

Professioneel Afvalwatertransport

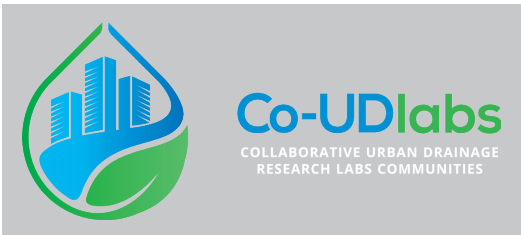
Beoordeling inspectie-instrumenten
voor persleidingen: onderzoek in
testopstelling

Professioneel Afvalwatertransport

Beoordeling inspectie- instrumenten voor persleidingen: onderzoek in testopstelling



Horizon2020
European Union Funding
for Research & Innovation



Summary

Sewage pressure pipes are undoubtedly particularly critical structures in the sewerage system. In the event of a failure, exfiltration, flooding and the associated risks for people and the environment are to be expected. In order to minimize the risk of damage or operational failure of these pipes, regular condition assessments are required. However, the inspection of wastewater pressure pipes poses a problem for many operators. A conventional CCTV condition assessment or leak test as with gravity pipelines is usually not possible due to certain boundary conditions (e.g., lack of access openings, bends, full or partial filling of the pipelines and gradient). New, innovative inspection techniques are required that provide meaningful results on the condition of the sewage pressure pipes. In recent years, some promising inspection techniques have been (further) developed. Within the framework of this project, selected innovative inspection techniques have been examined in a test set-up for their performance and application limits. A test setup was constructed in the large-scale test facility of IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur (Gelsenkirchen), consisting of a system of wastewater pumps and pressure pipes, with typical damage patterns to be detected by the inspection techniques. Different pipe materials were installed in sections of the test setup to determine their influence on the different inspection techniques. This report presents and compares the test results of the various techniques.

Keywords: Sewer pressure lines, Inline inspection techniques, Damage scenarios, Pipe materials.

Voorwoord

Afvalwaterpersleidingen zijn belangrijke schakels in het afvalwatersysteem. Als slagaders transporteren de persleidingen het afvalwater vanuit de (eind)gemalen naar een volgende kern of naar de rioolwaterzuiveringsinrichting. Persleidingen in Nederland vertegenwoordigen een geschatte vervangingswaarde van circa drie miljard euro. Bij constructief falen van een persleiding is in bepaalde situaties sprake van een ernstige calamiteit. Op dit moment is er echter nauwelijks zicht op de actuele conditie en daardoor onvoldoende op de faalkans van afvalwaterpersleidingen. Uit al gedane inspecties blijken grote delen nog goed te zijn. Regelmatig blijkt echter ook dat specifieke delen op korte termijn vervangen moeten worden.

Vanwege de in de praktijk oplopende faalfrequentie groeit de behoefte aan methodes die betrouwbare informatie geven over de constructieve staat van afvalwaterpersleidingen. Het afgelopen decennium zijn daartoe mogelijk geschikte instrumenten ontwikkeld en in de praktijk al beproefd. Een onafhankelijke vergelijking van de toepassingsmogelijkheden en te bereiken nauwkeurigheden was nog niet beschikbaar.

Deze publicatie beschrijft een onderzoek naar de prestaties en het toepassingsbereik van innovatieve inspectietechnieken in een testopstelling. De testopstelling bevat typische schadepatronen die door de inspectietechnieken kunnen worden opgespoord. De opstelling is gebouwd in de grootschalige testfaciliteit van het Duitse onderzoeksinstituut IKT.

De resultaten laten zien dat ultrasone inspectietechnieken de meeste schades goed kunnen detecteren. De detectie van de locatie van lekkages en wanddikteverlies was correct. De grootte van individuele lekken bleek wel een uitdaging te zijn. Ook afzettingen en ovalisatie werden correct geïdentificeerd in de testopstelling. Inspectie met hydrofoonmeting bleek in de testopstelling gehinderd door de aanwezigheid van (meegevoerde) lucht in de leiding.

We zijn erkentelijk voor de financiële steun van de Europese Unie in het kader van het Horizon 2020-programma via het transnationale innovatieprogramma ‘Samenwerkende Europese laboratoria voor stedelijk waterbeheer (Co-UDlabs)’.

Veel leesplezier en inspiratie.

Hilde Niezen, Stichting RIONED
Joost Buntsma, STOWA
Maart 2024

Inhoud

1	Inleiding	7
2	Methodiek van het onderzoek	8
2.1	Testopstelling	8
2.2	Testverloop	12
3	Deelnemers	14
3.1	Pipebots luchtgekoppeld ultrasoon instrument - Universiteit van Bristol	15
3.2	Pipebots akoestische sensor - Universiteit van Sheffield	15
3.3	Acquarius – Acquaint	16
3.4	Linegy - ROSEN Groep	18
3.5	SmartBall – Xylem	19
3.6	PipeDiver – Xylem	20
4	Beschrijving van de resultaten	21
4.1	Academische deelnemers	21
4.2	Commerciële deelnemers	22
5	Conclusies	27
5.1	Academische instellingen	27
5.2	Commerciële partijen	27
6	Reflecties en aanbevelingen	28
6.1	Onderzoekers	28
6.2	Reflectie op de resultaten door de deelnemers	29
	Literatuur	31
	Bijlagen	32
	Colofon	35

1 Inleiding

Persleidingen transporteren afvalwater over lange afstanden met onvoldoende verval waar transport met een vrijvervalriool niet efficiënt is. Bij persleidingen is het van extra belang te zorgen voor een permanente waterdichtheid en functionaliteit. Als een persleiding of een rioolgemaal uitvalt, kan dit leiden tot overlast en overstromingen. Dit is een risico voor de omwonenden en de omgeving, waaronder infrastructuur, bebouwing, grondwater en ontvangend water. Bij lekkende persleidingen komt afvalwater in de bodem en mogelijk in het grondwater terecht. Hierdoor kunnen er holtes ontstaan in de omringende grond van de lekkende leiding, wat een risico op instortingen aan het grondoppervlak veroorzaakt. Afzettingen in de leidingen, in combinatie met hogere bedrijfskosten (door hoger energieverbruik), kunnen leiden tot verminderde pompvolumes. Om het risico op beschadiging of bedrijfsuitval van persleidingen zo laag mogelijk te houden, zijn regelmatige conditiebeoordelingen van de leidingen noodzakelijk.

Het is meestal niet mogelijk om de toestand van afvalwaterpersleidingen vast te leggen met conventionele inspectietechnologie vanuit de open lucht (bijvoorbeeld met een camera-inspectie). Doordat de leidingen geheel of gedeeltelijk gevuld zijn met troebel afvalwater, is er geen zicht met een camera. Bovendien zijn de gebruikelijke rioolinspectiecamera's niet bestand tegen de hogere werkdrukken. Een bijkomende moeilijkheid is dat een inspectie tijdens bedrijf meestal niet voorzien is in het ontwerp van veel bestaande systemen. Er zijn geen toegangsopeningen in de leiding of ze zijn alleen met lange tussenafstanden beschikbaar. Ook bochten, volledige of gedeeltelijke vulling van de leidingen en hellingen maken een inspectie extra moeilijk.

Het monitoren van de conditie en het detecteren van gebreken in rioolstelsels en vooral in persleidingen is een uitdaging. Voor het inspecteren van vrijvervalriolering is camera-inspectie het meest gebruikelijk. Incidenteel worden hiervoor akoestische inspectietechnieken gebruikt. Voor persleidinginspecties is er een groeiende belangstelling voor het gebruik van roboticaplatforms (Intelligent Pipeline Inspection Gauges of 'iPIG's') die een verscheidenheid aan sensoren kunnen dragen. Deze technieken staan nog in de kinderschoenen en zijn tot nu toe vooral toegepast in drinkwatersystemen.

Aangezien zowel camera's als de huidige sensorplatforms allemaal handmatig worden bediend, zijn ze tijdrovend om in te zetten. Over het algemeen wordt daarom slechts een klein deel van de persleidingen geïnspecteerd.

Omdat persleidingen verouderen en kunnen verslechteren, is er dringend behoefte aan snellere en nauwkeurigere inspectietechnieken. Er is echter nog geen onafhankelijke vergelijking gemaakt van de mogelijkheden, precisie en nauwkeurigheid van de nu bestaande inspectietechnieken.

Dit rapport beschrijft het EU-project dat de mogelijkheden van verschillende bestaande inspectietechnieken en prototypes van sensorplatforms vergelijkt. Het onderzoek is uitgevoerd in een laboratoriumopstelling van een persleiding op ware grootte met verschillende vooraf gedefinieerde defecten.

In het laboratorium hebben we onder reproduceerbare en uniforme randvoorwaarden de prestaties en toepassingslimieten van geselecteerde innovatieve inspectiesystemen met een veelbelovende aanpak in het toepassingsgebied van persleidingen onderzocht. In het onderzoek gebruikten we een bestaande testopstelling van persleidingen en pompen in de groot-schalige testfaciliteit van het IKT. Deze bestaande testopstelling werd aangepast en voorzien van verschillende leidingmaterialen die veel gebruikt worden voor afvalwaterpersleidingen. Vervolgens zijn een aantal nieuwe leidingdelen (DN 300) voorzien van schadepatronen die typisch zijn voor afvalwaterpersleidingen, zoals corrosie, lekkage/putcorrosie en afzetting.

2 Methodiek van het onderzoek

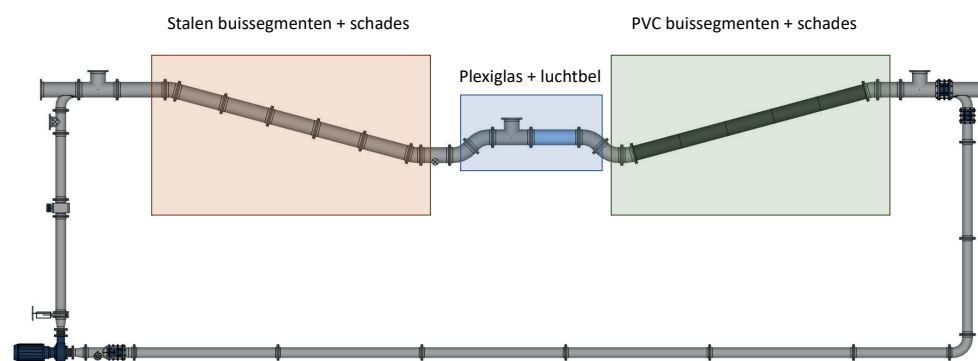
2.1 Testopstelling

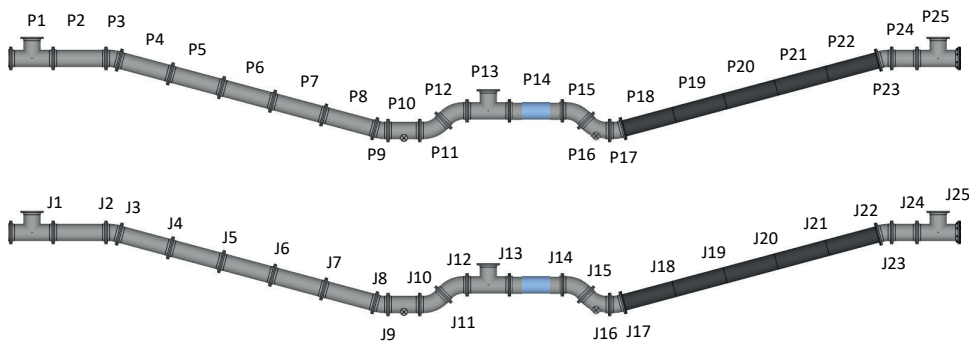
Het ontwerp van de testopstelling ziet u in figuur 1. De testopstelling bestaat uit stalen en kunststof buissegmenten met een diameter van DN 300 in het inspectiebereik. De retourluis onder de testfaciliteit bestaat uit kleinere stalen buissegmenten met een diameter DN 200. Een centrifugaalpomp die wordt aangestuurd door een frequentietransformator wekt stroming op in het systeem, waarmee een debiet tussen ongeveer 5 – 156 l/s kan worden gekozen. De in- en uitgang van de inspectieleiding bestaat uit een combinatie van een horizontale ingang (blinde flens) en een T-stuk, beide met een diameter van DN 300. Hierdoor is de leiding toegankelijk voor de verschillende te testen instrumenten. De inspectieleiding bestaat uit een opeenvolging van:

- i) een onbeschadigd, horizontaal uitgelijnd stalen buissegment, met ingangsmogelijkheden via een T-stuk of horizontaal.
- ii) een neerwaartse helling van 15° stalen segmenten met diverse toegepaste beschadigingen.
- iii) een onbeschadigd, horizontaal uitgelijnd stalen buissegment met een kraan.
- iv) een opwaartse helling van 45° gemaakt van gebogen stalen buissegmenten.
- v) een horizontaal uitgelijnd stalen buissegment met T-vormige uitlaat en luchtdrukinlaat.
- vi) een horizontaal uitgelijnd plexiglas buissegment.
- vii) een neerwaartse helling van 45° gemaakt van stalen segmenten, direct gevolgd door een verbindingsegment met een opwaartse helling van 15°.
- viii) een opwaartse helling van 15° van PVC-buissegmenten met een verscheidenheid aan toegepaste beschadigingen.
- ix) een horizontaal uitgelijnd stalen buissegment met uitgangsmogelijkheden via een T-stuk of horizontaal.

De testfaciliteit waarin de persleiding is aangelegd is na de installatie niet gevuld met water of grond. De wanddikte van de stalen buissegmenten van DN 300 bedraagt 7,1 mm, met een maximale wanddikteafwijking van 10% volgens [1]. Aanvullende metingen aan de wanddikte die na de inspectie werden uitgevoerd, lieten een gemiddelde wanddikte van ongeveer 6,5 mm zien. De wanddikte van de PVC-buissegmenten is 15 mm met een maximale wanddikteafwijking van 1,8 mm [2]. De pompinstallatie en DN 200 stalen leidingsegmenten zijn hergebruikt uit een eerder project. Het systeem is gevuld met drinkwater. De druk in het systeem is afkomstig van de druk van de waterinstroom in het systeem en is daarom gemaximeerd op 3,4 bar in een waterdicht systeem. In de praktijk wordt met de toegepaste lekkages waarover u verderop in dit hoofdstuk leest, de maximale druk verlaagd tot ongeveer 1,3 bar. De druk kan handmatig worden verhoogd door de luchtdrukinlaat in het midden van de persleiding. De maximale druk in het systeem mag niet hoger zijn dan 2,5 bar vanwege de relatief lage treksterkte van het plexiglas buissegment. De stroomsnelheid kan eenvoudig worden aangepast tussen 0 – 2,0 m/s. Een overzicht van alle buissegmenten en de identificatienummers van de segmenten en de verbindingen ziet u in figuur 2.

Figuur 1
Experimentele opstelling





Figuur 2
Identificatienummers van
leidingsegmenten en van de
verbindingen

De beschadigde leidingen zijn gemaakt van nieuwe leidingsegmenten die voor dit project zijn uitgerust met unieke schadescenario's. Op deze manier zijn de schades duidelijk gedefinieerd en zijn de omstandigheden voor alle deelnemende inspectie-instrumenten gelijk. In de figuren 3, 5 en 7 ziet u de toegepaste schadescenario's van de verschillende secties uit figuur 1. De toegepaste schades in de testopstelling zijn aangepast aan schadescenario's die vaak voorkomen in echte persleidingen, zoals besproken met Nederlandse en Britse persleidingbeheerders tijdens online workshops. Een samenvatting van de bespreking van de belangrijkste schadescenario's die relevant zijn voor de gekozen materialen vindt u in de gearceerde inzet onder aan deze pagina. In de volgende paragrafen leest u een beschrijving van de toegepaste schadescenario's.

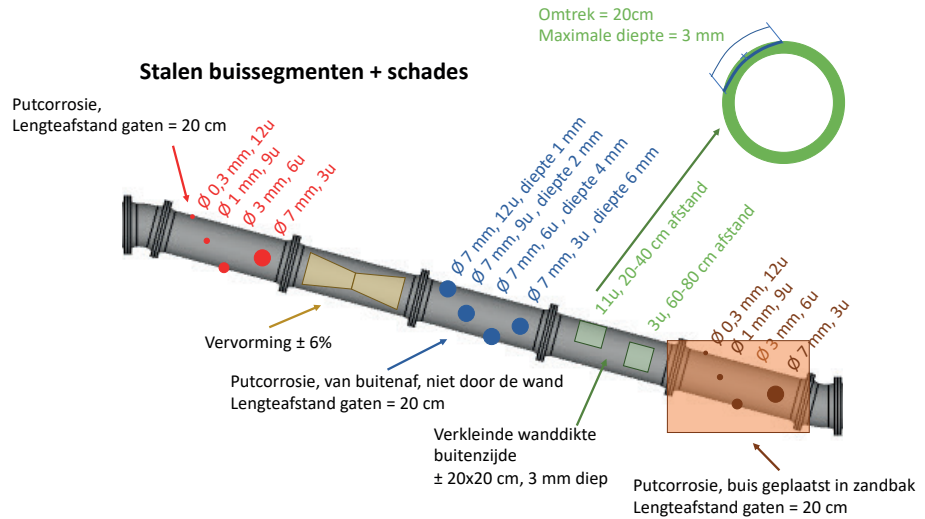
Putcorrosie simuleerden we door cirkelvormige gaten met een oplopende diameter in leidingsegmenten P4 en P8. De gatdiameters zijn respectievelijk 0,3, 1, 3 en 7 mm¹. De gaten zijn aangebracht met een gelijke afstand van 200 mm tussen het midden van de gaten in de lengterichting. Ze bevinden zich in omtrekrichting op respectievelijk 12 uur, 9 uur, 6 uur en 3 uur. Het verschil tussen P4 en P8 is de aanwezigheid van een kist gevuld met aarde rond leidingsegment P8, terwijl leidingsegment P4 in de open lucht lekte. Voor verschillende technieken, zoals akoestische methoden, kan dit verschillende signalen tot resultaat hebben.

Belangrijkste conclusies workshop netwerkbeheerders over schadescenario's in persleidingen

- Voor stalen buizen is corrosie een van de belangrijkste processen die tot schade leiden. Corrosie kan zowel aan de binnenkant als aan de buitenkant van de buis worden aangetroffen. Dit kan resulteren in gaten van verschillende grootte en vorm (putcorrosie) of een vermindering van de wanddikte (aan de binnen- of buitenkant).
- Bij alle materialen kan lokale verdikking door afzettingen optreden.
- Ovalisatie is vooral belangrijk voor kunststof buizen, maar kan af en toe ook worden aangetroffen in stalen buizen.
- Bij kunststof buizen wordt ook schade in de vorm van krassen van verschillende vorm en grootte aangetroffen aan zowel de binnen- als de buitenkant van de leidingen.
- In segmenten onder druk vormen gasbellen ernstige risico's. Ze leiden tot een verhoogde stroomvraag voor het gemaal en de buiswand bij de gasbel vormt een risicolocatie voor corrosie (in het geval van staal of beton). Deze gasbellen manifesteren zich vaak bij duikers of neerwaartse hellingen.
- Schade aan de verbindingen manifesteert zich voornamelijk door hoekverplaatsingen die groter zijn dan ontworpen.
- Axiale of radiale verplaatsingen van buissecties zijn van minder belang.

¹ De kleinere gaten van 0,3 en 1 mm waren snel verstopt met roest en lekten niet. Bij een hogere uitgeoefende druk (tot 2 bar) werd wat druppelen waargenomen uit het gat van 1 mm. De mate van verstopping voor de kleinere of middelgrote gaten kon niet worden geverifieerd voor leidingsegmenten met lekkages aangebracht in de grondbak.

Figuur 3
Experimentele opstelling,
sectie "Stalen buis +
beschadigingen"



Buissegment P5 wordt vervormd door het gebruik van een stalen klem, om een verticale diameterreductie van 6% te realiseren, wat overeenkomt met 18 mm. Leidingsegment P6 en P7 zijn vanaf het buitenoppervlak beschadigd om schade na te bootsen die is veroorzaakt tijdens de installatie of door bouwwerkzaamheden van derden. In buissegment P6 zijn cirkelvormige gaten met een diameter van 7 mm met een penetratiediepte van respectievelijk 1, 2, 4 en 6 mm in de buiswand aangebracht. Deze gaten zijn aangebracht met een gelijke afstand van 200 mm tussen het midden van de gaten in de lengterichting. Ze bevinden zich in omtrekrichting op respectievelijk 12 uur, 9 uur, 6 uur en 3 uur. In buissegment P7 is op twee locaties een plaatselijke vermindering van de wanddikte aan de buitenzijde aangebracht, met een oppervlak van 200 x 200 mm en een maximale diepte van 2,9 – 3,1 mm. De twee locaties bevinden zich op 200 mm van elkaar, één op 11-12 uur en één op 2-3 uur. Een detail over hoe deze wanddikteverminderingen zijn toegepast, vindt u in de inzet in figuur 3. Foto's van verschillende van de toegepaste schades ziet u in figuur 4.

Figuur 4
Foto's van een aantal van de
aangebrachte beschadigingen
in de neerwaartse helling,
bestaande uit stalen
buissegmenten.



a) Toegepaste vervorming (ovalisatie) b) Oppervlakkig wanddikteverlies c) Bak met grond

Het totale lekkagedebiet als gevolg van de aangebrachte gaten is geschat volgens de formule van Torricelli [3]:

$$Q = \alpha A \sqrt{2gh_w}, \quad (1)$$

met Q het lekdebet (m^3/s), α de contractiecoëfficiënt, A het oppervlak van het lek, gelijk aan $0,25\pi d^2$, waarbij d de diameter van het gat is, g de gravitatieconstante en h_w de hoogte van de waterkolom. De waarde voor α is berekend volgens de volgende vergelijking:

$$\alpha = 1/\sqrt{1+0,25} = 0,894 \quad (2)$$

wat overeenkomt met een rond gat met scherpe randen [4].

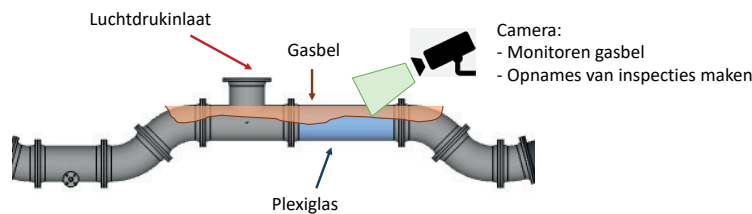
In tabel 1 staan voor elke gatdiameter de naar l/s omgerekende lekkagedebieten bij een waterkolom van 10 m en 20 m, wat overeenkomt met een inwendige druk van respectievelijk 1,0 en 2,0 bar. Het totale lekpercentage is gelijk aan 2 keer de som van de lekdebieten voor elke gatdiameter, aangezien alle gaten in zowel buissegment P4 als P8 zijn toegepast. Het totale lekkagedebiet mag niet groter zijn dan 2 l/s , wat de maximale navulcapaciteit van de testopstelling is. Merk op dat de invloed van verstopping van de kleinere gatdiameters op de totale lekkagesnelheid verwaarloosbaar was.

gatdiameter (mm)	Lekdebiet 1,0 bar (l/s)	Lekdebiet 2,0 bar (l/s)
0,3	0,001	0,001
1,0	0,010	0,014
3,0	0,089	0,125
7,0	0,482	0,682
Som	1,163	1,645

Tabel 1
Lekdebieten voor elke gatdiameter toegepast in leidingsegment 1 en 5.

Het middelste deel van de persleiding is naar boven getild om een duiker te simuleren, zie figuur 5. De luchtdrukinlaat die hier op leidingsegment P13 is ontworpen, maakt het mogelijk om op dit deel van de persleiding een gasbel te initiëren en te behouden. Bovendien wordt het gebruikt om extra druk op het systeem uit te oefenen. Het plexiglas leidingsegment P14 dient twee doelen. Ten eerste stelt het de technici in staat om de locatie en grootte van de gasbel te bewaken. Ten tweede biedt het de mogelijkheid om de inspectie-instrumenten in gebruik te zien in een anders gesloten persleiding. Een foto van het segment van de plexiglasen buis, inclusief de luchtbel, staat in figuur 6.

Plexiglas + luchtbel



Figuur 5
Experimentele opstelling, sectie "Plexiglas + gasbel"



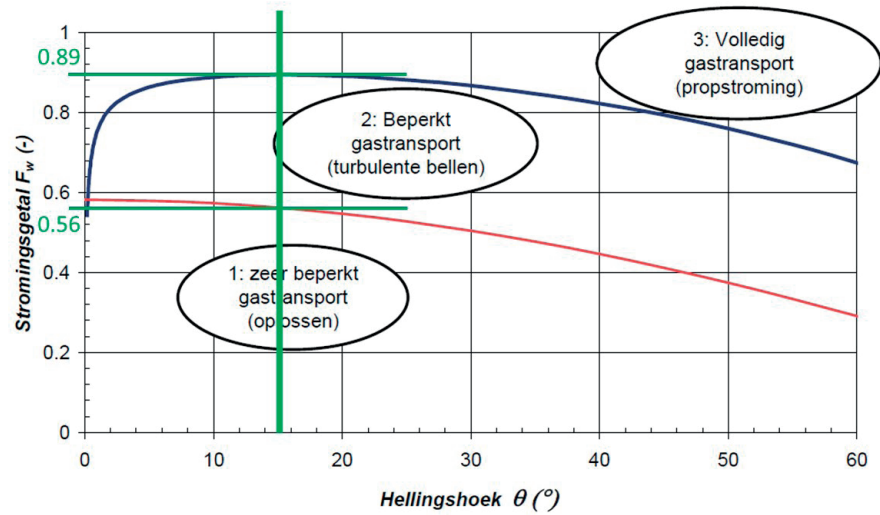
Figuur 6
Plexiglas buis met gasbel

Bij het legen en bijvullen van de persleiding kan gas uit de gasbel zich verplaatsen naar de neerwaartse en opwaartse helling van de testopstelling. De CAPWAT-formuleringen [5] worden gebruikt om te bepalen bij welke stroomsnelheid deze luchtballen in de neerwaartse helling kunnen blijven hangen en daardoor onbedoelde gasbellen in de neerwaartse helling kunnen veroorzaken. Het stromingsgetal dat overeenkomt met een overgang tussen volledig gastransport en beperkt gastransport is 0,89, zie ook figuur 7. Het debietgetal dat overeenkomt met een overgang tussen beperkt gastransport en zeer beperkt gastransport is 0,56. De stroomsnelheid v is gerelateerd aan het stromingsgetal F_w als [5]:

$$F_w = v/\sqrt{gD}, \quad (3)$$

met g de gravitatieconstante en D de binnendiameter van de buis. De stroomsnelheid die overeenkomt met de overgang tussen volledig gastransport en beperkt gastransport is 1,5 m/s. De stroomsnelheid die overeenkomt met de overgang tussen beperkt gastransport en zeer beperkt gastransport is 1,0 m/s. Dit betekent dat bij stroomsnelheden van meer dan 1,5 m/s alle gasbellen in de neerwaartse helling met de stroming worden meegevoerd. Bij stroomsnelheden van minder dan 1,0 m/s blijven praktisch alle gasbellen in de neerwaartse helling. Bij stroomsnelheden tussen 1,0 m/s en 1,5 m/s kan een deel van de gasbel blijven bestaan, terwijl een deel van het gas kan worden getransporteerd. Daarom nemen we aan dat tijdens het testen alle lucht met de waterstroom uit de opwaartse helling werd getransporteerd.

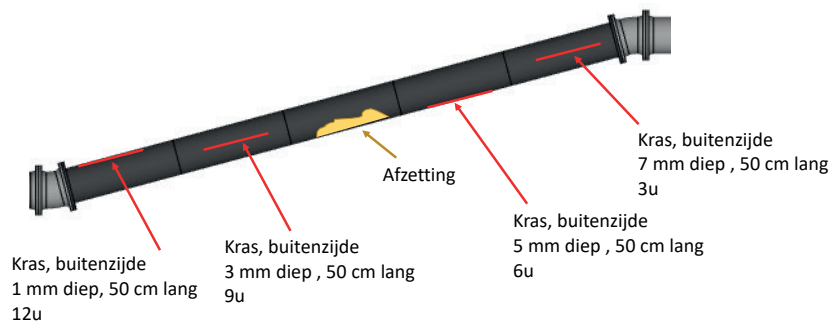
Figuur 7
 Relatie tussen stroomgetal F_w en hellingshoek θ , gemeten vanaf de horizontale as. De groene lijnen en nummers geven de stroomnummers die overeenkomen met de overgangszones voor een hellingshoek van 15° aan. De figuur is ontleend aan [5].



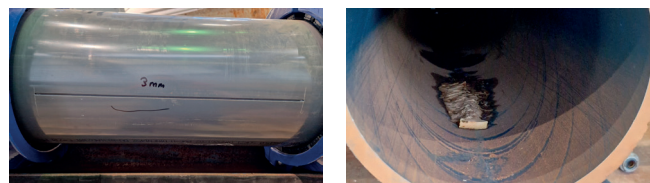
Aan de buitenkant van de PVC-buissegmenten werden grote krassen op het oppervlak aangebracht, die installatieschade simuleerden, zie ook figuur 8. De krassen waren 50 cm lang en 4,8 mm breed, bevonden zich in het midden van het leidingsegment in lengterichting en verschoven langs de omtrek op 12 uur, 9 uur, 6 uur en 3 uur. De diepte van de krassen varieert tussen respectievelijk 1, 3, 5 en 7 mm. De krassen werden aangebracht op leidingsegmenten P21, P22, P24 en P25. In leidingsegment P23 is een afzetting aangebracht. De afzetting had een afmeting van ongeveer 400 x 90 mm en een dikte van 10-15 mm. Foto's van enkele beschadigingen in de PVC-buissegmenten staan in figuur 9.

Figuur 8
 Experimentele opstelling, sectie "PVC-buis + beschadigingen"

PVC buissegmenten + schade



Figuur 9
 Foto's van verschillende aangebrachte beschadigingen in de PVC-buizen.



a) Kras aan de oppervlakte

b) Afzetting

2.2 Testverloop

We hebben academische en commerciële partijen uitgenodigd om de persleiding te inspecteren. Een overzicht van de deelnemers vindt u in de volgende paragraaf. De academische partijen konden de testopstelling gebruiken voor onderzoeksdoelinden. De commerciële partijen verzochten we om de experimentele persleiding te inspecteren zoals ze dat zouden doen bij een ondergrondse leiding (in-situ). Details over de in- en uitgangen, de inwendige diameter, wanddikte en leidingmateriaal deelden we vooraf met de inspectiebedrijven, zoals het geval zou zijn bij in-situ inline-inspecties. De testopstelling was afgedekt met folies om te voorkomen dat de deelnemers de schadescenario's konden zien, zie figuur 10. De folie werd zodanig aangebracht dat het op elk moment onmogelijk was om naar de toegepaste schadescenario's eronder te kijken. De deelnemers konden zoveel inspectieruns uitvoeren als ze

wilden. De stromingscondities konden eenvoudig worden aangepast tussen de inspectieruns door. De toegepaste schadescenario's zijn pas na het indienen van het inspectierapport met de inspectiebedrijven gedeeld voor ontwikkelingsdoeleinden.



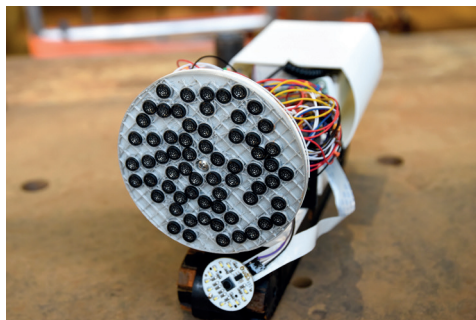
Figuur 10
Een overzicht van de testopstelling bedekt met plastic folies om de schadescenario's te verbergen en de deelnemers een blinde test te bieden.

Voordat de inspecties begonnen, verzamelden we productspecificaties van de deelnemende instrumenten. Deze zijn weergegeven in drie tabellen in bijlage A. Tabel A.1 omvat het toepassingsgebied van het instrument, zoals het leidingmateriaal waarvoor het kan worden gebruikt, geometrische beperkingen en druk- en stroomsnelheidsvereisten. De instrumenten van de academische partijen hebben we in deze tabel buiten beschouwing gelaten, omdat de specificaties hiervan vooral door het ontwerp van het robotplatform worden bepaald. Dit is niet het belangrijkste aandachtspunt van de instrumenten van de academische deelnemers. Tabel A.2 geeft een overzicht van de verwachte mogelijkheden van de academische instrumenten met betrekking tot schadedetectie. Tabel A.3 geeft een overzicht van de (publiekelijk) geclaimde mogelijkheden van de commerciële instrumenten met betrekking tot schadedetectie. Voor een lange lijst van schades is de mogelijkheid om de schade op te sporen (zowel academische als commerciële partijen) verzameld, evenals de minimale schadegrootte voor detectie en de nauwkeurigheid van de omvang van de schade (alleen commerciële partijen). De schadescenario's die in dit project onafhankelijk worden getest, zijn in tabel A.3 in blauw aangegeven. Voor elk inspectie-instrument werd de input voor de tabellen A.1-A.3 opgehaald bij de betreffende firma door middel van datasheets en (online) vergaderingen. De gegevens zijn verzameld voordat de inspecties begonnen, om de basis vast te stellen waarmee de resultaten worden vergeleken. Tijdens het bezoek werd de leidinginspectie geobserveerd door een projectmanager van IKT. De projectmanager registreerde: i) de inspectieprocedure, ii) de voorbereidingstijd, iii) het aantal mensen dat aanwezig was om het systeem te bedienen en iv) de ondervonden problemen, indien aanwezig.

3 Deelnemers

De betrokken partijen en de geteste instrumenten zijn weergegeven in figuur 10a tot en met 10e.

Figuur 10a
Het luchtgekoppelde ultrasone-matrix-instrument van de Universiteit van Bristol.



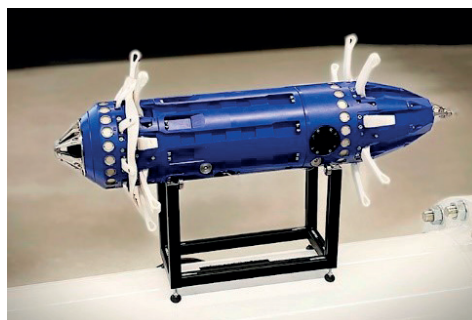
Figuur 10b
De akoestische sensor van het PipeBots-project van de Universiteit van Sheffield



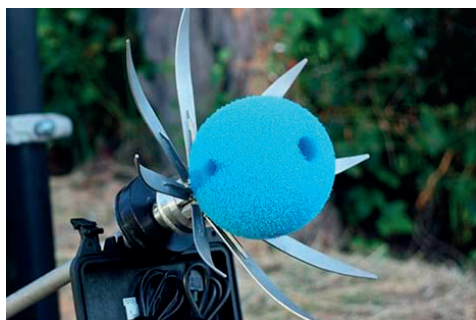
Figuur 10c
Het instrument Acquarius van Acquaint.



Figuur 10d
Het instrument Linegy van de ROSEN Group



Figuur 10e
Het instrument SmartBall van Xylem



Het Sahara-instrument dat is ontwikkeld door het UK Water Research Center (WRc) voor inspectie van schoon water en afvalwatersystemen, kwam ook in aanmerking voor deelname. Om zakelijke redenen kon dit instrument echter niet deelnemen aan het project.

De inspectietechnieken die deel uitmaakten van het project bevonden zich in verschillende stadia van ontwikkeling. De twee universiteiten namen deel met inspectie-instrumenten die zich in een vroeg onderzoeksstadium bevinden. Beide projecten richten zich op de ontwikkeling van de toepassing van sensoren in afvalwatersystemen. Het ontwerp van het robotplatform om deze sensoren te ondersteunen viel buiten de kaders van deze onderzoeksprojecten. Zoals in een dergelijke fase te verwachten is, waren de producten nog niet robuust en stabiel. Deelname aan dit project bood de onderzoekers een unieke kans voor een testomgeving en is zeer nuttig voor verdere ontwikkeling.

Acquaint is een Nederlands bedrijf gespecialiseerd in inspectietechnieken voor watervoorziening en afvalwaterleidingen. Het Acquarius-instrument van Acquaint ziet eruit als een schoonmaak-‘PIG’, maar is uitgerust met ultrasone sensoren voor schadedetectie.

ROSEN Group deed mee met hun Linegy instrument dat zich in een verder ontwikkelingsstadium bevindt, maar nog niet commercieel beschikbaar was ten tijde van dit project.

ROSEN Group is een bedrijf op het gebied van inspectietechnieken in olie- en gasleidingen. Sinds een paar jaar breiden ze hun technologieën uit voor gebruik in afvalwater- en drinkwaterleidingen.

Xylem is een watertechnologiebedrijf dat inspectietechnieken ontwikkelt voor afvalwater- en drinkwaterleidingen. SmartBall is een compact, vrijzwemmend instrument gespecialiseerd in het opsporen van lekken en gasbellen en het in kaart brengen van het leidingstelsel. PipeDiver is een inspectie-instrument van Xylem dat is aangepast aan verschillende materialen. Het kan worden gebruikt in een buisdiameter vanaf DN 400 en is daarom te

groot voor gebruik in dit project. De specificaties van PipeDiver zijn echter in deze sectie opgenomen om een breed overzicht te geven van de beschikbare inline-inspectietechnieken voor afvalwaterpersleidingen. Foto's van de verschillende inspectie-instrumenten van alle deelnemers ziet u in figuur 10. Hieronder volgt een inleiding tot de deelnemende instrumenten. Per instrument staat een beschrijving van de gebruikte techniek en sensoren, een toelichting van het robotontwerp, een korte samenvatting van de voorbereiding op een inspectie in het veld en de testprocedure die is uitgevoerd in de IKT-testfaciliteit.

3.1 Pipebots luchtgekoppeld ultrasoon instrument - Universiteit van Bristol

Dit ultrasone instrument is gebaseerd op akoestische golven in het ultrasone bereik. Het instrument is uitgerust met 64 sensoren die op hun beurt signalen in voorwaartse richting uitzenden, zoals afgebeeld in figuur 10a. Deze signalen worden vervolgens gereflecteerd door de buiswand, verspreid in verschillende richtingen op basis van de aanwezigheid van defecten of leidingkenmerken, en opgepikt door alle sensoren. De sensoren communiceren met elkaar, wat resulteert in een grote hoeveelheid data die kan worden gecombineerd. De innovatie van dit instrument zit hem in de nabewerking van de signaalgegevens. Met een op maat gemaakt script worden de gegevens direct na het scannen verwerkt tot driedimensionale beelden van het leidingsegment en wordt er gebruik gemaakt van geautomatiseerde schadedetectie. Het grote aantal sensoren resulteert in een gedetailleerde scan van het binnenoppervlak van de buiswand. Bijgevolg kunnen afwijkingen aan de buitenkant of door de wand niet worden gedetecteerd. Het luchtgekoppelde ultrasone instrument van de universiteit van Bristol is momenteel alleen geschikt voor inspecties in met lucht gevulde, drukloze leidingen. Theoretisch zou de techniek betere resultaten moeten opleveren in een met water gevulde omgeving, een omgeving waarop de techniek normaal gesproken moet worden toegepast. De relatief eenvoudige, in de handel verkrijgbare robot die momenteel wordt gebruikt, is echter niet geschikt voor gebruik in water. De focus van het onderzoeksproject ligt op het verder ontwikkelen van de nauwkeurigheid van de sensordata en het nabewerken van de data tot driedimensionale beelden. De specificaties van de ontwikkelde techniek worden open access gepubliceerd en kunnen worden gebruikt door elke (commerciële) partij die geïnteresseerd is in het toepassen van de techniek. De eerste resultaten van het onderzoeksproject zijn gepubliceerd in [6]. In deze vroege ontwikkelingsfase is de nauwkeurigheid en dimensionering voor een groot deel nog niet bepaald. Wel is een schatting dat alle afwijkingen aan de binnenzijde van een buis vanaf circa 3 mm groot kunnen worden opgespoord. De techniek is geschikt voor persleidingen van alle buismaterialen.

Tijdens de inspectie bij de experimentele testopstelling werden de sensoren op een rupsrobot in een lege leiding geplaatst. Op handmatig gedefinieerde afstanden werd een scan gemaakt van de persleiding door een op maat gemaakt script uit te voeren. Gegevens werden vastgelegd en opgeslagen voor nabewerking en analyses in de vorm van 3D-beelden. Er was onzekerheid over het vermogen van de robot om door de volledige testopstelling te bewegen. Daarom werd de robot één keer via het toegangspunt en één keer via het uitnamepunt in de testbuis ingebracht om beide hellingen te inspecteren die zijn uitgerust met een aantal schadescenario's. Een enkele scan duurde ongeveer 2 minuten. De scans werden ongeveer om de 0,5 m uitgevoerd.

3.2 Pipebots akoestische sensor - Universiteit van Sheffield

De akoestische sensor van Pipebots bestaat uit een microfoon, triaxiale versnellingsmeter en gyroscoop. De microfoon wordt gebruikt om geluidsgolven door de vloeistof te sturen. De triaxiale versnellingsmetersensoren meten de verandering in vloeistofsnelheid bij defecten voor schadedetectie. De sensor zou een alternatief kunnen zijn voor het gebruik van hydrofoons, akoestische sensoren die veel worden toegepast bij inline-inspectietechnieken. Versnellingsmeters worden in veel verschillende toepassingen gebruikt en zijn potentieel gevoeliger en nauwkeuriger dan hydrofoons en zijn verkrijgbaar tegen (veel) lagere kosten. Aangezien het ontwerp van het robotplatform buiten het onderzoeksproject valt, is het toepassingsgebied niet van belang voor dit instrument. Ten tijde van dit onderzoek is de akoestische sensor vastgemaakt aan een kabel voor robuuste datacommunicatie. De sen-

sor wordt in het met water gevulde, maar drukloze systeem geplaatst en handmatig met een stang naar voren geduwd, zie afbeelding 10b. Aan de apparatuur is een camera bevestigd en er is een hydrofoon toegevoegd voor validatiedoeleinden. De focus van het onderzoeksproject ligt op de ontwikkeling van de toepassing van de sensor voor schadedetectie in afvalwatersystemen. De specificaties van de ontwikkelde techniek worden open access gepubliceerd en kunnen worden gebruikt door elke (commerciële) partij die geïnteresseerd is in het toepassen van de techniek. In deze vroege ontwikkelingsfase is de nauwkeurigheid en dimensionering voor een groot deel nog niet bepaald. De mogelijkheid om een specifiek defect- of schadescenario te bepalen, is gebaseerd op numerieke modellering en theoretische schattingen. Nauwkeurigheid en maatvoering zijn dus nog niet bepaald. De techniek is geschikt voor alle buismaterialen.

Tijdens de inspectie van de experimentele testopstelling in dit onderzoek werd elke 0,5 m een scan uitgevoerd door een op maat gemaakt script uit te voeren. Gegevens werden geregistreerd en opgeslagen voor nabewerking en analyses. De bijgevoegde hydrofoon had een beperkte kabellengte en is verwijderd na gebruik in de eerste 3 m van de inspectie. De hydrofoon werd gebruikt voor kalibratiedoeleinden. Vanwege enkele technische problemen tijdens het onderzoek werd alleen de neerwaartse helling bestaande uit beschadigde stalen buissegmenten geïnspecteerd.

3.3 Acquarius – Acquaint

De Acquarius is gebaseerd op een reinigingspig zoals vaak gebruikt voor reiniging van persleidingen, zie figuur 10c. Het is oorspronkelijk ontwikkeld in samenwerking met het Nederlandse Wetsus instituut om uitloging in asbestcementbuizen op te sporen. Maar de mogelijkheden zijn verder ontwikkeld voor gebruik in allerlei soorten buismaterialen zoals staal, gietijzer (met of zonder cementlaag), beton/asbestcement of kunststof zoals HDPE, PVC en verschillende soorten glasvezelversterkte kunststoffen (GVK). In een enkele run kan het instrument de xyz-coördinaten van het tracé en diverse toestandsaspecten van de persleiding registreren. Op basis van het type schadedetectie kan een persleiding die bestaat uit een mix van verschillende materialen worden geïnspecteerd door verschillende sensoren te combineren. Of door het inspectie-instrument meerdere keren met een andere sensortechniek te laten inspecteren om nauwkeurige resultaten te verzamelen voor alle materialen die in de persleiding aanwezig zijn. Vooral wanneer de wanddikte van de materialen sterk varieert, zijn verschillende frequenties van de ultrasone sensoren vereist. In de praktijk kiest de opdrachtgever echter voor een focusmateriaal (hoofdleidingmateriaal of materiaal van belang) en accepteert hij een lagere nauwkeurigheid voor het secundaire materiaal. De Acquarius is in staat om te navigeren door bochten van 90° met een bochtstraal van minimaal 0,6D, door geopende kleppen en door diameterveranderingen binnen de leiding. Een standaard Acquarius kan leidingen met een kleine diameter met een diameterverandering tot 30% inspecteren. Bij grote leidingen is een diameterverandering tot 40% inspecteerbaar met de standaard Acquarius. Met een vooraf aangepaste Acquarius is inspectie van een leiding met een diameterreductie tot 50% mogelijk. Vlinderkleppen of andere appendages die de doorstroomopening belemmeren, kunnen niet worden gepasseerd. De maximale inspectieduur is afhankelijk van de stroomsnelheid en wordt beperkt door de lengte van een werkdag. De maximale lengte die tot nu toe met de Acquarius is geïnspecteerd is 20 km, hoewel langere lengtes mogelijk zijn. De persleiding kan tijdens de inspectie in bedrijf blijven, behalve op het korte moment van inbrengen. De kosten van een inspectie variëren doorgaans tussen de € 0,01 – € 0,06 per mm diameter per m lengte. Hoe langer de inspectieduur, hoe lager de relatieve kosten. Voor inspectielengtes onder de 1 km worden de kosten relatief hoog.

De Acquarius is uitgerust met verschillende geavanceerde ultrasone sensoren die akoestische golven uitzenden en ontvangen om afwijkingen in de buiswand of verbindingen te detecteren. Daarnaast is de Acquarius uitgerust met een traagheidsmeter (inertial measurement unit - IMU) voor bewegingsregistratie, een kilometerteller (snelheidsmeting), een hydrofoon en een pieper. Bij voorgespannen/gewapend betonnen buizen maakt de Acquarius ook gebruik van magneetveldsensoren voor detectie van gebroken draden. Ten tijde van dit onderzoek (2023) worden 16 ultrasone sensoren langs de omtrek aan de achterkant van het inspectie-instrument geplaatst. Dit aantal wordt uitgebreid tot maximaal

64 sensoren in 2024, wat zorgt voor een grotere dekingsgraad van de buiswand, met name bij grotere buisdiameters. De ultrasonische sensoren zijn uitgerust voor het detecteren van schade aan de buiswand. De hydrofoon wordt toegepast voor extra veiligheid in de data-analyses om het type gedetecteerde schade te bepalen. De IMU kan worden ingezet voor het detecteren van hoekverdraaiingen en axiale leidingverplaatsing in de verbindingen. De combinatie van IMU, bovengrondse tracking en kilometerteller wordt gebruikt voor het in kaart brengen van het leidingtracé en positiebepaling van schades.

Voordat een inspectie met de Acquarius kan worden uitgevoerd, maakt Acquaint een projectplan en voert de voorbereidende werkzaamheden uit die in samenwerking met de leidingbeheerder en/of aannemer worden uitgevoerd. Het is belangrijk om een lanceerstation te creëren, dat door Acquaint kan worden geleverd. Een locatie voor het plaatsen van een lanceerstation kan een blinde flens, Y- of T-stuk zijn waardoor de pig in de persleiding wordt ingebracht. Voor grotere buisdiameters wordt de aannemer om een kleine kraan gevraagd om het zware inspectie-instrument uit het ontvangende mangat of de open put te tillen. De druk en het debiet moeten even worden uitgeschakeld bij het inbrengen van het inspectie-instrument. Er moet een externe pomp en water of een tankwagen aanwezig zijn om het inspectie-instrument via de lanceereenheid in de persleiding te plaatsen. Bovendien moeten alle kleppen volledig worden geopend. De leidingbeheerder moet tijdens de inspectie een constante stroomsnelheid van ongeveer 0,4 m/s (tussen 0,2 – 1,0 m/s) en een minimale druk van 0,2 bar aanhouden. De snelheid van het inspectie-instrument en de druk in het systeem wordt continu gemonitord door Acquaint. Acquaint staat in nauw contact met de beheerder die het debiet regelt voor het geval er veranderingen in de stromingsomstandigheden nodig zijn. De persleiding wordt eerst door Acquaint gereinigd met een lagedichtheidschuim-pig, gevolgd door een dummy-run met een kunststofvariant van de robot. Beide activiteiten zorgen ervoor dat de persleiding een schoon binnenwandoppervlak heeft om een goede wanddiktemeting te verkrijgen en te garanderen. Ten tweede wordt daarmee gecontroleerd of de leiding geschikt is voor inspectie. Daarna vindt de inspectie met de Acquarius plaats. Vlak voor aanvang van de inspectie wordt het gehele traject om de 100 m op maaiveldhoogte gemarkeerd door een medewerker van Acquaint. Deze markers worden gebruikt als meetpunten om nauwkeurige kaartcoördinaten te garanderen die over de hele persleiding worden geleverd. Een medewerker van Acquaint volgt de markeringen langs het afgelegde pad van de Acquarius bovengronds terwijl het inspectie-instrument passeert, en verplaatst de markeringen indien nodig naar de exacte locatie boven de leiding. Dit garandeert het in kaart brengen van de coördinaten van de gehele persleiding met een nauwkeurigheid van 0,5 m. Direct na elke run op locatie downloadt een medewerker van Acquaint alle inspectiegegevens en controleert en bevestigt of de run succesvol is verlopen. De medewerker beoordeelt ook of de leiding schoon genoeg was, vrij van lucht was en of het inspectie-instrument betrouwbare en valide metingen heeft verkregen van ten minste 80% van alle opgeslagen gegevens. In het geval dat het kwaliteitsniveau niet wordt gehaald, wordt er de volgende of dezelfde dag een extra run uitgevoerd. De totale duur van een inspectie is ongeveer 2-4 dagen, inclusief pigging-voorbereidingen, reiniging en dummy-runs.

Bij de testopstelling bij IKT zijn door Acquaint meerdere testruns uitgevoerd met de Acquarius. Het inspectie-instrument vereist een drukverschil, met een hogere druk achter de pig dan voor de pig. Dit werd geregeld door een kleine opening te maken bij de flens aan de achterkant van de testopstelling. Eerst werd een dummy-run uitgevoerd met een foam pig, om ervoor te zorgen dat de leiding schoon en inspecteerbaar is. Na deze dummy-run zijn er nog wat kleine aanpassingen gedaan aan de plexiglasbevestiging. Daarom werd een tweede dummy-run uitgevoerd en daarna begonnen de inspecties. Bij elke inspectierun werd eerst de schuimlaag op het instrument geplaatst. Het inspectie-instrument werd via de horizontale opening in de testopstelling ingebracht, door druk uit te oefenen met behulp van een houten stok en spanbanden. De testopstelling werd vervolgens gesloten en opnieuw gevuld. De uitgeoefende druk werd ingesteld op 2 bar. In totaal werden drie inspectieruns uitgevoerd: 2 runs om afwijkingen in de stalen buissegmenten te detecteren en 1 run om afwijkingen in de PVC-buissegmenten te detecteren. Het debiet werd voor elk van deze runs ingesteld op 5 l/s. Tijdens de inspectierun liep een medewerker van Acquaint ter hoogte van het instrument door de testput voor positiedetectie.

3.4 Linegy - ROSEN Groep

ROSEN Group voerde de inspectie bij IKT uit met Linegy, dat bestaat uit twee complementaire instrumenten. Het ontwerp van beide instrumenten is feitelijk hetzelfde, zie ook figuur 10d, maar ze bevatten verschillende soorten sensoren. De Linegy is ontworpen als vrijzwemmend, met een gewicht dat is gekalibreerd om uit te lijnen met het midden van de persleiding. Het gestroomlijnde instrument is ontworpen om de stroomsnelheid exact te volgen. Voor extra stabiliteit worden vinnen gebruikt. De vinnen bieden extra ondersteuning om te voorkomen dat het inspectie-instrument afdrijft. De lengte van de vinnen/maat van het inspectie-instrument wordt aangepast aan de buisdiameter. De minimale buisdiameter is 300 mm. Het slanke inspectie-instrument navigeert gemakkelijk tussen allerlei soorten kleppen en leidingelementen door de waterstroom te volgen. Mits de diameter niet verder verkleind wordt dan 50% van de grootste binnendiameter in de persleiding. Vlinderkleppen ≥ 400 mm kunnen door alle inspectie-instrumenten worden gepasseerd. Voor nauwkeurige inspectieresultaten is de maximale diameterverandering beperkt tot 25%. De bochthoek is onbeperkt, mits de bochtstraal minimaal $1,0 D$ is. De inspectie-instrumenten zijn ontwikkeld voor gebruik in buizen van verschillende materiaalsoorten, zoals staal, gietijzer, (gewapend) beton, asbestcement of kunststof. De instrumentinstellingen worden aangepast aan het buismateriaal. Daarom heeft elk leidingmateriaal zijn eigen instellingen, gezien de inspectie-eis en het doel van de inspectie. De vereiste stromingscondities zijn afhankelijk van het doel van de inspectie. Voor schadedetectie wordt een optimale stroomsnelheid tussen $0,2 - 1,0$ m/s aanbevolen. Het doel is echter altijd om de inspectie onder normale bedrijfsomstandigheden uit te voeren.

Over het algemeen zorgt een schonere leiding voor een betere kwaliteit van de inspectiegegevens. De persleiding mag tijdens de inspectie in gebruik blijven, met uitzondering van het korte moment van inbrengen. Inbrengen kan via een lanceerbuis, een T- of Y-stuk, of via een mangat. Voor uitname is het instrument afhankelijk van de ontvangstlocatie. Als de inspectie bij de rioolwaterzuiveringsinrichting eindigt, zijn er geen extra voorbereidingen nodig. Als de inspectie echter ergens in het midden van een leiding eindigt, wordt lokaal een ontvangstkorf geïnstalleerd door ROSEN. De werkdruk tijdens inspectie heeft niet veel invloed op het verplaatsen van het inspectie-instrument, omdat het debiet de belangrijkste parameter is voor het vrijzwemmende inspectie-instrument. De stroomsnelheid kan worden gevarieerd tussen $0,2 - 2,0$ m/s en wordt normaal gesproken aangepast aan de werkelijke bedrijfsomstandigheden. Het inspectie-instrument heeft een maximale bedrijfstijd van ongeveer 20 uur. Hiermee kan bijvoorbeeld een leiding met een lengte van 36 km en een stroomsnelheid van $0,5$ m/s (afhankelijk van de buisdiameter) in één keer worden geïnspecteerd, waarbij alle uitgeruste diensten en sensoren worden gebruikt.

Van de twee complementaire instrumenten die in de testopstelling bij IKT zijn gebruikt, is de eerste uitgerust met 40 ultrasone sensoren, aan de voor- en achterkant van het instrument. Het tweede instrument is uitgerust met 6 camera's en ledverlichting, die geschikt zijn voor gebruik in helder water. Aan beide instrumenten is een hydrofoon bevestigd. Daarnaast zijn gyroscopen bevestigd voor xyz-registratie. Er is een pig-zender aan boord voor trackingdoeleinden. Voorafgaand aan de inspectierun worden referentiemarkeringen aangebracht langs de lengte van de persleiding op maaiveldhoogte voor het volgen van inspectie-instrumenten en extra kalibratiemogelijkheden voor de xyz-positionering. Positiedetectie van beschadigingen is gebaseerd op snelheidsmeting en xyz-registratie. De voortgang van de inspectie wordt bewaakt door de servicetechnici van Rosen. De inspectiekosten zijn afhankelijk van verschillende factoren. De extra kosten voor lanceerstations zijn afhankelijk van de situatie, maar de praktijk leert dat het compacte ontwerp geen grote aanpassingen aan de persleiding vereist voor het inbrengen.

Tijdens de inspectie van de testopstelling bedroeg de voorbereidingstijd ongeveer 15 minuten. De instrumenten waren verbonden met het WLAN en GPS ingeschakeld. Ze bleven enkele minuten buiten draaien, voor een goede kalibratie van de gyroscopen. Tijdens de wachttijd hield het ROSEN-team, bestaande uit drie personen, een korte werkbespreking om de taken te verdelen en de specifieke veiligheidsvraagstukken te bespreken. Ook werden bovengrondse markeringen geplaatst langs de testopstelling op de bodem van de testput. In de praktijk gebeurt dit vaak een dag voor de inspectiedatum vanwege lange inspectieafstanden. Vervolgens werd de testopstelling bij het T-stuk geopend en werd het instru-

ment handmatig ingebracht. Na het sluiten van de ingang werd de testopstelling op ongeveer 2,1 bar gebracht, werden de pompen geactiveerd en werd de waterstroom op gang gebracht, wat het begin van de inspectie markeerde. Zodra het instrument bij het uitgangspunt werd gedetecteerd, werd het instrument via het horizontale toegangspunt uit de testopstelling genomen. Voor elke inspectierun werd een strikt protocol gevolgd om te voorkomen dat het team fouten zou maken en om ervoor te zorgen dat elk detail van de inspectie werd vastgelegd. Er werden in totaal 6 inspectieruns uitgevoerd, drie runs voor elk van de twee instrumenten. Het debiet werd in de verschillende trajecten gevarieerd tussen 40 l/s, 25 l/s en 20 l/s, wat overeenkomt met stroomsnelheden van ongeveer 0,5 m/s, 0,33 m/s en 0,27 m/s.

3.5 SmartBall – Xylem

SmartBall is een zeer compact, vrijzwevend inspectie-instrument, dat gemakkelijk door allerlei leidingfuncties navigeert, zoals door inline-kleppen en bochten. De sensoren bevinden zich in het midden van een schuimbal, zoals te zien is in figuur 10e. Het inspectie-instrument is ontworpen om langs de bodem van de buis te rollen om voorspelbaar gedrag en dus een nauwkeurige locatie van lekken en gasbellen ten opzichte van de leidingbodemp mogelijk te maken. SmartBall is een veelzijdig inspectie-instrument, geschikt voor gebruik in metalen en kunststof persleidingssystemen. Een combinatie van verschillende materialen binnen de lengte van een enkele persleiding levert geen problemen op voor inspectie, en ook diameterveranderingen over de lengte van de persleiding veroorzaken geen beperkingen. De minimale diameter van de persleiding is DN 150 voor ongevoerde metalen buizen en DN 300 voor alle andere materialen. De persleiding kan tijdens de inspecties operationeel blijven met geschikte stromingsomstandigheden. Indien nodig zorgt een drukvergrendeling bij de ingang voor een ongestoorde werking van de persleiding, zelfs tijdens het inbrengen van SmartBall in de persleiding. Afhankelijk van de stroomsnelheid en de huidige batterijcapaciteit van 24 uur, kan SmartBall meer dan 50 km leiding in één keer inspecteren. Op het moment van schrijven is de totale geïnspecteerde lengte van afvalwaterleidingen met SmartBall ongeveer 2000 km, en is er sinds 2005 meer dan 30.000 km aan leidingen met andere vloeistoffen mee geïnspecteerd.

SmartBall is in de eerste plaats een akoestisch sensorinstrument, uitgerust met zeer gevoelige microfoons (akoestische hydrofoon) voor geluidsdetectie. De complete instrumentenset bestaat uit een akoestische hydrofoon, versnellingsmeter, dubbele gyroscoop, pieper en magnetometer samen met een druksensor en temperatuursensor. Schadedetectie wordt uitgevoerd door de akoestische hydrofoon. De andere sensoren ondersteunen de juiste locatiebepaling. De versnellingsmeter levert gegevens over het rolgedrag van het inspectie-instrument, dat wordt gebruikt om veranderende stroomsnelheden en hellingen in de persleiding te registreren. Het in kaart brengen van de persleiding wordt uitgevoerd met een combinatie van de ingebouwde gyroscoop en door het volgen van SmartBall. Tracking gebeurt door een ultrasone golf door de persleiding te sturen, uitgezonden door de pieper op het SmartBall-instrument. Deze ultrasone golf wordt gevolgd door de SmartBall-ontvangers die periodiek langs de inspectieroute zijn geplaatst, meestal elke 1 km. Bewegingsregistratie wordt continu uitgevoerd. SmartBall is ontworpen om lekken en gasbellen in persleidingen onder druk te detecteren. Daarom is minimaal 1 bar druk nodig voor de akoestische sensoren om afwijkingen te registreren.

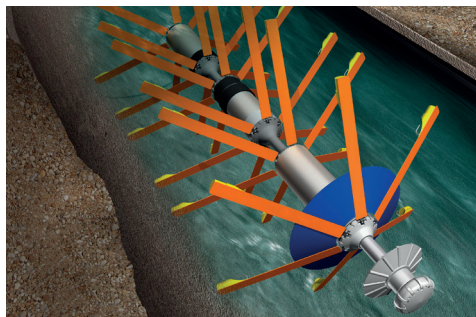
Voordat een inspectie met SmartBall kan worden uitgevoerd, is voorbereidend werk nodig van de leidingbeheerder. Om de SmartBall te installeren is 1,2 m vrije werkhoogte boven de ingang en 4 m vrije werkhoogte boven de uitgang nodig. De druk moet maximaal op 35 bar worden gehandhaafd en de stroomsnelheid moet worden ingesteld op 0,15-1,8 m/s. Voor persleidingen met een kleinere diameter (<300 mm) is het nuttig om de persleiding door te spoelen voordat de inspectie begint om grotere afzettingen te verwijderen. Bovendien moet de inspectiespecialist mogelijk enkele wijzigingen aan de leidingingang aanbrengen om het inbrengen en uitnemen van het instrument mogelijk te maken. SmartBall kan handmatig in gelegeerde leidingen of opvangbakken worden ingebracht, of via een lanceerinrichting in een druksysteem. In het laatste geval moet de sluis op de flens van het T-stuk worden geschroefd. SmartBall meet de druk in de persleiding niet en Xylem vertrouwt op de informatie over de drukomstandigheden die door de beheerders wordt verstrekt, hoewel drukveranderingen als gevolg van verhogingen kunnen worden gedetecteerd.

Tijdens de testinspectie bij IKT werd SmartBall in een drukloos systeem geplaatst. Na het inbrengen van het inspectie-instrument werd de ingang afgesloten, de leiding opnieuw gevuld met water, de luchtbel gecreëerd door lucht door de inflator in te brengen en werd de druk verhoogd tot ongeveer 1 bar. De inspectieruns werden uitgevoerd met drie verschillende stroomsnelheden van 0,8, 0,3 en 0,2 m/s. De voorbereidingstijd voor elke run was ongeveer 15 minuten. Tijdens de inspecties waren er twee inspectiespecialisten aanwezig op de testlocatie. Direct na de inspectie werd mondeling een eerste indruk van de geregistreerde schade gegeven aan het onderzoeksteam. Het inspectierapport werd na gedetailleerde data-analyse afgeleverd.

3.6 PipeDiver – Xylem

PipeDiver is een inspectie-instrument van Xylem dat is aangepast aan verschillende materialen. Het kan worden gebruikt in een buisdiameter vanaf DN 400 en is daarom te groot voor gebruik in dit project. De specificaties van PipeDiver zijn hier wel opgenomen om een breed overzicht te geven van de beschikbare inline inspectietechnieken voor afvalwaterpersleidingen. Een impressie van het PipeDiver-systeem ziet u in afbeelding 10f. De PipeDiver heeft verschillende modellen, die speciaal zijn bedoeld voor specifieke doeleinden voor gebruik in watertoevoer- of afvalwaterpersleidingen. De PipeDiver is een vrijzwemmend instrument. Dankzij de flexibele vinnen kan PipeDiver door allerlei soorten kleppen en andere diameterverkleinende leidingfuncties gaan. Het is geschikt om één diameter en leidingmateriaal tegelijk te inspecteren. Wanneer er diameter- of materiaalveranderingen optreden over de lengte van een persleiding, zijn dus verschillende inspectieruns vereist. Afhankelijk van de werkelijke stroomsnelheid en de huidige batterijcapaciteit varieert de maximale duur van de inspectie in één run tussen 14 km (metalen leidingen) en meer dan 50 km (betonnen leidingen). Op het moment van schrijven is de totale geïnspecteerde lengte van afvalwaterleidingen met PipeDiver ongeveer 525 km, en meer dan 2000 km aan schoonwaterleidingen wereldwijd sinds de commerciële introductie in 2008.

Figuur 10f
Pipediver van Xylem.



De PipeDiver is te gebruiken in buizen met een groot aantal diameters en wanddiktes. Het instrument kan worden uitgerust met verschillende technieken, afhankelijk van de lokale vereisten. De PipeDiver die is ontworpen voor gebruik in metalen buizen maakt gebruik van ultrasone sensoren voor schadedetectie en ovalisatiesmetingen. De PipeDiver voor gebruik in buizen van gewapend beton maakt gebruik van elektromagnetische sensoren om gebroken wapeningsstaven en -draden te detecteren. Alle PipeDiver-modellen hebben een camerasysteem beschikbaar bestaande uit drie camera's en ledverlichting, voor gebruik in helder water. De volgeenheden zijn vooraf langs de persleiding geïnstalleerd en worden tijdens de inspectie bewaakt om de verplaatsing van het inspectie-instrument te bepalen.

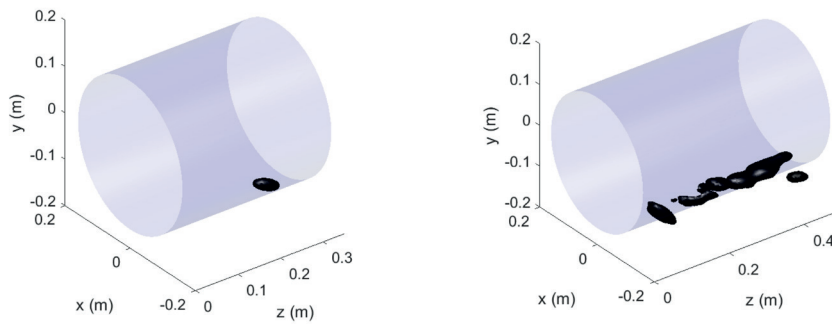
Voordat een inspectie met PipeDiver kan worden uitgevoerd, zijn er verschillende voorbereidingen nodig van de leidingbeheerder. Om de PipeDiver te installeren is 1,5 m vrije werkhogte boven de ingang en uitgang nodig. De druk moet worden verlaagd tot maximaal 20 bar en de stroomsnelheid moet worden ingesteld op 0,15-0,9 m/s. Bovendien moet de inspectiespecialist mogelijk enkele wijzigingen aan de leidingingang aanbrengen. PipeDiver kan indien nodig in een gedraineerd leidinggedeelte worden geplaatst. Inbrengen onder druk is ook mogelijk, maar vereist de installatie van een druksluit.

4 Beschrijving van de resultaten

4.1 Academische deelnemers

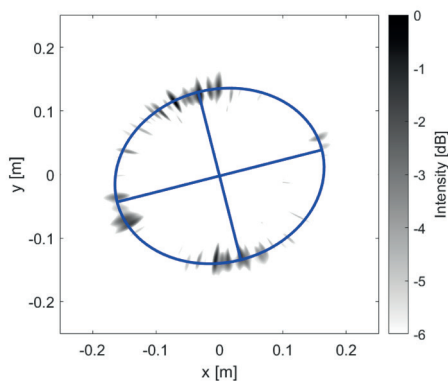
4.1.1 Pipebots luchtgekoppeld ultrasoon instrument - Universiteit van Bristol

In figuur 11 ziet u enkele resultaten die zijn gegenereerd door het luchtgekoppelde ultrasone instrument van Pipebots. De innovatie van de luchtgekoppelde akoestische sensor zit hem in het genereren van 3D-beelden van gedetecteerde defecten. Bij de testopstelling bij IKT werden twee duidelijke defecten gedetecteerd door de ultrasone sensoren van Pipebots. Het lek bij het vijfde stalen buissegment van 3 mm op de 6 uur-positie is duidelijk zichtbaar in figuur 11a. De ronde vorm werd correct gedetecteerd. Maatvoering was niet voorzien voor deze techniek; alleen de locatie is met succes voorspeld. De afzetting bij het derde segment van de PVC-buis werd ook met succes gedetecteerd, hoewel de grootte werd overschat, zie figuur 11b. Andere gebreken werden niet ontdekt. Redenen hiervoor zijn de aanwezigheid van de verbindingen, die een hoge piek in signalen veroorzaken die andere signalen van defecten in de buurt van de verbindingen overheersen. De aanwezigheid van wandruwheid verstoort het signaal ook aanzienlijk, wat leidt tot onbetrouwbare resultaten. Aangezien de techniek zich in een vroeg ontwikkelingsstadium bevindt, worden de signaalfrequentie en de geselecteerde piekamplitude voor nabewerking nog onderzocht.

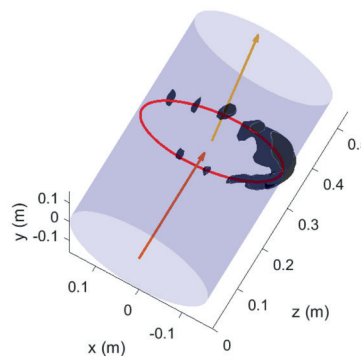


a) Lek, 3 mm, 6 uur

b) Afzetting



c) Ovalisatie, 10%



d) Hoekverdraaiing, 8,2°

Om verdere mogelijkheden van de techniek te demonstreren, zijn in figuur 11c en d twee afbeeldingen van defecten gepresenteerd die in het laboratorium van de Universiteit van Bristol zijn gesimuleerd. De grootte van de ovalisatie en van de hoekverdraaiing werd nauwkeurig gemeten voor beide situaties. De resultaten in figuur 11 tonen het voordeel van de beeldvormingstechniek. De gegevens die in de leiding worden verzameld, worden op zo'n manier gepresenteerd dat de opdrachtgever in staat is om de gegevens te begrijpen. Dit in tegenstelling tot de conventionele signaalanalyse, die voor een gewone netbeheerder niet te begrijpen is, maar beoordeeld moet worden door een expert van het inspectiebedrijf. De inspectieresultaten zijn minder een 'black box' voor de opdrachtgever, wat de data-analyseprocedure transparanter maakt. Op dit moment is de techniek nog niet robuust en stabiel en is er nog verdere ontwikkeling nodig voordat deze techniek kan worden toegepast voor inline-inspecties.

Figuur 11
3D-beelden van (a) en (b) de resultaten van gedetecteerde schade tijdens de testopstelling door de akoestische sensor van Pipebots, en (c) en (d) voorbeelden van schade zoals geproduceerd in het laboratorium van Bristol University.

4.1.2 Pipebots akoestische sensor - Universiteit van Sheffield

De akoestische sensor van Pipebots heeft twee kenmerken gedetecteerd in de neerwaartse helling van stalen buissegmenten. De eerste is een verbinding op 3 m afstand, de tweede is een lek tussen 4 - 5 m afstand. Alleen de hydrofoon detecteerde de verbinding. Hierdoor konden op dezelfde locatie ook enkele afwijkingen in de gegevens van de versnellingsmeter worden vastgesteld. De conclusie hiervan is dat als de betrouwbaarheid van de methode verbetert, het mogelijk is om met de versnellingsmeter dit soort afwijkingen te detecteren en te herkennen. Het lek was herkenbaar als achtergrondgeluidsmeting voor zowel de hydrofoon als de versnellingsmeter. De belangrijkste conclusie van de onderzoekers na het uitvoeren van inspecties in een onbekende omgeving, in dit geval de testopstelling bij IKT, is dat de gebruikte sensor niet robuust genoeg was voor verdere tests en dat er aan de uitvoeringsmethode moest worden gewerkt om herhaalbare resultaten te garanderen. Momenteel werken de onderzoekers aan een meer herhaalbare vorm van het inzetten van de sensor, gebaseerd op ophanging aan een schuifmaat. De eerste, voorlopige resultaten zijn veelbelovend. De volgende stappen zijn om deze techniek te testen in de buurt van meer verschillende soorten schadebeelden om deze vervolgens toe te passen in meer realistische scenario's.

De gedetecteerde kenmerken waren aanwezig op ongeveer de locaties die door de onderzoekers werden beschreven. In dit gedeelte waren echter meerdere verbindingen aanwezig (om de 1 m) en ook in het eerste stalen buissegment waren lekkages aanwezig. Dit bevestigt de conclusie van de onderzoekers van de Universiteit van Sheffield dat de sensor momenteel niet erg robuust is en verder moet worden ontwikkeld. Deze conclusie wordt gedeeld door de auteurs van dit rapport.

4.2 Commerciële deelnemers

De resultaten van de commerciële deelnemers zijn vergeleken met de werkelijke schade. Hierbij is rekening gehouden met de specificaties van de producten. Een overzicht van de gedetecteerde afwijkingen en hun omvang vindt u in tabel 2:

- **Donkergroene kleur in de tabel:** het defect is gedetecteerd en nauwkeurig gedimensioneerd.
- **Lichtgroene kleur:** het defect is gedetecteerd, maar de maatvoering lag niet binnen de gespecificeerde limieten.
- **Gele kleur:** De bron van het signaal van een afwijking is niet voldoende nauwkeurig herkend.
- **Blauwe kleur:** er is een defect gedetecteerd dat niet bedoeld was om aanwezig te zijn, maar de aanwezigheid van het defect is waarschijnlijk (zie toelichting in volgende alinea).
- **Rode kleur:** er is geen defect gedetecteerd (vals negatief) of er is een ten onrechte gedetecteerde gebeurtenis (vals positief).
- **Donkergrijze kleur:** deze defecten kunnen niet worden opgespoord met de gekozen techniek.

Vooraf afwijkingen bij de PVC-voegen behoren tot de niet-verifieerbare defecten (blauwe kleur). De gebruikte klemmen om de PVC-buissegmenten met elkaar te verbinden zijn oorspronkelijk bedoeld als reparatiemethode. Ze vereisen ten minste een duimbreedte van ongeveer 10 - 20 mm tussen de twee verbonden elementen. Bovendien is op één voeglocatie de opening tussen de buissegmenten vergroot om in de testput te passen in deze testopstelling. Vanwege de aard van de klemmen werd dit door de onderzoekers niet gezien als een 'defect' in de persleiding. Aanvullende tests op de klemmen toonden ook aan dat bij het aandraaien van de klemmen een ovalisatie is waargenomen in de PVC-buissegmenten. Deze ovalisatie ligt, op basis van afzonderlijke tests van de klemmen, naar verwachting in de orde van grootte van 2 - 3%. Als gevolg hiervan is de klem niet continu in nauw contact met de PVC-buissegmenten. Dit kan ook aanleiding geven tot een radiale voegverplaatsing van de PVC-buissegmenten binnen de stalen klem. De grootte van de longitudinale openingen, de radiale verplaatsing en de ovalisaties konden niet voor elke verbinding afzonderlijk worden geverifieerd, omdat ze alleen toegankelijk waren vanaf de binnenkant van de testopstelling.

Leiding materiaal	Afwijking	Maat	Locatie	Leiding-segment (P) / Verbinding (U)	Acquaint - Acquarius	ROSEN group - Linegy	Xylem - SmartBall	
Staal	lekkage	Ø 3 mm	6 uur	P4	-	mogelijke afwijking, 9 uur	(ingesloten) lucht	
	lekkage	Ø 7 mm	3 uur	P4	Lekkage in leidingsegment	Lekkage	Onbekende afwijking	
	Ovalisatie / deformatie	6% of 18 mm		P5	Ovalisatie, 6,44%	Dent, 12 uur, 350x200x18 mm	(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	Ø 7 mm, 1 mm diep	12 uur	P6			(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	Ø 7 mm, 2 mm diep	9 uur	P6			(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	Ø 7 mm, 4 mm diep	6 uur	P6			(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	Ø 7 mm, 6 mm diep	3 uur	P6			(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	200x200x3 mm	11-12 uur	P7	10-12 uur, 260x232x3,8 mm	11-12 uur, 200x200x3,5 mm	(ingesloten) lucht	
	Wanddikte-afname buitenkant buis	200x200x3 mm	2-3 uur	P7	2-4 uur, 280x174x3,1 mm	3-4 uur, 200x200x3,5 mm	(ingesloten) lucht	
	lekkage in grond	Ø 3 mm	6 uur	P8	-	-	(ingesloten) lucht	
	lekkage in grond	Ø 7 mm	3 uur	P8	Lekkage in leidingsegment	Lekkage	(ingesloten) lucht	
	kraan			P10		Kraan	(ingesloten) lucht	
	Luchtinsluiting		±2 m	P12 - P15		Luchtinsluiting, 2 m	Wind blaast	
	kraan			P16		onbekend, (kraan?), 6 uur		
				J17	longitudinale verplaatsing, 12 mm ovalisatie verbinding, 3%			
	PVC	kras	1x4,8x500mm	12 uur	P18	Kras aan buitenzijde, 1,23x520 mm, 12 uur		(ingesloten) lucht
					J18	longitudinale verplaatsing, 5 mm ovalisatie verbinding, 4,5%	radiale verplaatsing, 8 mm	
kras		3x4,8x500mm	9 uur	P19	lekkage verbinding			
				J19	Kras aan buitenzijde, 2,92x510 mm, 9 uur			
				J19	longitudinale verplaatsing, 14 mm ovalisatie verbinding, 4,5%	longitudinale verplaatsing, 16 mm gruis		
afzetting		400x90x15 mm	6 uur	P20	afzetting, 389 mm, 6 uur	afzetting, 400x100x15 mm, 6 uur		
				J20	longitudinale verplaatsing, 80 mm ovalisatie verbinding, 4,5%	longitudinale verplaatsing, 66 mm Ovalisatie, 6% gruis		
kras		5x4,8x500mm	6 uur	P21	Kras aan buitenzijde, 5,61x490 mm, 6,1 uur			
				J21	longitudinale verplaatsing, 22 mm ovalisatie verbinding, 4,5%	longitudinale verplaatsing, 16 mm Ovalisatie, 6%		
kras		7x4,8x500mm	3 uur	P22	Kras aan buitenzijde, 7,16x520 mm, 3 uur			
			J22	longitudinale verplaatsing, 21 mm gruis	gruis			

Tabel 2
Een overzicht van de resultaten van de inspecties.

4.2.1 Resultaten Aquarius – Acquaint

De Aquarius was in staat om veel van de defecten op te sporen. Voor de analyses zijn alleen de eerste twee runs (van in totaal drie runs) gebruikt. Voor de lekkages rapporteerden ze niet over enkele lekkages, maar waren ze in staat om de leidingsegmenten te identificeren waar lekkages aanwezig waren. Ze verstrekten geen informatie over de omvang van het lek of het lekdebiet. De ovalisatie in het leidingsegment P5 werd herkend en nauwkeurig gedimensioneerd, met een afwijking van 0,44%. Bovendien is deze afwijking deels te verklaren door een andere manier om de ovalisatie te berekenen tussen Acquaint en IKT. De kleine wandverliezen in leidingsegment P6, die werden toegepast om putcorrosie van buitenaf te simuleren, werden niet gedetecteerd. Dit was te verwachten op basis van de grootte van deze beschadigingen van 7 mm, wat kleiner is dan de minimaal detecteerbare maat van 10 mm. De grotere wandverliesgebieden bij leidingsegment P7 werden correct gedetecteerd op de overeenkomstige locaties. De maatvoering was niet zo nauwkeurig als verkondigd. De afwijkingen in lengte/breedtematen varieerden tussen 26-80 mm, wat de geclaimde nauwkeurigheid van 4 mm ruimschoots overtreft. De diepte van het wandverlies lag dicht bij de werkelijke waarden. De luchtbel bij de leidingsegmenten P12-P15 is niet gemeld door Acquaint. Het instrument, dat even groot is als de binnendiameter, duwt de luchtbel naar voren en verwijdert de lucht uit de persleiding. Gas wordt alleen gedetecteerd als het langs het instrument sijpelt, bijvoorbeeld in leidingen met een relatief hoge wandruwheid.

Acquaint heeft de aanwezigheid van de kranen niet gemeld, wat in overeenstemming is met de specificaties. Leidingkenmerken kunnen worden gedetecteerd als de beheerder daar specifiek om vraagt, wat bij dit project niet het geval was. De krassen aan de buitenkant van de PVC-buissegmenten werden allemaal gedetecteerd en de maatvoering was zeer nauwkeurig, met een afwijking van de lengte van de krassen variërend tussen 10-20 mm en een afwijking van de diepte van de krassen variërend tussen 0,08 - 0,61 mm. De gipsafzetting werd correct gedetecteerd. De maatvoering werd alleen gerapporteerd voor de lengte van de afzetting en was iets minder nauwkeurig dan gespecificeerd (verschil van 11 mm versus een geclaimde nauwkeurigheid van 4 mm). Acquaint detecteerde verschillende horizontale voegverplaatsingen bij de PVC-voegen, variërend tussen de 5 en 80 mm. Deze verplaatsingen waren niet gepland, maar waren zeker aanwezig. De grootte van deze verplaatsingen kon niet worden geverifieerd omdat ze alleen van binnenuit waarneembaar waren. Ook werd gedetecteerd dat de meeste verbindingen bij de PVC-segmenten ovalisatie vertoonden, variërend tussen 3 - 4,5%. Deze afwijkingen bij de verbindingen waren niet gepland, maar waren een gevolg van de gebruikte stalen klemmen, die de buissegmenten onbedoeld ovaal maakten in plaats van ze gelijkmatig over de omtrek te klemmen. Acquaint heeft één voeglekkage geconstateerd bij de PVC-segmenten, die niet aanwezig was.

Acquaint geeft aan dat de lagere nauwkeurigheid van het dimensioneren van sommige defecten het gevolg was van de sterk variërende snelheid van het inspectie-instrument in de testopstelling, die stabiel is tijdens normale inspecties.

4.2.2 Resultaten Linegy - ROSEN Groep

De Linegy was in staat om te meeste schades op te sporen. Voor de resultaten is een combinatie van de verschillende inspectieruns gebruikt. ROSEN heeft een leidingoverzicht gemaakt van de gehele testopstelling volgens hun standaard rapportageprocedure. De grootste lekken van 7 mm werden beide gedetecteerd. De conclusie dat het lek in de zandbak groter moet zijn dan het lek bij het eerste leidingsegment is niet juist, aangezien beide lekken precies even groot zijn. Andere informatie over de omvang van de lekken of het lekdebiët werd niet door ROSEN verstrekt. ROSEN maakt gebruik van de hydrofoon-techniek om lekken op te sporen en eventueel de lekgrootte te bepalen. Zodra een lek echter wordt gedetecteerd, kan het lekgeluid van het ene lek het lekgeluid van andere (kleinere) lekken binnen hetzelfde gebied overschrijven, waardoor dimensionering niet meer mogelijk is. Op de locatie van het eerste lek van 1 mm werd een afwijking gedetecteerd, maar op deze locatie was geen binnendringend materiaal aanwezig. De ovalisatie in het tweede leidingsegment werd herkend als een deuk aan de bovenkant van de leiding. De ovalisatie is ontstaan door eerst een deuk als imperfectie aan te brengen en deze vervolgens op deze plaats de leiding ovaal te maken, zie ook figuur 4a. Als gevolg hiervan was de uiteindelijke vervorming niet gelijk aan een zuivere ovalisatie en kon deze ook worden geïnterpreteerd als een deuk. De diepte van de vervorming komt overeen met de totale diameterverandering van de buisdoorsnede. De kleine wandverliezen, die putcorrosie van buitenaf simuleren, werden niet gedetecteerd door ROSEN. Dit is in overeenstemming met hun specificaties, waarin staat dat wandverliezen worden gedetecteerd vanaf een grootte van 25 mm. De grotere gebieden van wandverlies in het vierde segment werden door ROSEN herkend en correct gedimensioneerd.

De luchtbel was correct gedetecteerd en gedimensioneerd. ROSEN heeft de kraan in leidingsegment P10 correct waargenomen en een onbekende afwijking in leidingsegment P16, waar een kleine kraan in de leiding werd geboord. De krassen aan de buitenkant van de PVC-segmenten werden niet gedetecteerd. Dat is in overeenstemming met de specificaties, die specifieke instellingen vereisen voor het detecteren van krassen, vooral in de lengterichting. Deze krassen kunnen gemakkelijker worden opgespoord wanneer dit specifiek door de beheerder wordt gevraagd, wat bij dit project niet het geval was. De gipsafzetting werd gedetecteerd en nauwkeurig gedimensioneerd binnen de gespecificeerde nauwkeurigheidslimieten. ROSEN detecteerde verschillende lengtevoegverplaatsingen tussen de PVC-segmenten, variërend in grootte tussen 16-66 mm. Bovendien werd een radiale verplaatsing van 8 mm gedetecteerd bij een van de verbindingen. Deze verplaatsingen waren niet gepland, maar waren zeker aanwezig. De grootte van deze verplaatsingen kon niet worden geverifieerd omdat ze alleen van binnenuit waarneembaar waren. Bij verschillende verbindingen werd een ovalisatie van 6% gedetecteerd. Deze ovalisaties waren niet gepland op deze locaties, maar waren een gevolg van de gebruikte stalen klemmen, die de buissegmenten onbedoeld ovaal maakten in plaats van gelijkmatig over de omtrek vast te klemmen. De grootte van de ovalen kon niet worden geverifieerd. Ten slotte detecteerde ROSEN de aanwezigheid van vuil bij de PVC-voegen waar een opening werd waargenomen, die niet de bedoeling was, maar had kunnen ontstaan als gevolg van roest die door de persleiding werd getransporteerd.

4.2.3 Resultaten SmartBall - Xylem

De drie verschillende runs die met SmartBall in de testopstelling werden uitgevoerd, gaven wisselende resultaten. De beste resultaten werden behaald in de derde run, met een stroomsnelheid van 0,2 m/s. De conclusies van Xylem die hier worden gerapporteerd zijn dan ook gebaseerd op deze inspectierun.

De belangrijkste conclusie is dat over de eerste 7 m vanaf het inbrengen onregelmatige signalen werden ontvangen. De akoestische gegevens duiden op een mix van aanwezigheid van lucht, lekkage en achtergrondgeluid. Op 1,4 m is er een intensiteit van akoestische datapieken, maar de specifieke vorm van het leksignaal was niet te onderscheiden van andere akoestische ruis. Daarom is er geen zekerheid over de aard van het defect. Op ongeveer 1,4 m is het grootste lek van 7 mm aanwezig. Hoewel Xylem de aard van dit defect niet kon vaststellen, werd op de juiste plaats een afwijking waargenomen. Xylem kon geen andere lekken in de neerwaartse helling detecteren. Maar gaf wel informatie over de mogelijke aanwezigheid van meegevoerde lucht of ingesloten luchtbelletjes die niet op deze locatie gepland waren. De aanwezigheid van lucht in de neerwaartse helling is echter waarschijnlijk, aangezien de stroomsnelheid van 0,2 m/s slechts zeer beperkt gastransport toelaat, zoals berekend op pagina 11. De leiding is tussen de inspecties en in de periode voorafgaand aan de inspecties herhaaldelijk geleegd en gevuld. Het valt niet uit te sluiten dat een deel van het gas tijdens het bijvullen werd verplaatst naar de opwaartse en neerwaartse helling van de persleiding. De aanwezigheid van lucht blokkeert de geluidsgolf. Als gevolg hiervan kunnen andere beschadigingen in dit gebied van meegevoerde lucht- of gasbelletjes niet meer worden gedetecteerd. Tussen 7 en 10 m van het insteekpunt werd een signaal waargenomen dat leek op het geluid van 'wind die in een microfoon blaast'. Op deze locatie was de luchtbel aanwezig. Door de mix van achtergrondgeluid en andere lekgeluiden week het signaal echter af van een gebruikelijk luchtbel signaal en werd het daarom niet als zodanig geïnterpreteerd. In de rest van de persleiding werden geen defecten of afwijkingen vastgesteld. In het gebied van 10 tot 16 m, dat overeenkwam met de opwaartse helling van PVC-buissegmenten, waren geen beschadigingen aanwezig die binnen het bereik van schadedetectie van SmartBall vallen. Het klopt dus dat er op dit gebied geen gebreken zijn geconstateerd.

Xylem is niet tevreden met deze bevindingen omdat de nauwkeurigheid zeer beperkt is en ze geen bruikbaar inzicht bieden. Onder normale omstandigheden zou Xylem in staat zijn om onderscheid te maken tussen de verschillende geluiden. In die gevallen waarin een afwijkend signaal optreedt, zou Xylem dit met de beheerder bespreken, verder onderzoeken en eventueel een herinspectie uitvoeren.

5 Conclusies

Met verschillende inspectie-instrumenten zijn inline-inspecties uitgevoerd van het persleidingsysteem dat is gebouwd in de grote testfaciliteit van IKT in Gelsenkirchen. In het rioolstelsel werden schadescenario's aangebracht die het meest voorkomen in of het meest kritisch zijn voor persleidingen. Twee academische instellingen gebruikten de testopstelling voor de ontwikkeling van nieuwe soorten sensoren of data-analyse. Drie commerciële partijen voerden inline-inspecties uit met hun eigen inspectieapparatuur. De belangrijkste conclusies van het project zijn hieronder samengevat.

5.1 Academische instellingen

De beschikbaarheid van de testopstelling bood een goede gelegenheid voor de academische deelnemers om de mogelijkheden van de producten die momenteel in ontwikkeling zijn te testen.

Zoals in een vroeg ontwikkelingsstadium te verwachten was, waren de producten nog niet robuust en stabiel om betrouwbare inspectieresultaten uit te voeren.

De resultaten van de testopstelling bij IKT Gelsenkirchen, in combinatie met tests die zijn uitgevoerd op hun eigen faciliteiten, laten zien dat de nieuwe soorten sensoren en data-analyse in de toekomst de inspectiekosten kunnen verlagen en meer transparantie in data-analyse kunnen bieden.

5.2 Commerciële partijen

5.2.1 Ultrasoontechnieken

De twee instrumenten die zijn uitgerust met ultrasone sensortechnieken waren in staat om een grote verscheidenheid aan defecten te detecteren.

De lekken werden over het algemeen voor de juiste secties gedetecteerd. Het bepalen van de grootte van de lekken of het identificeren van individuele lekken bleek wel een uitdaging te zijn. Dit wordt verklaard door het feit dat signalen van lekken in de buurt elkaar kunnen overlappen, waarbij het grootste lekgeluid het andere overstemt. Lekkagedetectie gebeurt via metingen met de hydrofoon. De grootte van de werkdruk heeft veel invloed op de akoestische detectie van lekkages. Beheerders moeten er rekening mee houden dat lekkages minder goed gedetecteerd worden bij lage werkdrukken (< 2 bar).

Vermindering van de wanddikte voor grotere oppervlakken werd correct gedetecteerd. Het is echter belangrijk om te beseffen dat de ultrasone techniek de resterende wanddikte in plaats van het wandverlies detecteert. Het wandverlies wordt berekend als het verschil tussen de nominale wanddikte en de resterende wanddikte. De nauwkeurigheid van de bepaling van het wandverlies hangt dus af van de juistheid van de schatting van de nominale wanddikte.

Wanneer deze afwijkt van de wanddikte zoals vermeld in de database van de leidingbeheerder, kan dit leiden tot een verkeerde interpretatie van het wandverlies. Het zou beter zijn als de resterende wanddikte wordt gerapporteerd in plaats van het wandverlies. De resterende wanddikte is immers feitelijk bepaald en het wanddikteverlies is een onzekere interpretatie.

Afzetting en ovalisatie werden correct geïdentificeerd door alle geselecteerde inspectie-instrumenten.

Andere soorten schade werden met wisselend succes ontdekt.

5.2.2 Hydrofoon technieken

Het instrument dat alleen hydrofoonmeting gebruikte, vertoonde een hoge gevoeligheid voor de aanwezigheid van (meegevoerde) lucht in de leiding. Hierdoor werd het signaal van andere beschadigingen die naar verwachting door dit instrument zouden worden gedetecteerd (zoals lekkages), geblokkeerd en konden deze defecten niet meer worden gedetecteerd. Ook voor deze techniek geldt: er worden betere resultaten voor lekdetectie geboekt als de werkdruk hoger is.

6 Reflecties en aanbevelingen

6.1 Onderzoekers

6.1.1 Testopstelling

De totale lengte van de testopstelling was door de grootte van de testfaciliteit bij IKT beperkt tot 18 m. Een nadeel is dat de korte afstand en het relatief grote aantal bochten en voegen voor meer ruis in het systeem zorgden. Dit leidt tot meer problemen voor data-analyses en data-interpretatie, omdat er geen benchmarksituatie (zonder verstoringen) is om als referentiesignaal te gebruiken. In het totale ontwerp van de testopstelling was er enige tegenstrijdigheid tussen de wens van de leidingbeheerders om te zien hoe het instrument omgaat met allerlei geometrische kenmerken en de noodzaak om de hoeveelheid defecten te beperken om redenen van 'inspecteerbaarheid'.

Er was een sterke wens van de leidingbeheerders om te testen of de huidige technieken in staat zijn om uitloging en corrosie in asbestcementbuizen te detecteren. Vanwege zeer strenge werkomstandigheden bij het gebruik van asbestcementbuizen was het niet mogelijk om dit materiaal te gebruiken in de testopstelling bij IKT. Oorspronkelijk was er een tweede inspectielijn voorzien in voorgespannen betonbuizen, maar deze kon door budgettaire beperkingen niet worden gerealiseerd. Andere belangrijke geometrische kenmerken die in een vervolgproject kunnen worden opgenomen, zijn een diameterverandering en scherpe bochten.

Het bleek niet mogelijk om alle schadescenario's toe te passen die door de leidingbeheerders als belangrijk of relevant werden genoemd. Daar zijn twee belangrijke redenen voor. Ten eerste werd de totale lengte van de persleiding beperkt door de grootte van de testfaciliteit. Bij het ontwerp van de testopstelling is gezocht naar een balans tussen de wens voor een breed scala aan schadescenario's en de mogelijkheid tot schadedetectie en daarmee het voorkomen van signaaloverlapping. Ten tweede werd het lekpercentage in het systeem beperkt door het watertoevoerdebiet. Daarom konden verschillende relevante schadescenario's niet in het testontwerp worden opgenomen, zoals een ovalisatie in de PVC-buissegmenten en een verkeerde uitlijning van de verbinding (die beide zouden leiden tot extra lekkage). Verder was het de bedoeling om te zoeken naar de minimale gatdiameter die kan worden gedetecteerd. Omdat de lekken echter dicht bij elkaar moesten worden geplaatst, verhindert de signaaloverlapping dat elk afzonderlijk gaatje wordt gedetecteerd. Een dergelijke test kan worden uitgevoerd in een veel grotere persleiding, met een afstand tussen de verschillende gaten van > 10 m. Mogelijk waren er voegverplaatsingen en ovalisaties bij de PVC-voegen aanwezig, die niet de bedoeling waren. En die achteraf niet konden worden geverifieerd en gedimensioneerd, omdat ze alleen aan de binnenkant waarneembaar zijn. Het was waardevolle informatie geweest als deze defecten tijdens de aanleg van de persleiding waren gemeten, zodat de gedetecteerde verplaatsingen en ovalisaties hadden kunnen worden geverifieerd.

6.1.2 Toekomstige onderzoeksinspanningen

Omdat de gekozen testopstelling beperkingen heeft voor het aantonen van de mogelijkheden van inspectietechnieken, is het aan te bevelen om door te gaan met de onderzoeksinspanningen. We voorzien drie opties om dit te doen:

1. De eerste is de bouw van een grotere testopstelling met een meer permanent karakter. Dit biedt de mogelijkheid om de ontwikkelingen van de inspectietechnieken in de tijd te volgen. Een grotere testopstelling vermindert de beperkingen van de relatief korte testopstelling die bij IKT is gebruikt. Het verdient aanbeveling om bij het ontwerp van een dergelijke testopstelling in een eerder stadium rekening te houden met de inbreng van de inspectiebedrijven.
2. De tweede optie is om veldinspecties uit te voeren in echte persleidingen. Dit zou leiden tot meer realistische schadescenario's en het gebruik van asbestcementleidingen. De nadruk moet worden gelegd op het verifiëren van de testresultaten van dergelijke veldinspecties.

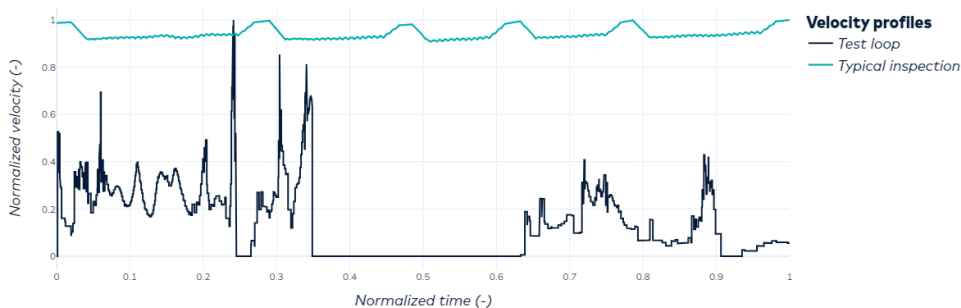
3. De derde optie is een combinatie van de eerste twee opties. In dit geval zou een permanente opstelling kunnen worden gebouwd met verschillende leidingsegmenten die bestaan uit echt beschadigde leidingen die afkomstig zijn van vervangingswerkzaamheden.

6.2 Reflectie op de resultaten door de deelnemers

6.2.1 Acquaint

Hoewel de resultaten van dit testproject bevredigend zijn, verdienen twee aspecten extra verduidelijking.

Om te beginnen is er een opmerkelijk verschil in de nauwkeurigheid van de maatvoering voor het wanddikteverlies in de stalen buizen. Dit wordt toegeschreven aan de methode om de Acquarius voort te sturen, die berust op een drukverschil tussen de voor- en achterkant. In combinatie met de beperkte lengte en de geometrie van het testgedeelte was het bereiken van een constante snelheid niet haalbaar. Een niet-constante snelheid is niet optimaal voor het nauwkeurig dimensioneren van defecten. Figuur 12 illustreert een vergelijking tussen een typisch inspectiesnelheidsprofiel, gebaseerd op meer dan 125 inspecties op ware grootte met de Acquarius, en het snelheidsprofiel dat tijdens de tests is waargenomen. Beide worden genormaliseerd door de maximale snelheid.



Figuur 12
Een vergelijking tussen het typische snelheidsprofiel bij een normale inspectie (blauwe lijn) en het snelheidsprofiel dat tijdens de test in de testopstelling is waargenomen (zwarte lijn), beide genormaliseerd door de maximale snelheid.

Ten tweede heeft de Acquarius de gasbel niet geïdentificeerd, wat samengaat met het ontwerp omdat het de mogelijkheid heeft om gasbellen te verdrijven. Wij beschouwen dit als een waardevolle functie. Hoewel gasbellen niet een echt defect zijn, vormen ze een belangrijke risicolocatie voor corrosie in persleidingen van beton of staal. Door het verwijderen van gasbellen kan de Acquarius de werkelijke schade nauwkeurig lokaliseren, terwijl de aanwezigheid van gasbellen elke ultrasone inspectietechniek zou belemmeren. Hierdoor wordt de nauwkeurige beoordeling van de toestand van leidingsegmenten belemmerd.

6.2.2 ROSEN Groep

ROSEN bedankt de organisaties IKT & Stichting RIONED voor het mogelijk maken van hun deelname. Deze test paste perfect binnen het onderzoekstraject en de bevindingen worden teruggekoppeld naar de ontwikkeling van het algoritme.

Het ontwerp van de testopstelling zag er uitdagend uit en was niet direct representatief voor de dagelijkse omstandigheden. Het instrument kon door de relatief korte lengte en de verschillende betrokken installaties, niet de perfecte doorstromingstoestand verkrijgen voor de best mogelijke resultaten. ROSEN is echter van mening dat de verkregen inspectiegegevens van acceptabele/goede kwaliteit zijn, wetende dat ze in een echte situatie met stabilere omstandigheden alleen nog maar betere inspectiegegevens zullen verkrijgen.

Krassen aan de buitenkant van kunststof leidingen kunnen goed worden gedetecteerd door ROSEN. Dit moet echter wel van tevoren bekend zijn, want het gaat om een speciale sensorinstelling die ze voorafgaand aan de keuring moeten instellen.

6.2.3 Xylem

Benadrukt wordt dat het ontwerp van de testopstelling niet goed geschikt was voor de SmartBall-technologie, zoals al is beschreven in paragraaf 5.2.2. Daarom mogen deze resultaten niet worden beschouwd als representatief voor het typische vermogen van SmartBall om lekken of gasbellen te detecteren.

Er zijn verschillende redenen voor de grote variatie tussen de verschillende testruns. Ten eerste was de testopstelling relatief kort, waardoor het moeilijk was om het instrument te volgen. De trackers zijn bedoeld voor gebruik over honderden meters en kunnen geen nauwkeurige informatie geven over een korte afstand. Daarom konden alleen andere sensoren met een lager betrouwbaarheidsniveau worden gebruikt voor trackingdoeleinden en locatiebepaling. Ten tweede was als gevolg van de korte leidinglengte het achtergrondgeluid van de pompinstallatie over het hele traject aanwezig. Bij hogere stroomsnelheden wordt het achtergrondgeluid meer uitgesproken. Ten derde ligt de druk van 1 bar aan de ondergrens voor SmartBall-lekdetectie. Omdat de druk over de leiding door de verticale verschillen in het leidingprofiel niet constant is, is het niet gegarandeerd dat de druk op meerdere locaties hoger was dan 1 bar. Omdat SmartBall geen druksensor heeft, kan deze informatie niet achteraf worden opgehaald en bevestigd. Een lage leidingdruk leidt tot minder uitgesproken akoestische signalen. Hierdoor wordt het moeilijker om de locatie van het lek te detecteren. Ten slotte werd de leiding tussen de inspectieruns en in de periode voorafgaand aan de inspecties herhaaldelijk gelegeerd en gevuld. Het valt niet uit te sluiten dat een deel van het gas tijdens het bijvullen werd verplaatst naar de opwaartse en neerwaartse helling van de persleiding. Zoals bij alle inspectietrajecten bleef de stroomsnelheid onder 0,9 m/s, kon er slechts zeer beperkt gastransport plaatsvinden in de neerwaartse helling (zie figuur 5) en is het daarom mogelijk dat kleine luchtbelletjes en meegevoerde lucht aanwezig waren op de neerwaartse helling van de persleiding. De aanwezigheid van lucht blokkeert de geluidsgolf. Als gevolg hiervan kunnen andere beschadigingen in dit gebied van meegevoerde lucht of luchtballen niet meer worden gedetecteerd.

Er moet ook worden opgemerkt dat de aangebrachte gaten in de persleiding zijn geboord. Als gevolg hiervan hadden de gaten rechte randen, wat zorgt voor laminaire stroming. Met andere woorden, het water kan in een rechte lijn door het gat gaan. In werkelijkheid hebben gaten meestal onregelmatige vormen (behalve bij onbedoelde doorboringen van de persleidingen zoals sonderingen). Het water passeert het gat op een meer turbulente manier. Hierbij is het akoestische signaal sterker dan bij laminaire stroming. Dit maakt het moeilijker om de geboorde gaten te detecteren zoals voorzien in de testopstelling.

Literatuur

- [1]European Committee for Standardization. Welded steel tubes for pressure purposes – Technical delivery conditions – Part 7: Stainless steel tubes. EN 10217-7:2005.
- [2]European Committee for Standardization. HYPERLINK "<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/0344903e-871b-482d-aba3-3a79abd081a1/en-1401-1-2019>" Plastics piping systems for water supply – Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) – Part 2: Pipes. EN 1452-2:1999.
- [3]T. Yu, X. Zhang, I.E. Lima Neto T. Zhang, Y. Shao and m. Ye, 2019. Impact of orifice-to-pipe diameter ratio on leakage flow: an experimental study. *Water*, 11, 2189.
- [4]K.-J. Schneider. *Bautabelle für Ingenieure*, 19th edition. Werner-Verlag, Köln, GE, 2010.
- [5]M. Tukker, K. Kooij, I. Pothof and F. Clemens. *Hydraulisch ontwerp en beheer van afvalwatertransportsystemen*. Report, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, NL, 2012.
- [6]A.R.K. Towlson, A.J. Croxford and B.W. Drinkwater, 2022. Ultrasonic non-destructive characterization of blockages and defects in underground pipes. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 69:8, 2540-2554.

Bijlage A: Specificaties van de deelnemende inspectie-instrumenten

Tabel A.1: Een overzicht van het toepassingsgebied van de inspectietechnologieën voor drukriolen van bedrijven die aan dit project hebben deelgenomen. De informatie in deze tabel is aangeleverd door de deelnemende bedrijven.

Opmerking: D = buisdiameter.

	Acquarius (Acquaint)	Linegy (ROSEN)	SmartBall (Xylem)	PipeDiver (Xylem)
Materialen				
Gietijzer	ja	ja	ja	ja
Staal	ja	ja	ja	ja
Metaal met lining	ja	ja	ja	ja
Glasvezelversterkte kunststof	ja	ja	ja	nee
PVC	ja	ja	ja	nee
HDPE	ja	ja	ja	nee
Beton	ja	ja	nee	ja
Asbestcement	ja	ja	nee	nee
Geometrie				
Buisdiameter (mm)	> 200	250 - 1800	> 150 ¹ or > 300 ²	400 - 3050 ⁴
Maximal diameterverandering	30% - 50% ^{3,4}	50% ⁵	-	300 mm ⁴
Wanddikte (mm)	≥ 1,5 ⁴	2,5 - 30	-	5,1 - 12,7
Maximale linerdikte (mm)	20 ⁴	3	-	12,7 ⁴
Minimale diameter ingang (mm)	0,8D - 1D	1D or 500 mm ⁶	100	300 ⁴
Minimale diameter uitgang (mm)	0,8D - 1D	1D or 500 mm ⁶	100	300 ⁴
Minimale werkhoogte boven ingang (m)	2D - 3D ³	2D	1,2	1,5
Minimale werkhoogte boven uitgang (m)	2D-3D ³	2D	4	1,5
Maximale richtingsverandering (°)	180	180	180	90
Minimale bochtstraal (°)	0,6D	1D	-	1D
Maximale stijging/daling (°)	90	90	90	90
Lengte robot (mm)	1D - 3D ³	1,5D	180	2300 - 4400
Diameter robot (mm)	1D	0,3D	180	Variable ⁴
Hydraulica				
Maximale binnendruk (bar)	40	20	34,4	20
Minimaal geadviseerd drukverschil (bar)	0,2 ³	0	1	-
Maximale stroomsnelheid (m/s)	1,0	2,0	1,8	0,45 - 0,9 ⁴
Maximale stroomsnelheid voor positiedetectie (m/s)	1,0	2,0	0,9 ⁷	-
Maximale stroomsnelheid voor extractie (m/s)	1,0	-	1 - 1,8 ³	-
Minimale stroomsnelheid (m/s)	> 0,0	0,2	0,15	0,15
Minimale stroomsnelheid voor verticaal transport (m/s)	> 0,0	0,2	0,46	-
Overig				
Maximale temperatuur (°C)	45	45	70	40
Maximale inspectieduur (uren)	20 ⁷	20 ⁸	24	15 - 30 ⁹
Persleiding kan in gebruik blijven tijdens inspectie	ja ¹⁰	ja ¹⁰	ja	ja

¹Voor metalen buizen zonder lining

²In alle andere gevallen

³Afhankelijk van de diameter

⁴Afhankelijk van het materiaal

⁵Verkleining van de grootste diameter in de leiding

⁶Minimumwaarde van 1D of 500 mm

⁷Eenvoudig uit te breiden

⁸Afhankelijk van materiaal en meettechniek

⁹Inclusief video-inspectie

¹⁰Tijdens inbrengen moet druk en debiet zijn uitgeschakeld

Tabel A.2: Een overzicht van de detecteerbare leidingkarakteristieken en schadescenario's voor de inspectie-instrumenten voor persleidingen van de onderzoeksinstellingen die aan het project hebben deelgenomen. Voor elk kenmerk of schadescenario wordt de mogelijkheid van detectie aangegeven (ja/nee). Deze sensoren zijn momenteel in ontwikkeling. Daarom is de nauwkeurigheid van de maatvoering voor deze instrumenten nog niet bepaald. De informatie in deze tabel is aangeleverd door de deelnemende onderzoeksinstellingen. Opmerking: NVT = niet van toepassing, NB = niet bepaald.

	Ultrasonic array device (U-Bristol)	Pipebots Acoustic sensor (U-Sheffield)
Leidingeigenschappen		
xyz-locatie	ja ¹	nee
Leidingappendages (kleppen, beluchters, verbindingen, etc.)	ja ²	ja
Toestandswaarnemingen		
Corrosie: wanddikteverlies	ja	ja
Corrosie: putcorrosie	ja	nee
Corrosie: onderscheid maken tussen intern en extern	nee ³	ja
Luchtbel	NVT ⁴	NB
Afzetting	ja	ja
Lekkage	ja	ja
Vervorming / ovaliteit	ja	nee
Gebroken wapening	ja ⁵	nee
Oppervlaktebeschadiging (kunststof)	ja ³	nee
Horizontaal / radiaal verschoven verbinding (voegwijdte)	ja	ja
Hoekverdraaiing	ja	nee
Sulfaataantasting (asbestcement en beton)	nee	nee
Uitloging (asbestcement)	nee	nee

¹ Afstand tot startpunt, niet verbonden met GIS of een kaart

² Verbindingen altijd, andere appendages alleen wanneer ze minimaal 2 mm in de buis steken

³ Techniek detecteert enkel aan de binnenzijde

⁴ Momenteel alleen beschikbaar voor lege en drukloze buizen

⁵ Enkel als de betondekking is verwijderd of de wapening in de buis steekt

Tabel A.3: Een overzicht van de detecteerbare leidingkarakteristieken en schadescenario's voor de inspectie-instrumenten voor persleidingen van de commerciële bedrijven die aan het project hebben deelgenomen. Voor elk kenmerk of schadescenario wordt de mogelijkheid van detectie aangegeven (ja/nee), gevolgd door de waarschijnlijkheid van detectie en/of nauwkeurigheid van de maatvoering. Voor ROSEN Group wordt de nauwkeurigheid altijd met 90% zekerheid gegeven. De blauwe kleur geeft de leidingkarakteristieken en schadescenario's aan die in dit project onafhankelijk zijn getest en in de resultatensectie zijn overwogen. De informatie in deze tabel is aangeleverd door de deelnemende bedrijven. Let op: NTB = nader te bepalen, NVT = niet van toepassing.

	Acquarius (Acquaint)	Linegy (ROSEN)	SmartBall (Xylem)	PipeDiver (Xylem)
Leidingeigenschappen				
xyz-locatie	ja	ja	ja	ja
Nauwkeurigheid	0,5 m	0,5 m	Variabel ¹	Variabel ²
Wanddikte	ja	ja	nee	ja
Nauwkeurigheid	0,5 mm	0,4 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	0,9		Variabel ²
Appendages (kleppen, beluchters, etc.)	ja	ja	ja ⁴	ja
Detectiekans	Variabel ⁵	0,9		Variabel ²
Toestandswaarnemingen				
Corrosie: wanddikteverlies	ja	ja	nee	ja
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	0,5 mm ⁶		30% wandverlies
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	25 mm		75 mm
Meetnauwkeurigheid lengte / breedte	4 mm	10 / 25 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	90%		Variabel ²
Corrosie: putcorrosie	ja	ja	ja ⁷	ja
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	0,5 mm ⁶	-	40% wandverlies
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	25 mm	0,1 L/min	25 mm
Corrosie: onderscheid intern en extern	ja	ja	NVT	nee
Luchtbel	ja	ja	ja	ja ⁸
Minimaal detecteerbare grootte	10 mm	3,75% v/d omtrek	klein	Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	4 mm	5% v/d omtrek	medium	Variabel ²
Afzetting	ja	ja	ja ⁸	ja
Minimaal detecteerbare grootte	10 mm	25 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid lengte / breedte	4 mm	10 / 25 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	90%		Variabel ²
Lekkage	ja	ja	ja	nee ⁹
Minimaal detecteerbare grootte	NTB	2 mm	0,1 L/min	
Meetnauwkeurigheid	NTB	NTB	hoog	
Detectiekans	10 - 95% ³	90%	Variabel ²	
Vervorming / ovaliteit	ja	ja	nee	ja
Minimaal detecteerbare vervorming	> 0 %	2 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	NTB	0,8 mm		Variabel ²
Detectiekans	100 %	90%		Variabel ²
Gebroken wapening	ja	ja	nee	ja
Minimaal aantal detecteerbaar	1	1		5
Oppervlaktebeschadiging (kunststof)	ja	ja ¹⁰	nee	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	NTB	-		
Meetnauwkeurigheid	NTB	-		
radiaal verschoven verbinding (voegwijdte)	ja	ja	ja ⁸	ja ⁸
Minimaal detecteerbare verplaatsing	15 mm	3 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	4 mm	1 mm		Variabel ²
Hoekverdraaiing	ja	ja	nee	nee
Minimaal detecteerbare verplaatsing	0,25°	3 mm		
Meetnauwkeurigheid	0,25°	1 mm		
Sulfaataantasting (ac en beton)	ja	ja ⁹	NVT	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	10 mm	NTB		
Meetnauwkeurigheid	4 mm	NTB		
Uitloging (asbestcement)	ja	ja ⁹	NVT	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	NTB		
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	NTB		
Meetnauwkeurigheid	4 mm	NTB		

¹ Afhankelijk van de hoeveelheid referentiepunten

² Afhankelijk van buisspecificaties en inspectiecondities

³ Afhankelijk van buisdiameter, aantal sensoren en defect-/appendagegrootte

⁴ Indirecte meting

⁵ Afhankelijk van dekkingsgraad, vuil, defectgrootte en wens van de klant

⁶ Bij een defectgrootte > 50 mm en een minimale overgebleven wanddikte van 2,5 mm

⁷ Kan gedetecteerd worden als lek

⁸ In bepaalde situaties

⁹ Momenteel in ontwikkeling

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor stedelijkwaterbeheer in Nederland. RIONED is er voor en door alle relevante overheden en bedrijven. Inspelend op nieuwe opgaven en mogelijkheden komt Stichting RIONED op voor het belang van stedelijk waterbeheer: goed zorgen voor afval-, hemel- en grondwater in de steden en dorpen. Stichting RIONED bevordert innovatie, nieuwe kennis en verspreiding van kennis. Wij begrijpen en ondersteunen de vakwereld.

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.

© 2024 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 auteur en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

onderzoekers

Dipl.-ing. Markus Gillar (IKT)

Dr.ir. Irene Scheperboer (IKT)

auteur

Dr.ir. Irene Scheperboer (IKT)

omslagfoto

Sebastian Sendlak (IKT)

redactie

Christel van Koppen, De Heldere Pen

vormgeving

Marieke Eijt, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

rapportnummer

2024-07

isbn/ean

9789073645844



Vanwege oplopende faalfrequentie groeit de behoefte aan betrouwbare informatie over de constructieve staat van afvalwaterpersleidingen. Het afgelopen decennium zijn daartoe mogelijk geschikte instrumenten ontwikkeld en in de praktijk al beproefd. Het in deze publicatie beschreven onderzoek geeft een onafhankelijke vergelijking van toepassingsmogelijkheden en te bereiken nauwkeurigheden van innovatieve persleidinginspectietechnieken in een testopstelling van het Duitse onderzoeksinstituut IKT. Dit onderzoek is gefinancierd vanuit het EU-programma Horizon2020.