kwam onder meer naar voren dat de aansluiting bij het gemaal (stalen pendelbuis, ofwel zettingsstuk) en de kruising met de metro kritieke punten zijn. Het RGF stuk is ontworpen op een zettingsverschil van 10 cm. Uitgaande van 0,5 cm per jaar is de huidige verschilzetting 15 cm, waarmee dit pendelstuk reeds voorbij de ontwerplevensduur is. De goed gefundeerde metabak heeft geen zetting. De zetting naast de metabak ligt op 0,25 cm/jaar. Op termijn moet rekening gehouden met zettingsverschillen.

Figuur 4.12 Zetting langs persleidingstrace op basis van zettingskaart op subbuurt niveau

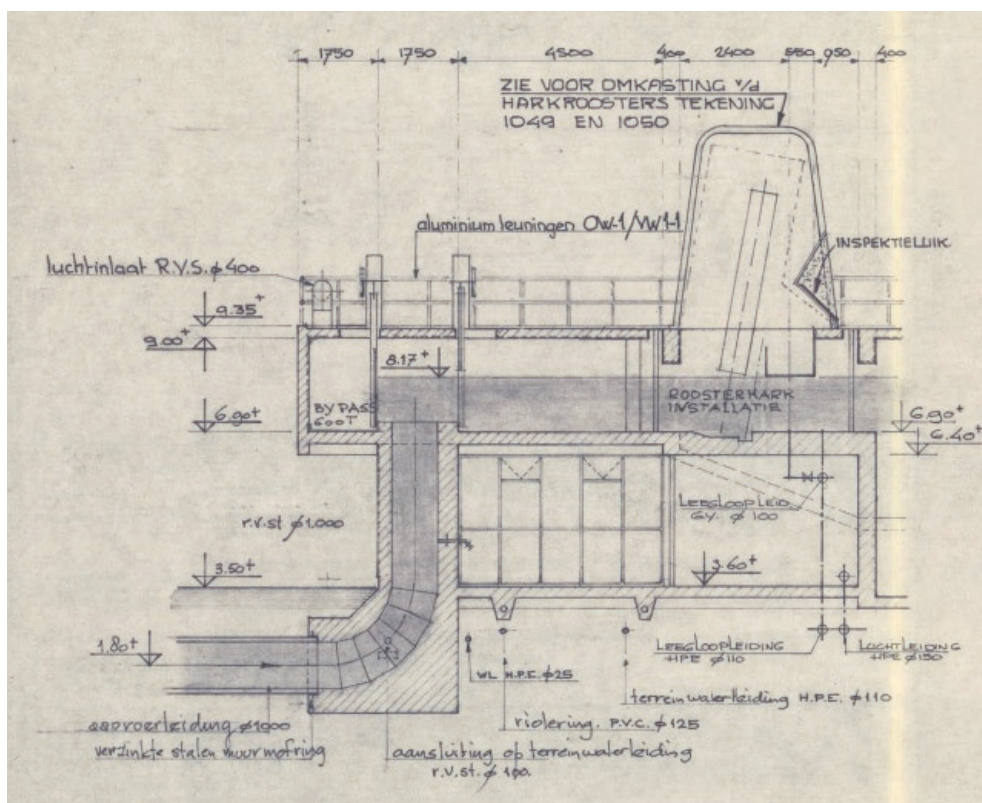


4.2.3 Lekdichtheidstest

De persleiding heeft een hoog uitstroompunt, gelegen op 8 m+NAP, zie figuur 4.09 en 4.13. Dit hoge uitstroompunt maakt het mogelijk om de lekdichtheidstest op een andere manier uit te voeren dan voor de case Westerschouwen. Voorafgaand aan de lekdichtheidstest is 's nachts water opgespaard in het rioolstelsel en vervolgens is een uur lang op maximale capaciteit gepompt om eventuele lucht uit de leiding te spoelen. De lekdichtheidstest is vervolgens uitgevoerd door de pomp en alle inprikkers uit te zetten en alle afsluiters dicht te draaien. Daarna is minimaal een uur gewacht totdat een stabiele situatie is ontstaan. De hoeveelheid lekkage is bepaald door te bepalen welk volume water na de stabiliteitsfase van een uur gedurende het daarop volgende uur is weggelekt. Dit volume is afgeleid uit de gemeten waterstandsval in de leiding. In de leiding is een diver geplaatst, waarmee het verloop van de waterstand, na luchtdrukcompensatie, is bepaald. Dit heeft opgeleverd dat de lekkage zeer waarschijnlijk minder bedroeg van 10 l/h, ofwel minder dan 0,6 ml/m²/h. De onzekerheid in deze bepaling is echter vrij groot, doordat niet uitgesloten kon worden dat geen van de afsluiters tijdens de proef lekkage vertoonde.

De via de proef bepaalde waarde ligt boven de waarde van 0,1 ml/m²/h voor persleidingen vallend onder NEN 3650-4. De lekdichtheidstest die is uitgevoerd in Rotterdam leek vooraf erg eenvoudig door gebruik te maken van het hoge stortpunt. In de praktijk bleek echter dat afsluiters niet altijd (direct) waterdicht zijn, waardoor enige onzekerheid bestaat in de nauwkeurigheid van de metingen. De metingen laten duidelijk zien dat de leiding in ieder geval zeker geen groot lek heeft, maar kunnen door de opzet geen uitsluitel geven over de eventuele aanwezigheid van een klein lek en daarmee of de leiding voldoet aan de eisen.

Figuur 4.13 Tekening uitstroompunt



4.2.4 Bevindingen

In Rotterdam zijn drie relevante faalmechnismen onderzocht als onderdeel van onderzoek op niveau basis.

De leiding voldoet op dit moment niet aan de hydraulische eisen. Het maximum debiet bedraagt in de praktijk 6.800 m³/h, terwijl dit 7.200 m³/h zou moeten zijn. Uit de in 2016 uitgevoerde pomptest volgt dat de pompen ten opzichte van de pomptest uit 1985 20% aan opvoerhoogte hebben ingeleverd, hetgeen in dit geval overeenkomt met 10% minder afvoer-capaciteit. Uit WANDA berekeningen volgt dat de pompen bij een schone leiding nog altijd 7.500 m³/h zouden moeten kunnen leveren. Kennelijk is naast slijtage aan de pompen ook sprake van een verhoogde leidingweerstand. Niet bekend is of deze verhoogde leidingweerstand komt door lucht, vervuiling van vlinderkleppen of vervuiling van de leiding.

De analyse van de zetting langs het leidingtracé laat zien dat de leiding te maken heeft met een variabele zetting en dat een aantal punten, zoals de aansluiting bij het gemaal en de overgang boven de metabak, extra aandacht behoeven om te bepalen of de kans op lekkage of breuk door zetting niet te groot aan het worden is.

Het lekverlies tijdens de dichtheidsbeproeving is klein en is waarschijnlijk toe te schrijven aan de afsluiters. Op basis hiervan is geconcludeerd dat deze leiding op basis van dit aspect geen prioriteit hoeft te krijgen.

De benodigde inzet voor de onderzoeken is bijgehouden door de gemeente.

Het onderzoek naar het hydraulisch functioneren heeft € 30.000,- gekost aan manuren. Dit is inclusief de pomptest en de voorbereiding die noodzakelijk was om voor deze leiding fase 1 goed te doorlopen en daarmee het leidingpaspoort compleet te maken.

Het onderzoek naar zetting heeft € 1.000,- gekost aan manuren. Dit was mogelijk omdat Rotterdam de zettingsgegevens reeds beschikbaar had.

Het onderzoek naar het lekverlies heeft in totaal € 30.000,- gekost aan manuren, waarvan € 20.000,- voor voorbereiding en analyse en € 10.000,- voor de feitelijke testen.

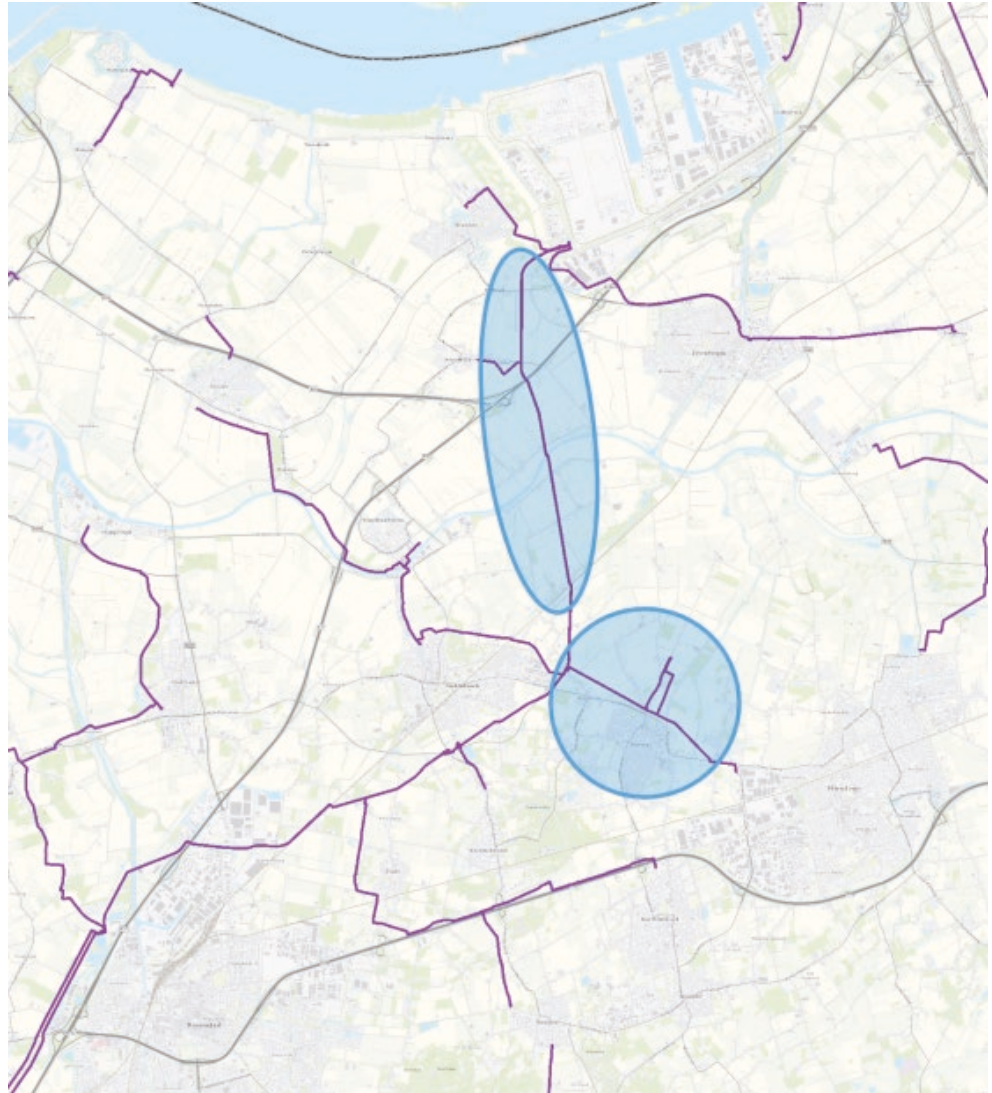
Het onderzoek op niveau basis heeft in deze case ongeveer 15 €/m leiding gekost, waarvan ongeveer 10 €/m leiding benodigd was om het dossier op orde te krijgen.

De onderzoeksinspanning heeft in dit geval opgeleverd dat het gemaal moet worden aangepast, zetting nadere aandacht behoeft op een klein aantal kritische plekken en lekkage op dit moment geen extra aandacht vraagt.

4.3 Case VI en case VII Waterschap Brabantse Delta

Waterschap Brabantse Delta heeft fase 2 en delen van fase 3 doorlopen voor twee persleidingen: het trace van rioolgemaal Etten Industrie tot pompstation Hoeven (Case VI) en het trace van rioolgemaal Moerdijk naar pompstation Hoeven (Case VII), zie figuur 4.14. Voor beide leidingen heeft het waterschap de inventarisatie uit fase 1 uitgevoerd. De belangrijkste bevindingen zijn ter informatie opgenomen.

Figuur 4.14 Ligging cases VI en VII.



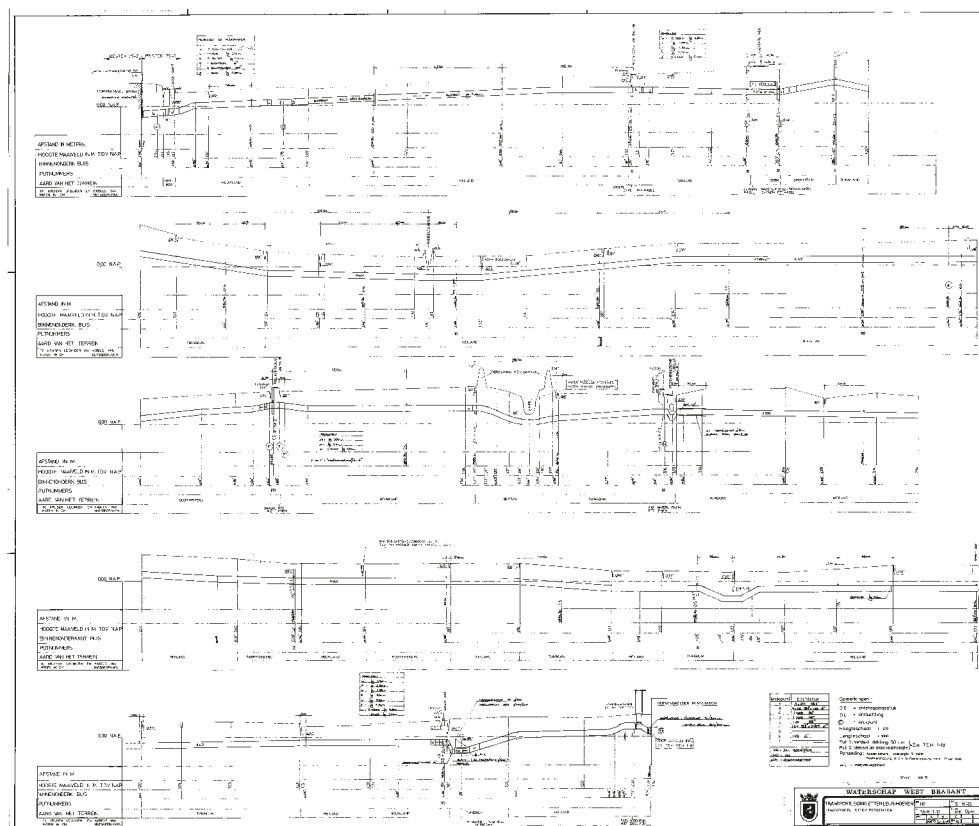
4.3.1 Kenmerken Case VI. Etten-Hoeven

De leiding is aangelegd in 1974. De leiding is een asbestcementleiding met een diameter van Ø 600 mm en een lengte van 3.808 m. De maximale druk bedraagt 4 bar en de transportcapaciteit bedraagt 1.200 m³/h. De huidige hydraulische capaciteit bedraagt 640 m³/h. De leiding heeft als bijzonderheid dat het afvalwater deels bestaat uit industriële lozingen. Deze hebben in het verleden geleid tot aanzienlijke vervuiling van de leiding met een scalingslaag van Aluminiumcarbonaat, zie figuur 4.15. Om dit tegen te gaan is in 1995 een piglanceerinrichting aangebracht. De laatste pigreiniging dateerde van 2005.



Figuur 4.15 Scaling

In het lengteprofiel komt op vier locaties luchtophoping voor waar aantasting een rol zou kunnen spelen. (figuur 4.16). Op die locaties heeft het waterschap als onderdeel van onderzoek op niveau fase 3 inwendige radarinspectie uitgevoerd om te onderzoeken of de resterende wanddikte nog afdoende is.

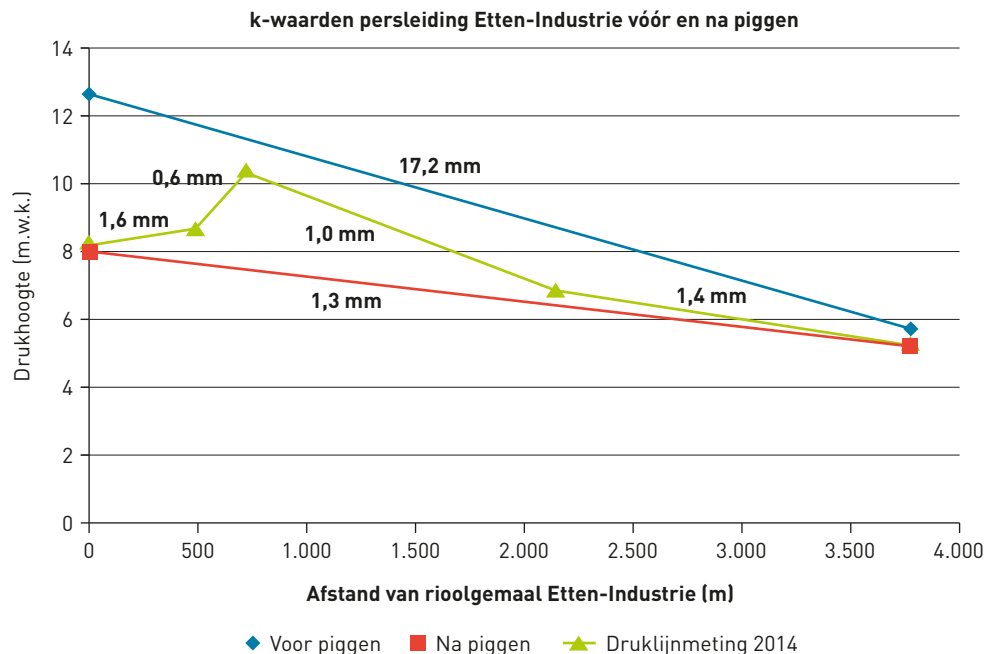


Figuur 4.16 Lengteprofiel case VI.

4.3.2 Hydraulisch functioneren

Het hydraulisch functioneren is getoetst door de werkdruk te meten die ontstaat bij de maximale hydraulische belasting. Deze meting is uitgevoerd voor en na het piggen van de leiding. Door het piggen neemt de weerstand over de leiding met 4,5 meter waterkolom (mWk) af. Dit komt overeen met een reductie van de wandruwheid van 17,2 mm naar 1,3 mm, hetgeen aanzienlijk is en een forse besparing op het energieverbruik van het gemaal betekent.

Figuur 4.17 Resultaten metingen hydraulisch functioneren

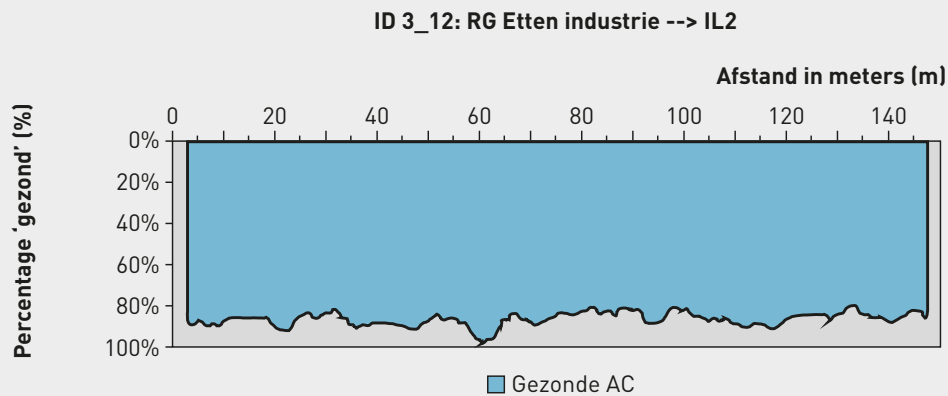


Resultaten inwendige radarinspectie en visuele inspectie

De inwendige radarinspectie vormt onderdeel van onderzoek fase 3 'Verdieping'. Waterschap Brabantse Delta heeft de inwendige radarinspectie uitgevoerd op de in figuur 4.16 aangegeven locaties. Dit heeft als resultaat opgeleverd dat het asbest cement duidelijke sporen van veroudering/aantasting vertoont, maar dat de aantasting nog niet zo ver is dat ingrijpen noodzakelijk is. Op basis van de in figuur 4.19 opgenomen resultaten is besloten om de radarspectie over 10 jaar te herhalen.

Figuur 4.18 Inbrengen inspectieapparatuur





Figuur 4.19 Resterend percentage gezond buismateriaal

Uit visuele inspectie bleek dat de leiding na het piggen redelijk schoon is op een aantal achtergebleven stukken scaling na.

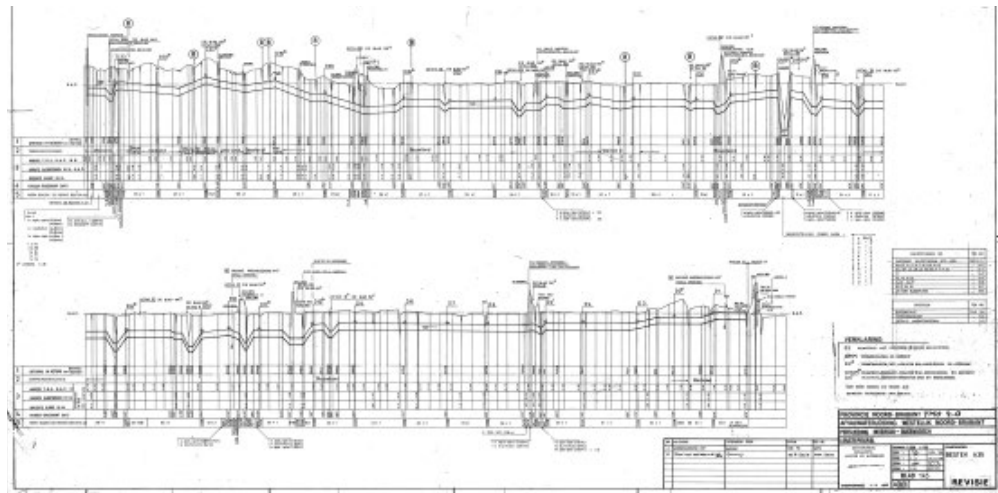


Figuur 4.20 Losgeraakte scaling in persleiding

4.3.3 Kenmerken Case VII. Moerdijk-Hoeven

De persleiding Moerdijk-Hoeven bestaat uit twee (AWP-1 en AWP-2) leidingen. Beide leidingen zijn uitgevoerd als een voorgespannen betonnen leiding met een diameter van Ø 800 mm en een lengte van 8.338 m. De ontwerpdruk bedraagt 4 bar en de transportcapaciteit bedraagt 3.250 m³/h. De eerste leiding (AWP-1) is in 1972 aangelegd. Vanwege vervuiling door scaling veroorzaakt door industriële lozingen is in de jaren '80 een tweede leiding (AWP-2) parallel aan AWP-1 aangelegd. Het tracé kruist de snelweg, een spoorweg en de rivier de Mark. De leidingen beschikken over een piglanceerinrichting, zodat eenvoudig toegang bestaat tot de leiding. Aantasting bij luchtophopen en lekkage zijn naast het hydraulisch functioneren relevante faalmechanismen waar het waterschap grip op wil hebben. AWP-1 is in 2016 geïnspecteerd op een aantal kritische locaties, waarna besloten is om de leiding te reinigen. In 2017 is de leiding geheel inwendig geïnspecteerd met de 'Smartball' (zie kader in paragraaf 4.3.5), waarna de leiding is gereinigd vanuit de mangaten die zich om de 300 m in de leiding bevinden. Na de reiniging is de leiding geheel geïnspecteerd met een rijdende camera. Tijdens deze inspectie zijn geen gebreken geconstateerd.

**Figuur 4.21 Lengteprofiel
persleiding Moerdijk-Hoeven**



4.3.4 Lekkagetest

Begin januari 2018 is de leiding geheel schoon opgeleverd waarna deze op 23 januari weer gevuld en ontluicht is via op de mangatdeksels aanwezige ontluichters. Na het vullen is de leiding op 1 bar druk gebracht. Een schrijvende meter heeft de druk gemonitord voor 2 dagen. Op 24 januari was de druk een paar tiende bar teruggelopen. Dit bleek veroorzaakt door een kleine lekkage op de nieuw geïnstalleerde bovenbouw van de pigontvangketel. Op 24 januari is de leiding weer gevuld tot 1 bar. Op 25 januari (24 uur later) is dezelfde druk afgelezen van 1 bar en is geconcludeerd dat de leiding geen lekkage vertoont.

**Figuur 4.22 Drukmeting
op afsluiter (links) en
schrijvende meter (rechts)**



De lekkagetest heeft 2 dagen doorlooptijd in beslag genomen. De tijdsbesteding van de eigen dienst lag met 4 medewerkers op 8 dagen in totaal. De kosten van de eigen dienst bedragen daarmee € 2.000,-. De kosten voor klein materieel en installeren van de drukmeter lagen via inhuur derden op een bedrag van € 5.000,-. Daarnaast is een bedrag van € 2.500,- besteed aan het nalopen van appendages.

4.3.5 Bevindingen

Waterschap Brabantse Delta heeft in twee leidingen onderdelen van onderzoek op niveau 'basis' uitgevoerd. In de leiding Etten-Hoeven is het hydraulisch functioneren onderzocht en in de leiding Moerdijk-Hoeven is een lekkagetest uitgevoerd.

De analyse van het hydraulisch functioneren van de leiding Etten-Hoeven voor en na het piggen heeft laten zien dat de leiding behoorlijk vervuild was. De drukhoogte bij het maximale debiet nam af van 12,5 mWk naar 8 mWk, hetgeen een forse reductie in energieverbruik oplevert. Om het hydraulisch functioneren te toetsen, is het alleen nodig om de werkdruk achter de pompen te meten. Voor gemalen die zijn uitgerust met een meting van de persdruk is deze analyse daarmee eenvoudig toe te passen. Zelfs kan overwogen worden dit onderzoek in het telemetriesysteem in te programmeren en een alarm te versturen indien de weerstand teveel is toegenomen.

Het onderzoek naar lekkage is uitgevoerd voor de leiding Moerdijk-Hoeven. Deze leiding was voor onderhoud en onderzoek uit bedrijf genomen en geïnspecteerd. Daardoor waren alle appendages bekend en gangbaar, waardoor de inspanning voor de lekkagetest relatief beperkt is gebleven ten opzichte van de benodigde inspanning die bij Scheldestromen of Rotterdam is vastgesteld. De inspanning voor deze leiding kan gezien worden als een representatieve inspanning voor een routinematige lekkagetest bij een actief beheerde leiding.

De lekkagetest zelf heeft opgeleverd dat ook een klein lek kan worden vastgesteld. In dit geval lekte een nieuwe geplaatse afdekking in de pigontvangketel. Deze lekkage kon worden verholpen door een paar moeren vaster te draaien. De leiding zelf bleek niet te lekken, hetgeen de resultaten van het parallel uitgevoerde Smartball onderzoek bevestigt.

Lekkagetest onderzoek fase 3

Waterschap Brabantse Delta heeft in 2017 voor de persleiding Moerdijk – Hoeven een inspectie laten uitvoeren met de Smartball. De Smartball is een akoestische techniek, waarbij een sensor, verpakt in een foam bal, met het afvalwater door de leiding wordt gevoerd. Met de Smartball is het mogelijk om lekkages op te sporen, luchtophoping in de leiding te meten en lokale sedimentophoping te constateren indien dit het rollen van de Smartball beïnvloedt. Het onderzoek met de Smartball heeft geen lekkages of gas/luchtophopingen aan het licht gebracht, wel zijn bewegende luchtballen aangetroffen.



Figuur 4.23 Lanceerlocatie



Figuur 4.24 Ontvangstlocatie

Ervaring met afpersen

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft een AC leiding uit 1979 die uit bedrijf is genomen gebruikt om inzicht te krijgen in de restlevensduur van AC leidingen. Zij hebben een afpersproef gedaan van een leiding Ø900 mm en een lengte van 800 m. Het idee was dat de leiding in de proef zou mogen bezwijken. Tijdens de persproef is de druk opgevoerd tot 8,6 bar en zelfs bij deze druk bleef de leiding intact. Uit materiaalonderzoek bleek dat het AC buismateriaal aan de binnenzijde relatief beperkt was aangetast.

Daarnaast is een test op luchtdichtheid uitgevoerd door de leiding op een druk van 3 bar te brengen en na drie dagen het drukverlies te meten. Dit bleek 0,2 bar te zijn, waaruit geconcludeerd is dat de leiding nauwelijks lekkage vertoont.

5 Ervaringen, conclusies en vervolgtraject

Dit hoofdstuk beschrijft de ervaringen met het invulformulier als hulpmiddel voor het doorlopen van fase 1. Daarnaast beschrijft het hoofdstuk de conclusies die op basis van de acht testcases waarvoor fase 1 doorlopen is en de vier testcases waarvoor fase 2 is doorlopen te trekken zijn. Tot slot is er aandacht voor het vervolgtraject.

5.1 Ervaringen met invulformulier als onderdeel fase 1 ‘inventarisatie’

5.1.1 Functionele eisen

Het eerste onderdeel van het invulformulier omvat de functionele eisen, waarbij de nadruk ligt op hydraulische kengetallen en aspecten. Dit deel begint met de selectie van een hydraulische eenheid (een leidingtracé met een gelijk debiet) en het vastleggen van de leidingfunctie. Voor transportleidingen zonder veel inpijpers in het buitengebied is dit vrij eenvoudig. Voor systemen met meer verbindingen en een scala aan bedrijfsvoerings-situaties (waaronder soms stroomrichtingomkering) vergt dit meer aandacht.

Opvallend is dat bij enkele beheerders het objectbeheer (wat ligt waar en hoe goed is dat) en het systeembeheer (welke hydraulische functionaliteit vraag ik van deze leiding) uit elkaar is gehaald. Hierdoor heeft de objectbeheerder geen inzicht in de redundantie op systeemniveau, die van groot belang is om de mogelijkheden voor inspectie en de benodigde actie bij calamiteiten te bepalen.

Een onderdeel dat in eerste instantie ontbrak bij de functionele eisen, is de aard van het afvalwater. Vooral bij gebieden met veel industrie kan dit een belangrijk aandachtspunt zijn. Daarom is dit onderdeel na de testreeks toegevoegd aan het invulformulier.

De hydraulische kengetallen zijn over het algemeen beschikbaar. Maar door de splitsing van taken over afdelingen kost het soms vrij veel moeite om deze kengetallen te verzamelen.

De hydraulische aspecten zijn goed in beeld voor waterslagberekeningen en gevoelige locaties voor waterslag. Minder zicht is er op locaties waar de leiding onder een aantal bedrijfscondities droog kan komen te staan of waar lucht in de leiding kan zitten, bijvoorbeeld nabij be- en ontluchters.

Tenslotte blijkt het lastig om de eisen ten aanzien van acceptabel lekdebiet vast te stellen, deels omdat historische ontwerpisen niet passen op huidige normering en deels omdat nog beperkt ervaring bestaat met het vaststellen van deze eisen.

5.1.2 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

In de technische beschrijving van de leiding moet basismateriaal staan dat de ligging en fysieke kenmerken beschrijft. Een groot deel van de gegevens ligt vast in pdf-bestanden met daarin ingescande tekeningen. De basisgegevens (zoals leidingmateriaal, ligging en bijzondere voorzieningen) zijn beschikbaar in een GIS-systeem of leidinginformatiesysteem. Andere zaken die veel informatie over mogelijke faalmechanismen kunnen bevatten (zoals opleveringsdossiers of dossiers met inspectiegegevens), zijn vaak niet centraal beschikbaar. Dergelijke dossiers zijn doorgaans wel op netwerkschijven te vinden of uit andere archieven te halen.

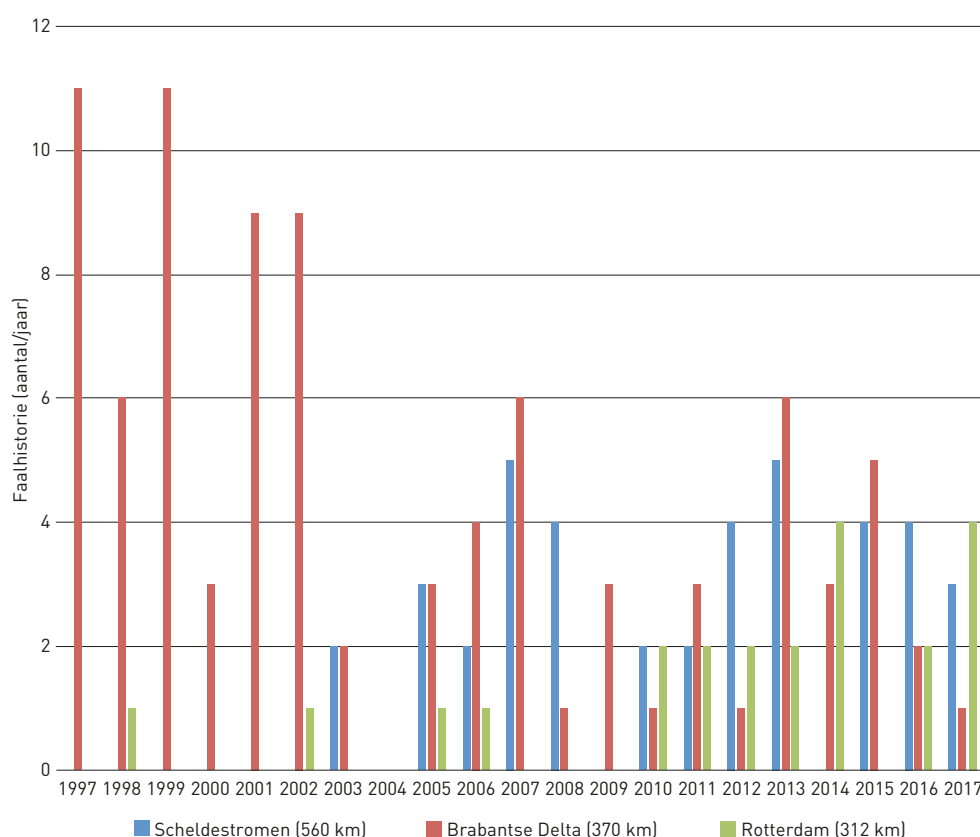
Technische eisen

De vragen over de technische eisen voor de leiding kunnen de meeste beheerders niet invullen. Dit betekent dat niet bekend is wat acceptabel systeemgedrag is bij lekkage of leidingweerstand, of wat de toegestane zetting is. Hierdoor is niet eenvoudig vast te stellen of een leiding nog voldoet of niet. Daarnaast ontbreken hiermee de eisen die beheerders aan een inspectietechniek moeten stellen. Want als niet vastligt hoeveel lekkage acceptabel is, is ook niet bekend hoe nauwkeurig zij dit zouden willen meten.

Ook blijkt geen acceptabele faalfrequentie beschikbaar te zijn, bijvoorbeeld uitgedrukt in aantallen falen/indicenten per 100 km per jaar, zoals bij drinkwaterbedrijven gebruikelijk is. Wellicht is dit een gevolg van de tot nu toe lage aantallen faalgebeurtenissen in de testgebieden (zie figuur 4.1). De gegevens van Waternet ontbreken hier, omdat Waternet nog niet beschikt over een adequate registratie. Dit komt mede omdat het aantal incidenten beperkt is vanwege de relatief jonge leeftijd van het transportsysteem, in combinatie met veel recente aandacht voor grote ingrijpende bouwwerkzaamheden. Waternet heeft dan ook vooral last van bouwactiviteiten. In 2013 en 2014 waren er vijf incidenten met een hoofdpersleiding, waarvan vier keer door bouwactiviteiten. Om dergelijke gebeurtenissen te voorkomen, is al twee keer preventief een leiding tijdelijk verlegd.

De faalaantallen schommelen over het algemeen rond één faalgebeurtenis per 100 km per jaar. Met dergelijke lage aantallen is het voor beheerders moeilijk te leren van falen/incidenten. Het verzamelen van alle faalgebeurtenissen in een centrale database zou dit leerproces kunnen bevorderen. Dit gebeurt voor storingen bij drinkwater al via U-Store en RIONED gaat dit oppakken voor persleidingen, zie vooruitblik in paragraaf 5.4.

Figuur 5.1 Faalhistorie
Brabantse Delta,
Scheldestromen en Rotterdam



Brabantse Delta ziet met de introductie van de Wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten (WION) een afname van het aantal incidenten, terwijl Rotterdam een lichte stijging ervaart.

Omgevingsaspecten

De vragen over omgevingsaspecten en risico-indeling zijn over het algemeen goed te beantwoorden. Kanttekening is dat beheerders de gegevens over de omgeving doorgaans alleen vastleggen bij de aanleg en deze niet actualiseren. Hierdoor is het dossier verouderd, zeker in (stedelijke) gebieden met veel ontwikkeling.

Calamiteitenplan

Alle beheerders beschikken over een calamiteitenplan. Daarbij is veel aandacht voor externe risico's en procedures voor opschaling, maar weinig aandacht voor concrete leidingsecties. Een aantal beheerders heeft als in het kader van de calamiteitenbeheersing wel de nodige reserveonderdelen klaar liggen.

Faalhistorie

De beheerders hebben de vragen over de faalhistorie wisselend beantwoord. Sommigen beschikken over een meerjarige registratie, anderen niet. Over het algemeen is een hydraulische eenheid dermate klein (enkele kilometers lang) dat met het huidige faalniveau van één gebeurtenis per 100 km per jaar het aantal historische faalgebeurtenissen voor een hydraulische eenheid zeer klein is.

5.2 Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 2 niveau ‘basis’

De uitgevoerde onderzoeken op niveau ‘basis’ bieden een overzicht van de benodigde inspanning voor het uitvoeren van onderzoek gericht op het vaststellen of de relevante faalmechanismen op het vlak van lekkage, sterkte, hydraulica en zetting. De onderzoeken hebben de faalmechanismen lekkage, hydraulische knelpunten en zetting aangetroffen en geen falen op basis van het criterium sterkte.

Lekkage

Testen op lekkage zijn uitgevoerd door vier beheerders. Daarbij is zowel de lekverliesmethode als de drukverliesmethode gebruikt. Beide methoden bleken bruikbaar.

De beoordeling van de resultaten van de test bleek daarbij vaak lastiger dan het organiseren van de test zelf, doordat de technische eisen ten aanzien van lekkage niet eenduidig vastlagen. In deze herziene versie van de handreiking is aangesloten op de normstelling die volgt uit NEN 3650, zie hoofdstuk 2.

Met drukproeven blijken beheerders goed in staat om aanwezige lekkages op te sporen, met als tastbare voorbeelden de lekkages via appendages als een kapotte beluchter en afdichting van piglanceerunit. Deze resultaten laten zien dat de drukproeven als zodanig goed inzetbaar zijn. De bevindingen leren ook dat een lek met een omvang van enkele m³/h al leidt tot waarneembare effecten aan het maaiveld. Voor dergelijke grotere lekken is veldinspectie daarmee ook een mogelijkheid om deze te constateren.

De benodigde inspanning voor het uitvoeren van de drukproef varieert flink tussen de beheerders. De netto kosten en tijdsbesteding voor het uitvoeren van een drukproef liggen op € 5.000 - € 10.000 voor inhuur van apparatuur en tussen de 5 en 10 mandagen. De bruto kosten, zoals het opsporen en gangbaar maken van appendages, kunnen een veelvoud hiervan zijn. Deze kosten zijn echter te beschouwen als onderdeel van regulier ‘klein’ onderhoud.

Sterkte

Twee beheerders hebben een sterktetest uitgevoerd, waarbij de leiding op de vooraf bepaalde testdruk is gebracht. Daarbij kwam in geen van de gevallen een probleem naar voren. De methode voor de sterktetest is, op de toe te passen druk na, gelijk aan de drukverliesmethode die ook wordt toegepast bij lekkagetesten. De voorbereidings- en uitvoeringskosten zijn vergelijkbaar met die van de lekkagetest.

Hydraulica

Twee beheerders hebben een analyse uitgevoerd van de hydraulica van een persleiding. De benodigde inspanning is relatief beperkt en bestaat uit het registreren van het drukverlies over de leiding bij een bekend debiet. De methode blijkt in staat om een geringe toename van de rekenkundige wandruwheid met 2 mm te kunnen vaststellen.

Zetting

Zetting als faalmechanisme is voor één leiding in beeld gebracht. Dit vraagt zowel om het bepalen van de zetting van de bodem vanuit bijvoorbeeld een zettingskaart als om het bepalen van de verschilzetting bij pendelstukken of kruisingen met niet-zettende infrastructuur. Het nauwkeurig bepalen van de lokale zetting(sverschillen) vraagt om een fijnmazig meetnet van maaiveldhoogtes. Bij afwezigheid van een dergelijk meetnet is het noodzakelijk om deze hoogtes alsnog in te meten, wat een aanzienlijke inspanning vergt.

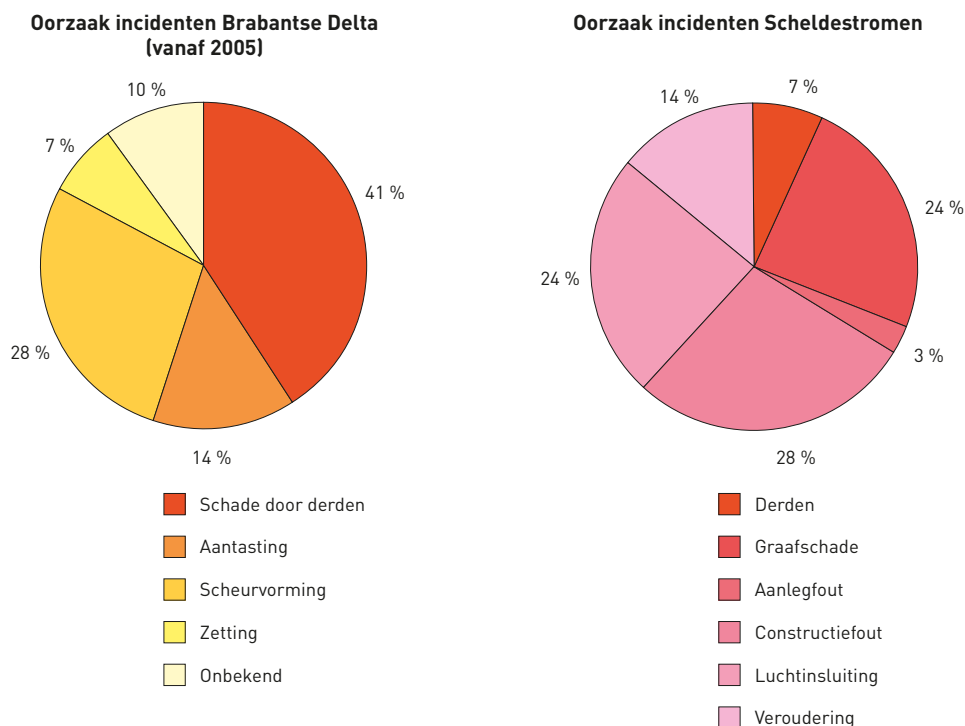
5.3 Conclusies

De deelnemers vinden het stappenplan en het invulformulier voor fase 1 nuttige hulpmiddelen. Het invulformulier zorgt ervoor dat de beheerder de gegevens uit verschillende bronnen combineert. Uit de acht cases blijkt dat de informatie uit deze gegevens lang niet altijd eenduidig is. Toch geeft het op orde krijgen van het leidingdossier zelf al veel inzicht in de historie en mogelijke faalkansen.

Het invulformulier is bedoeld om de keuze om al dan niet over te gaan tot inspectie op niveau 'basis' beter te onderbouwen. De beheerders kunnen op basis van de verzamelde gegevens goed aangeven welke faalmechanismen relevant zijn. Maar het besluit tot wel/ geen inspectie puur op basis van de in het invulformulier verzamelde gegevens blijkt niet mogelijk. Het kader dat daarvoor nodig is, ontbreekt nog doordat:

- Geen concrete technische eisen voor leidingen zijn geformuleerd, waardoor niet vastligt welke afwijkingen (mate van lekkage, zetting, toename hydraulische weerstand) acceptabel zijn en welke niet.
- Geen acceptabel faalniveau is vastgesteld. Het aantal faalgebeurtenissen is nog dermate klein (1 storing/100 km/jaar) dat de daarmee gemoeide kosten geen aanleiding geven om dit aantal te verlagen. Daarbij geldt ook nog dat een groot deel van de storingen is toe te schrijven aan derden en dus niet met inspectie was te voorkomen (zie het voorbeeld in figuur 5.2).

Figuur 5.2 Type oorzaken Brabantse Delta (vanaf 2005) en Scheldestromen (vanaf 2003)



De ervaring met onderzoek en inspectie op niveau 'basis' als onderdeel van fase 2 laat zien dat de beheerders de hiervoor benodigde kennis en capaciteit prima kunnen organiseren. Het uitvoeren van de inventarisatie uit fase 1, die noodzakelijk is om fase 2 te kunnen doorlopen, blijkt in de praktijk een grotere hobbel.

Met de verdere implementatie van assetmanagement zullen beheerders een acceptabel faalniveau voor specifieke persleidingen vaststellen. In de assetmanagementmethodiek moeten zij immers de afweging maken tussen onderzoekskosten en daarmee te vermijden (in)directe maatschappelijke kosten. Deze afweging vindt steeds plaats in de rode blokken van figuur 1.1.

Met andere woorden: het stappenplan en het invulformulier ondersteunen en structureren de inventarisatie en het onderzoek van persleidingen, maar de assetmanagementstrategie van de beheerder bepaalt welke keuzes hij in de besluitvorming (de rode blokken in figuur 1.1) maakt.

Vanwege de forse financiële consequenties en risico's die inspectie met zich kan meebrengen, leidt deze afweging bij kleinere leidingen zonder grote impact op de omgeving waarschijnlijk tot de 'fail and fix'-strategie.

5.4 Vooruitblik en vervolgtraject

Asset management van ondergrondse rioolinfrastructuur en van persleidingen in het bijzonder staat hoog op de agenda bij Stichting RIONED en STOWA. Stichting RIONED en STOWA hebben in dit kader het programma 'persleidingen' gelanceerd, dat de paraplu vormt van tal van projecten die het asset management van persleidingen verder kunnen verbeteren. De op dit moment (medio april 2018) voorziene onderdelen van dit programma zijn de volgende projecten:

- Proeftuin persleidingen, waarin samen met beheerders verder wordt gewerkt aan het opdoen en delen van ervaring met de handreiking inventarisatie en onderzoek.
- 'intelligent pigs', waarin technieken worden ontwikkeld voor inwendige inspectie van persleidingen
- TISCA programma, waarin in 5 promotieonderzoeken inspectietechnieken worden ontwikkeld voor riolering en persleidingen.
- Faalkansenmodel persleidingen, waarin een model wordt opgesteld om de faalkans van persleidingen te berekenen. Dit project hangt nauw samen met het volgende project:
- Incidentenregistratie persleidingen, waarin incidenten met persleidingen in een landelijke database worden vastgelegd
- GWSW persleidingen, waarin alle objecten die onderdeel vormen van persleidingen en aan persleidingen gerelateerde incidenten worden opgenomen in het Gegevens Woordenboek Stedelijk Water (GWSW)
- Kennisbank persleidingen, waarin kennis over persleidingen breed toegankelijk beschikbaar wordt gesteld.

Naast deze onderdelen van het programma lopen in Nederland nog tal van initiatieven die raken aan persleidingen. Denk aan de normcommissie van NEN 3650/3651, de project overstijgende verkenning kabels en leidingen (POV K&L), waarin de werelden van waterkeringen en kabels en leidingen samenkomen en diverse projecten bij waterschappen en gemeenten.

Ten aanzien van de proeftuin persleidingen geldt dat de deelnemers in de proeftuin graag ook uw ervaringen met technieken voor het onderzoeken van persleidingen en met deze handreiking vernemen. Neemt u hiertoe contact op met het bureau van Stichting RIONED.

Harting, K. Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und dukern – Phase 1 – Handlungsempfehlungen unter technische und wirtschaftlichen aspekten, IKT, 2011, Gelschenkirchen.

NEN 3398. Buitenriolering – Onderzoek en toestandsbeoordeling

NEN 3650-1 Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen

NEN 3650-2 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal;

NEN 3650-3 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof;

NEN 3650-4 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 4: Aanvullende eisen voor leidingen van beton;

NEN 3650-5 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer.

NEN 3651 Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken

NEN-EN 13508-1. Onderzoek en beoordeling van de buitenriolering – Deel 1: Algemene eisen

NEN-EN 1610 Ontw. Buitenriolering – aanleg en beproeving van leidingsystemen

NEN-EN 805, Watervoorziening - Eisen aan distributiesystemen buitenshuis

Tukker, M., Kooij, C., Pothof, I., (2012) Hydraulisch ontwerp en beheer afvalwatertransportsystemen, CAPWAT Handboek, 2de ed., Deltares, Delft, Netherlands

Thomson, J. C., Morrison, R.S., Sangster, Tom. Inspection guidelines for wastewater force mains, Jason Consultants LLC, WERF 2010, V A.

Bijlage 1 Invulformulier fase 1

Tevens te downloaden als Excel-bestand via www.riool.net/

Tabel B1.1 Functionele eisen

Functionele eisen leiding	Functie leiding	transportleiding			
		overstortleiding/OB leiding			
		reserve/calamiteiten leiding			
		DWA leiding			
		RWA leiding			
		Bijzondere samenstelling afvalwater			
		Ondergrens debiet (m ³ /uur)	ΔHw max	Bovengrens debiet (m ³ /uur)	ΔHw max
Te transporteren debietranges / maximaal optredende wrijvings-verliezen	Geen afvoer	0	xx	0	xx
	DWA	x	x	x	x
	RWA-situatie 1	x	x	x	x
	RWA-situatie 2	x	x	x	x
					

Tabel B1.2 Belasting t.g.v. bedrijfsvoering

Optredende interne belastingen / hydraulische aspecten	Interne hydraulische belasting		Minimaal (mwk)	Maximaal (mwk)
	Stilstand / leegstand		0	0
	Continue (normale bedrijfsvoering, diverse toestanden)		3	20
	Pieken over en onderdruk (t.g.v. ondermeer waterslag in diverse bedrijfstoestanden)		-10	40
	Is er helder welke locaties/leidingsecties het meest gevoelig zijn tav waterslag / onder-overdruk?		JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er helderheid over de optredende (spat/trek)krachten in bochten en aansluitingen?		JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn er plekken waar langdurig sprake is van leegstand (bij dijkovergangen - OB-leidingen die leeggeheveld worden)		JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een analyse op de aanwezigheid van lucht in de leiding tijdens normale bedrijfsvoering en is helder waar dit zich kan bevinden?		JA / NEE	Zo ja, waar?

Tabel B1.3 Kenmerken leiding(trace)

Technische beschrijving leiding	Is er een overzichtstekening aanwezig van de gehele leiding met daarop een heldere aanduiding van het segment van hydraulische eenheid?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn jaar van aanleg momenten van (deel) renovatie/aanpassingen helder (onder meer aanwezigheid en leeftijd aquaringen)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn alle objecten, bijzondere onderdelen (zoals ont- en beluchters, waterslagvoorzieningen, kleppen) bekend & staan deze op tekening?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is helder welke voorzieningen voor inspectie aanwezig zijn (piglanceerunits, mangaten, glasvezel, zakbakens)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een bedieningsvoorschrift beschikbaar	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is diameter / diameterverloop en toegepast materiaal duidelijk en vastgelegd (ook aanwezigheid coating/relining)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een ontwerptekening / dossier van het ontwerp AS-DESIGNED?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een revisietekening AS-BUILT met precieze trace- en diepteligging (ingemeten)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een actuele tekening AS-IS met precieze trace- en diepteligging (ingemeten)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een opleveringsdossier met een beschrijving van uitgevoerde testen - beproevingen tijdens oplevering? Ithb tav materiaalonderzoek / drukproef / lekkageproef, maar ook evt bouwverslagen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met gedetailleerde leidingkenmerken: dikte leidingwand, materiaalkenmerken, sterkteklasse, waterdichtheidsklasse, toelaatbare hoekverdraaiing, toelaatbare voegwijdte?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over de ligging van de leiding tov andere infrastructuur zoals gasleiding, trambaan, dijken etc?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over de bodemkarakteristieken en zettingsprognoses?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over opgetreden zetting, ihb ter plaatse van overgangen onderheid / niet onderheid?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met grond- leiding- en sterkteberekeningen beschikbaar?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn er inspectiegegevens?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Technische eisen aan de leiding	Is er een norm voor t.a.v. het toelaatbare lekdebiet? (conform Nen1610 en/of bepaald vanuit omgeving-anders)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor welke druk de leiding moet kunnen weerstaan? (bv 1,5* maximale optredende bedrijfsdruk)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor (tijdelijk) toelaatbare extra hydraulische weerstand?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor het tijdelijk toelaatbaar extra energieverbruik?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	is er helderheid vanuit het ontwerp over toelaatbare zetting (leveranciersinformatie / analyses) en zaklengte pendelstukken?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Omgevingsaspecten - risicoindeling	Is vastgelegd welke normen / regelingen en afspraken van toepassing zijn (NEN 3650, 3651, etc) maar ook welke (monitorings)verplichtingen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een inventarisatie gemaakt van gebiedsfuncties waar het trace doorheen loopt? Inclusief bepaling van welke andere objecten en leidingen in de ondergrond aanwezig zijn en welke risicoklasse hiervoor geldt?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met relevante vergunningen omtrent afspraken rondom de leiding (zakelijk recht, monitorings-beheerverplichtingen, calamiteiten)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een inventarisatie met limitaties aan reparatiewerkzaamheden (huizen op houten palen, gasleidingen etc) igv normaal onderhoud en/of calamiteiten?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er aanwezigheid van bijzondere samenstelling afval- of grondwater (voormalige gasfabrieken en/of specifieke vergunningen bij industriegebied) of grote kans op reststromen in de bodem?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Calamiteitenplan	Is er een calamiteitenplan aanwezig?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	- is bekend of / op welke wijze de functie van de persleiding (tijdelijk) kan worden overgenomen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	- voorziet dit plan in alternatieve routes / bedrijfsvoering/ zijn deze bekend en operationeel?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	- is er naast een interne "risico-analyse", ook een "externe risicoanalyse uitgevoerd"; denk aan inventarisatie (gas) leidingen / kruisingen dijken - spoorwegen etc en hoe daarop te anticiperen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Faalhistorie trace	Is er een formele registratie beschikbaar / is deze langjarig betrouwbaar?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn incidenten met dit leidingsegment in het verleden vastgelegd door veldopnames bij calamiteiten en/of interviews oudgedienden- onderzoek achteraf	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Hoeveel incidenten zijn er bekend met vergelijkbare leidingen elders in het beheergebied. Igv bekend toelichten momenten / locaties / oorzaken	xx	Zo ja, waar?

Tabel B.1.4 Relevante faalmechanismen

Bepalen op basis van voorgaande informatie:	Is voor deze leiding lekkage een relevant / dominant faalmechanisme?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : ... En... en
	Is voor deze leiding constructief bezwijken een relevant / dominant faalmechanisme?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : ... En... en
	Verminderde hydraulische functionaliteit relevant?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : ... En... en
	Is zetting een relevant faalmechanisme?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : ... En... en

Tabel B.1.5 Kosten inspectietechniek - praktische haalbaarheid

Lekkage-basis	Wat zijn de kosten voor het nalopen van het trace eenmalig?	xx
	Wat zijn de kosten voor een infraroodscan (vliegtuig) eenmalig?	xx
	Wat zijn de kosten lagedruk afpersen (lekkage) eenmalig inclusief noodzakelijke middelen?	xx
	Wat zijn de kosten van gefaseerd afpersen i.g.v. herhaling?	xx
	Wat is de tijdsduur van buitengebruikstelling in uren voor lage druk afpersen (lekkage) test?	xx
	Indien niet praktisch toepasbaar, wat zijn kosten alternatief/ aanpassing systeem (bv compartimentering?) of alternatieve omleidingsroutes afvalwater?	xx
Sterkte-basis	Wat zijn de kosten om de leiding gefaseerd af te persen van lagedruk naar hogedruk afpersen eenmalig?	xx
	Wat is de tijdsduur van buitengebruikstelling in uren?	xx
	Wat zijn de kosten van gefaseerd afpersen i.g.v. herhaling?	xx
	Indien niet praktisch toepasbaar, wat zijn kosten alternatief/ aanpassing systeem (bv compartimentering?) of alternatieve omleidingsroutes afvalwater?	xx
Hydraulica-basis	Wat zijn de kosten van een eenmalige test?	xx
	Wat zijn de kosten continue meting DHW inclusief stoplichtfunctie in telemetrie obv TAMDAM systematiek?	xx
Zetting-basis	Wat zijn de kosten voor analyse maaiveld zetting?	xx
Kosten leidingrenovatie/vervanging	Wat zijn de kosten voor leidingvervanging?	xx

Bijlage 2 Overzicht toepasbare inspectietechnieken fase 2 en 3

Algemene opmerking: Deze tabel is tot stand gekomen op grond van literatuuronderzoek, waarbij veel details zijn gebruikt uit het IKT-rapport (Harting, 2011) en rapportages van WERF (Thomson et al, 2010). De kosten zijn zeer indicatief, omdat gedetailleerde informatie over kosten ontbreekt of niet toegankelijk is. Het is geenszins de intentie om technieken uit te sluiten of extra positief te beoordelen. Met de meeste technieken is in Nederland (maar ook internationaal) niet heel veel ervaring opgedaan. Slechts in uitzonderlijke gevallen is uit betrouwbaar onderzoek bekend hoe betrouwbaar technieken zijn.

	Naam techniek	Meetprincipe	Methode uitvoering	Materiaal-type	Faal-mechanisme	Indicatie kosten (excl. bijkomende kosten)	Ervaringen
Positiebepaling leiding	LMPH- & ATU-meting	Een druksensor over de bodem van het riool trekken. ATU kan ook met drijvende sensor. Uitvoering LMPH-meting is iets anders, omdat deze berust op het in stand houden van eigen hydraulische druk via toevoerslang.	Via trekkabel.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	€ 1.200/dag. Dag-productie situatieafhankelijk 200 à 500 meter, prijsindicatie € 2,4 à 6/ meter. Sterk afhankelijk van toegankelijkheid riool, inzetlengte is beperkt.	Marktpartijen bieden deze metingen aan in NL, weinig over gepubliceerd. In hoeverre e.e.a. goed genoeg is voor het bepalen van kleine hoekverdraaiing bij grote buizen is onbekend.
	XYZ-bepaling	Onbekend.	Pigging-techniek.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	Circa € 15.000/inzet.	Marktpartijen bieden deze methode aan in NL. Techniek is in veel andere vakgebieden vanzelfsprekend.
	Zettings-metingen m.b.v. satelliet	Uit satellietbeelden zetting afleiden. Geeft vooral inzicht in zettings-gevoeligheid gebied en beperkt inzicht in zetting in persleiding.	Vanuit de lucht.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	> € 9.000/inzet.	In NL mee geëxperimenteerd en is betrouwbaar. Maar resterende dekking op leiding is hiermee niet te bepalen.
	Radiosignaal voor XYZ-bepaling	Radio.	Videowagen.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	Circa € 2.000/dag.	Verwijzingen naar literatuur (IKT en USA).
	Hellings-hoekmeting	Waterpas – mechanisch-elektrisch.	Videowagen.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	Circa € 2.000/dag.	Jozanneke Dirksen heeft in haar proefschrift afgeleid dat dit goed werkt voor langshelling, mits gekalibreerd.
	Zenderen	Detecteerbare sonde.	Op videowagen, of ander object, zoals trekveer.	Divers.	Ongelijke zetting, primair in XY-vlak.	Circa € 2.000/dag.	Geeft goed inzicht in X en Y, beperkt inzicht in Z.
	Zakbakens	Directe afstandsmeting permanent.	Daar waar ruimte beschikbaar is.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	< € 1.000/stuk.	Veelvuldig toegepast en voorgeschreven, lijkt nauwkeurig voor Z.
	Combinatie technieken: leiding-detectie, handmatig leiding-prikken, proefsleuven en proefgaten, radiodetectie en georadar	Eenmalige meting, diverse technieken.	Daar waar ruimte beschikbaar is.	Divers.	Ongelijke – extreme zetting.	Circa € 3.000/dag radar, overige circa € 1.200/dag. Dagproductie 200 à 500 meter, prijsindicatie circa € 2,4 à 15/m.	De inspanning bepaalt de nauwkeurigheid.
Graven en van buitenaf testen – boorkerntesten	Graven en destructief of niet-destructief onderzoek	Door leiding op te graven zijn diverse destructieve en niet-destructieve testen uit te voeren.	Daar waar ruimte beschikbaar is. Vooral geschikt voor toepassing op beperkt aantal segmenten.	Divers, ook uit olie- en gas-industrie.	Dikte, kwaliteit materiaal, voegkwaliteiten.	Graafkosten (soms hoog) + circa € 1.000 of 2000/dag, of circa € 200 analysekosten per locatie.	Werkt, maar blijft wel een puntmeting.
	Destructieve test	Bijvoorbeeld fenolftaleinetest voor AC en DCMT voor pvc.	Voorbeeld van destructieve test.	AC, pvc.	Dikteafname en kwaliteitsafname materiaal.	Graafkosten (soms hoog) + circa € 1.000/dag, of circa € 200 analysekosten per locatie.	Exact voor één locatie, blijft wel een puntmeting.

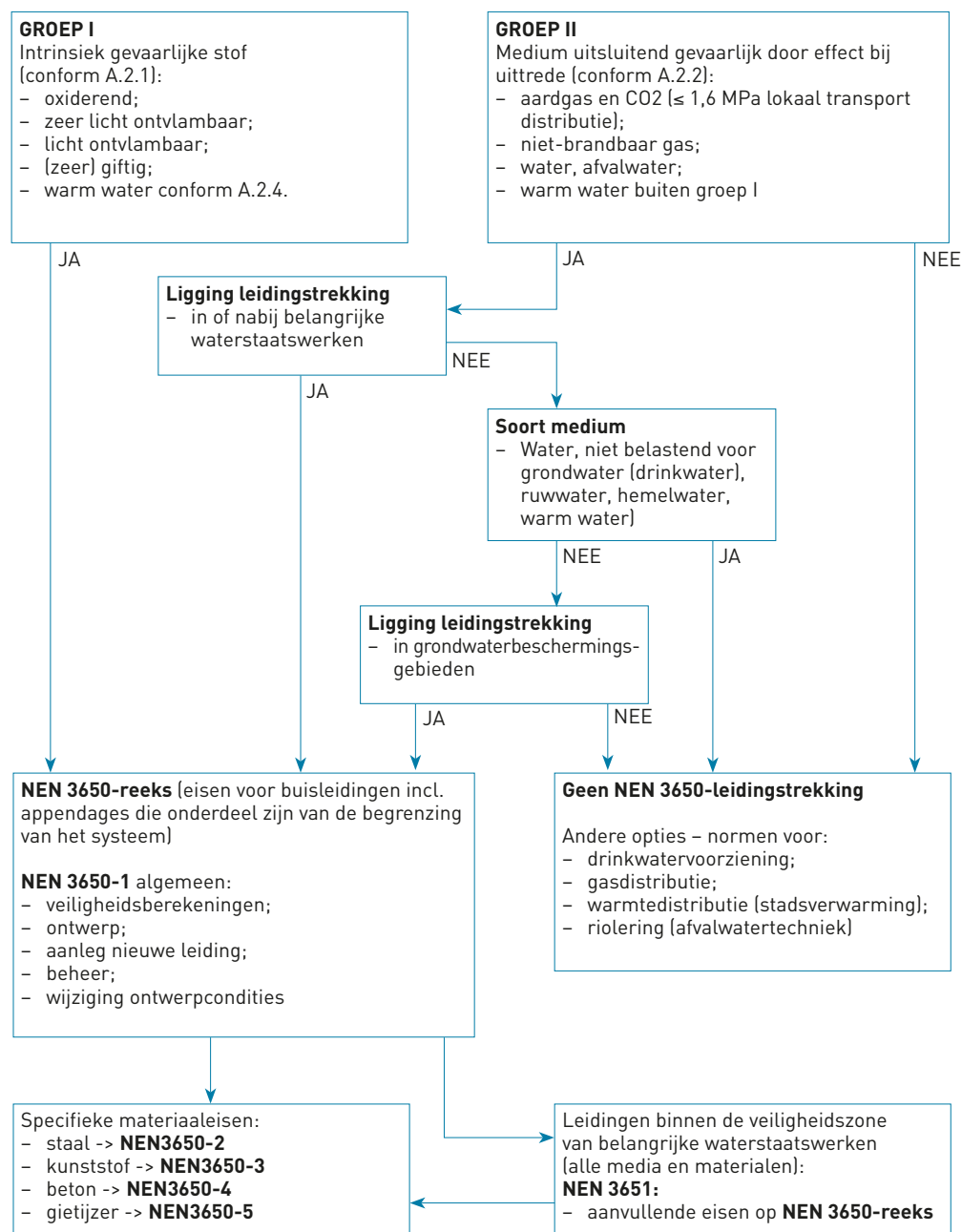
	Naam techniek	Meetprincipe	Methode uitvoering	Materiaal-type	Faal-mechanisme	Indicatie kosten (excl. bijkomende kosten)	Ervaringen
Visuele inspectietechnieken (inclusief laser en sonar)	Video-inspectie, voegmeting met Panoramo/Laserdioden	Twee camera's op videowagen die gecombineerd een 3D-beeld opleveren. Hieruit zijn voegwijdte en diverse schadebeelden te bepalen. Dit is te verfijnen met laser, zodat afstandsmeting nauwkeuriger wordt.	Droog riool met videowagen.	Divers.	Oppervlakkig waarneembare schades, scheuren, hoekverdraaiing, ongelijke zetting.	Circa € 1.000 à 1.500/dag, circa 200 tot 500 meter dagproductie = € 2 à 7,5/m.	Voegwijdtemeting is redelijk geaccepteerd en ook duidelijke oppervlakteschades zijn te herkennen. Lekkage blijft lastig.
	Deformatie-meting, laser gemonteerd op videowagen	Met laser is in het riool de interne geometrie te bepalen.	Droog riool met videowagen.	Divers.	Diameterafname, onrondheid hoekverdraaiing, ongelijke zetting.	Circa € 2/m (meerprijs boven op camera-inspectie).	Lasertechniek is geschikt voor het constateren van vervormingen.
	Combinatie laser (boven water) en sonar (onder water)	360 graden visueel, met laser en sonar.	Via boot/rupsvoertuig.	Divers.	Diameterafname, onrondheid hoekverdraaiing, ongelijke zetting.	Inschatting: even duur als videorobot op rupsbanden, circa € 6 à 25/m.	Zie WERF-publicaties, verder geen toepassing in NL bekend.
Diktebepaling en toestandsbepaling	Rioolradar	Elektromagnetische pulsen.	Droog riool met videowagen of vanaf buitenkant.	Beton, AC-beton.	Holle ruimten achter leiding, dikteafname, mogelijk ook kwaliteitsafname beton.	Circa € 2.500 à 4.000/dag, uitgangspunt dagproductie 200 tot 500 meter = € 5 à 20/m.	Dikte lijkt goed te gaan en voor toepassing in AC lijken er mogelijkheden. Betrouwbaarheid is onbekend.
	Ultrasonisch onderzoek beton	Transducers.	Droog riool met wagen of vanaf buitenkant.	Beton.	Holle ruimten achter leiding, dikteafname, mogelijk ook kwaliteitsafname beton, scheuren.	Circa € 7.000 à 10.000/dag, dagproductie 200 tot 1.000 meter = € 7 à 35/m.	Weinig ervaring mee.
	Oppervlakte-hardheids-meting beton	"Hamertechniek".	Droog riool met wagen of vanaf buitenkant.	Beton.	Hardheid/betonkwaliteit.	Even duur als ultrasonisch onderzoek beton: € 7 à 35/m.	Wordt af en toegepast (zoals in Arnhem), maar betrouwbaarheid is onbekend.
Electro-scanning	Electro-scanning	Elektrische geleidbaarheid.	Zender wordt door riool getrokken (vol met water).	Divers.	Scheuren, lekkende voegen, slecht gemonteerde ringen.	Circa € 2.000/dag, circa € 10 à 20/m.	Zie KIWA-publicaties, verder geen toepassing in NL bekend.
Lekkagebepaling met infrarood	Lekkage-bepaling met infrarood vanuit riool	Videowagen met infraroodcamera. Bij lekken (en foutieve aansluitingen) is de temperatuur langdurig anders.	Droog riool met videowagen die langzaam rijdt.	Divers.	Lekkage.	€ 1.500/dag = circa € 3 à 7,5/m.	Weinig ervaring mee.
	Lekkage-bepaling met infrarood vanaf maaiveld – uit de lucht	Met infraroodcamera.	Vanuit de lucht – vanaf maaiveld.	Divers.	Lekkage (bijvoorbeeld de situatie waar het oppervlaktewater niet bevroor door persleidingbreuk).	> € 9.000/dag.	Weinig ervaring mee, lijkt dusdanig indirect dat het probleem al in een ver stadium is.
Lekkagebepaling door water/lucht	Waterdichtheidstest met lucht en/of water	Leiding (of een deel) wordt afgesloten met afsluiters en op druk gezet. Ontsnappend debiet – drukafname wordt gemonitord.	Met water in redelijke normale bedrijfstoestand. Met lucht riool eerst droogzetten.	Divers.	Waterdichtheid.	Circa € 2.000/dag per segment, techniek is niet eenvoudig uitvoerbaar.	Weinig ervaring mee.
	Waterdichtheids-test met lucht individuele voeg	Leiding (of een deel) wordt afgesloten met afsluiters en op druk gezet. Ontsnappend debiet – drukafname wordt gemonitord.	Droog riool met rijdende camera.	Divers. Bij HPE aandachtspunt dat in eerste instantie vloeit ontstaat.	Waterdichtheid.	Circa € 2.000/dag.	Weinig ervaring mee, maar lijkt een betrouwbare techniek.

	Naam techniek	Meetprincipe	Methode uitvoering	Materiaal-type	Faal-mechanisme	Indicatie kosten (excl. bijkomende kosten)	Ervaringen
Lekkagebepaling met behulp van geluid	Smartball	Bal die door het riool rolt, meet overal de akoestische energie en kan hiermee vooral lekkages detecteren.	Normale bedrijfsvoering.	Alle materialen.	Lekkage via scheuren, voegen, etc.	€ 4/m.	Waternet beproeft deze techniek nu ook in drinkwaterleiding.
	Sonar/techniek voor lekbepaling	De leiding wordt afgesloten en er wordt een lichte onderdruk gehouden. Vervolgens detecteert de rijdende wagen waar lucht naar binnen komt.	Droog riool met videowagen.	Divers.	Lekkage.	Circa € 2.000/dag.	
	Correlator-meting	Aan weerszijde van meettraject tot circa 1 km geluidsonnemers (hydrophones) die water uit of in leiding horen stromen.	Bijna normale bedrijfsvoering, mits installatiepunten mogelijk.	Alle materialen.	Lekkage via scheuren, voegen, etc.	Afhankelijk van de inzet mogelijk vanaf circa € 2.000/dag.	
	Sahara-inspectiesysteem	Geluidsbron op maaiveld en geluidssensor die door leiding wordt getrokken. Bij lekken is er meer geluidsoverdracht.	Sensor door riool trekken.	Alle materialen.	Lekkage via scheuren, voegen, etc.	Onbekend.	
Opsporing vervuiling en / of lucht met geluid	Rapid detection of sewer blockages and defects using acoustic based instruments	Geluidssignaal door leiding zenden en meten.	Weinig consequenties voor bedrijfsvoering, mits goed geïnstalleerd.	Alle materialen.	Vervuiling en/of luchtophoping.	Onbekend.	Zeer experimenteel, alleen bekend van toepassing in universitaire wereld (onderzoek).
Diktemeting – piggingtechnieken	ICEPigging als alternatief voor harde/ zachte pigs	De leiding is na aftoep van het piggen weer schoon en verwacht mag worden dat de weerstand is afgenomen. Door dit na pigging te meten, is inzicht te krijgen in de oorzaak van de weerstandtoename.	Redelijk eenvoudig te realiseren (ook ervaring in Rotterdam) in normale bedrijfsvoering.	Divers	Vervuiling, luchtophoping.	Circa € 3.000 à 5.000/dag.	WM Rotterdam heeft deze techniek toegepast, was men redelijk tevreden over.
	Acoustic Resonance Technology	Akoestische pulsen via meerdere transducers. Kan door roest en sediment heen meten. Detecteert voegen, bochten, vernauwingen, reparaties, zijinlaten. Zeer gedetailleerde beelden.	Pigging (volledig gevuld systeem).	Gietijzer & staal.	Wanddikte, inwendige & uitwendige corrosie, putcorrosie, scheuren, etc.	€ 60.000 à 80.000/inzet. Schatting o.b.v. MFL- en UT-techniek.	Toch vooral toepassing in andere vakgebieden – nog opkomend.
	Magnetic Flux Leakage	Magnetische methode. Op gebieden waar sprake is van corrosie of ontbrekend metaal, 'lekt' het magnetische veld staalmagnetische energie.	Pigging (primair volledig gevuld systeem).	Magneti-seerbare materialen, zoals staal en gietijzer.	Oppervlakte-schade, putcorrosie, vervormingen.	€ 60.000 à 80.000/inzet = circa € 30 à 80/m.	Lijkt in gas- en olie-industrie goed te zijn.
	UT (ultrasonic testing)	Hoogfrequent geluid, uit frequentie is lokale dikte afleidbaar. Deel van het geluid wordt gereflecteerd door de binnenwand, een deel door de buitenwand.	Pigging.	Primair metalen (staal), mogelijk kunststoffen zoals GVK-HPE/pvc.	Diktemeting, binnendiameter (onrondheid), interne en externe corrosie.	€ 60.000 à 80.000/inzet = circa € 30 à 80/m.	Lijkt in gas- en olie-industrie goed te zijn.
	PIGLET (A. Hak en crawling pig ter illustratie van mogelijk-heden)	Divers. Bij bedrijven zoals Applus RTD en A. Hak, Kema, TNO zijn nog meer technieken voorhanden. Technieken worden niet/zelden genoemd in riolerings-land en/of literatuur.	Op een meetpig zijn meerdere variaties mogelijk, met en zonder voedings-meet-kabel, vrijbewegend of kruipend.	Divers. Primair metalen, maar kunststoffen ook mogelijk.	Divers. Inzicht in diameter, wand-dikte, roest, scheuren, objecten.	€ 15.000 à 80.000/inzet = circa € 15 à 80/m.	Lijkt in gas- en olie-industrie goed te zijn.

	Naam techniek	Meetprincipe	Methode uitvoering	Materiaal-type	Faal-mechanisme	Indicatie kosten (excl. bijkomende kosten)	Ervaringen
Overige inspectietechnieken	Tracers (ondere andere hydrogen lekdetectie)	Injectie tracers (gas, rook, radioactiviteit, kleurstoffen) en deze bovengronds opsporen om lekken te traceren.	Tijdens gebruikstoestand.	Divers.	Lekkage.	Heliumtest circa € 5.000 à 6.500/km.	Goede ervaringen in andere vakgebieden (zie onder meer LinkedIn-groep Pipeline Leak Detection. Maar voorzichtigheid is geboden bij toepassing van dit soort technieken in stedelijk gebied!) Techniek lijkt betrouwbaar.
	Mechanische sensoren bodem-verandering (incidentele of continue meting)	Zettingsboutjes, trillings-opnemers, inclinatie, rekstrookjes, bodemdruk, grondwatertemperatuur in meerdere variaties. Zie onder meer assortiment van Inventec, Geobeads, en recent onderzoek bij stichting IJKDIJK.	Tijdens gebruiks-toestand in bodem – bij gebouwen.	Divers.	Ongelijke zetting bij graafwerk-zaamheden, belastingtoename, optioneel lekkage.	Maatwerk.	Werkt, maar vaak voorkomen de kosten grootschalige toepassing. Voor lokaal maatwerk op risicovolle locaties zonder meer mogelijk.
	Fibre optic-technieken	Door laser door glasvezel te zenden en reflecties te analyseren, is veel informatie te krijgen. Van indringeralarmring, bewegingssignalering, spanningsmeting, temperatuurmeting. Kan via gehele lengte (DAS, DTS, DSS) of lokaal (FBG) en/of ingeweven in textiel.	Mits kabel in te graven is nabij bodem en daarmee vooral geschikt als semi-permanente techniek.	Divers.	Overbelasting, lekkage, ongelijke zetting.	Kosten kabel circa < € 1/m, exclusief aanleg. Kosten meet-pc's variërend van € 20.000 (DAS, FBG) tot circa € 200.000 (DAS). Apparaat is periodiek in te zetten (bijvoorbeeld 1 x per 5 jaar o.b.v. huur), dan dalen kosten tot circa € 2.000 à 20.000 per inzet voor 2 à 20 km ineens. Techniek leent zich typisch voor grote leidinglengten. Voor 10 km leiding 50 jaar elke 5 jaar controle variëren prijzen van € 3/m tot circa € 21/m.	Technieken bestaan al langer, niet altijd even duidelijk wat er precies mee kan.

Bijlage 3 Stroomschema bepaling van toepassing zijnde norm voor leidingstrekking

Figuur B3.1. Stroomschema selectie norm persleiding



De norm die van toepassing is op een afvalwaterpersleiding is afhankelijk van de ligging van de leidingstrekking. Afvalwater valt onder Groep II van stoffen. Bij ligging in of nabij belangrijke waterstaatswerken of in grondwaterbeschermingsgebieden is de NEN 3650-reeks van toepassing. In overige gevallen is geen sprake van een NEN 3650-leidingstrekking. Voor afvalwaterpersleidingen geldt dan NEN 1610, waarbij voor leidingen met een hogere druk dan 5 mWk wordt doorverwezen naar NEN 805 als het gaat om het bepalen van de lektheid. Overigens kunnen beheerders wel NEN 3650 van toepassing verklaren ook al is de leiding geen NEN 3650 leidingstrekking.

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2018 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

auteurs

Jeroen Langeveld en Cornelis de Haan (Partners4UrbanWater)

omslagfoto

Rien van Wanrooij (Waterschap Brabantse Delta)

vormgeving

Jeroen Brugman, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

rapportnummer

2018-22

isbn/ean

978 90 73645 63 9



De proeftuin persleidingen verzamelt praktijkervaringen met een stappenplan voor onderzoek naar de conditie van persleidingen. De stappen zijn 'inventarisatie', 'basisonderzoek' en 'verdiepend onderzoek'. Onderzoek naar de conditie van persleidingen is nog geen reguliere activiteit bij alle beheerders. De ervaring is dan ook nog niet uitgekristalliseerd in breed aanvaarde standaarden. Wel kunnen de hier beschreven tips en aandachtspunten u voor onnodige kosten behoeden. Deze publicatie is een update van het Stichting RIONED/STOWA rapport 2015-21. Het vult de ervaringen aan met onderzoek op het niveau 'basis' en bevat enkele inhoudelijke correcties. In het vervolg van deze proeftuin gaan de deelnemers met verdiepend onderzoek aan de slag.