

BTO 2020.030 | Mei 2020

BTO rapport

Een overzicht van verschillende
exitbeoordelingstechnieken

Exitbeoordelingen faalmechanismen distributienet

Een overzicht van verschillende
exitbeoordelingstechnieken

BTO 2020.030 | Mei 2020

Opdrachtnummer

402045-139

Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

Opdrachtgever

BTO - Bedrijfsonderzoek

Auteur(s)

B. (Bram) Hillebrand MSc

dr. ir. K.A. (Karel) van Laarhoven

Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords

Exitbeoordeling

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
Bram Hillebrand, MSc.
T 030-6069590
E Bram.Hillebrand@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Mei 2020 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Exitbeoordelingstechnieken dragen bij aan een betere vervangingsstrategie

Auteur(s) B. Hillebrand MSc., dr. K.A. van Laarhoven

Gezien het dominante aandeel van PVC in het leidingnet, zou bij de selectie van exitbeoordelingstechnieken rekening moeten worden gehouden met het onderzoeken van de mechanische eigenschappen van de buis. Daarnaast is het voor elk type materiaal waardevol om de mechanische en chemische eigenschappen van de ondergrond vast te stellen. Dit blijkt uit een onderzoek waarin een inventarisatie is gemaakt van exitbeoordelingen die beslissingen rond het vernieuwen van het leidingnet kunnen ondersteunen en onderbouwen. Jaarlijks besteden drinkwaterbedrijven tientallen miljoenen euro's aan het onderhouden en vernieuwen van leidingen. Dit is het uitgelezen moment om te beoordelen of de leidingen daaraan toe zijn. De huidige inventarisatie resulteert in een spreadsheet die snel overzicht geeft in beschikbare exitbeoordelingstechnieken en hun toepasbaarheid. Op korte termijn is het raadzaam om – naast het blijven meten van (effectieve) wanddikte – te beginnen met het systematisch fotograferen van de situatie, het vastleggen van de diepteligging, de monteur een conditiescore te laten geven en, in het geval van AC, gietijzer en verbindingen met metalen onderdelen, het meten van de pH van de ondergrond.

Belang: exitbeoordelingen om vervangingsstrategie te optimaliseren

Drinkwaterbedrijven besteden jaarlijks tientallen miljoenen euro's aan het onderhouden en vernieuwen van leidingen die daaraan toe zijn. Voor een efficiënte besteding van dit geld is het belangrijk dat de conditie van leidingen zo goed mogelijk bekend is. Een leiding kan dan op tijd worden vervangen, voordat deze voor overlast zorgt. En het onnodig vroegtijdig vervangen – wat kapitaalvernietiging betekent – wordt voorkomen. Een manier om de conditie van het leidingnet beter te leren kennen, is het uitvoeren van exitbeoordelingen: het meten en testen van de toestand van leidingen die worden blootgelegd vanwege reparatie of vervanging. Bij deze exitbeoordelingsstrategie richt Brabant Water zich momenteel uitsluitend op de reductie van de wanddikte bij gietijzeren en asbestcementen leidingen als gevolg van aantasting. Echter, binnen het distributienet spelen tegenwoordig veel meer factoren mee in de leidingconditie, met het

leidingmateriaal PVC in de hoofdrol. Ter ondersteuning van het assetmanagement is het daarom belangrijk om te inventariseren welke andere exitbeoordelingen mogelijk de moeite waard zijn.

Aanpak: inventarisatie van relevante én haalbare technieken

Een inventarisatie is gemaakt van faalmechanismen die een rol spelen in leidingconditie en van de exitbeoordelingen die het optreden of voortschrijden hiervan kunnen meten. De inventarisatie putte uit drie kennisbronnen: de internationale wetenschappelijke literatuur, voorgaand bedrijfstakonderzoek en praktijkkennis van monteurs en hun directe leidinggevendenden van Brabant Water. Vervolgens is per techniek de praktische, technische en financiële haalbaarheid vastgesteld. Het geheel van technieken en bevindingen is tenslotte geordend in een overzichtstabel (spreadsheet).

Resultaten: extra technieken richten zich op mechanische eigenschappen en op de ondergrond

Het blijkt dat ook internationaal veruit de meeste exitbeoordelingstechnieken de aantasting van wanddikte van leidingen als focus hebben. Daarnaast kwamen twee andere categorieën aan het licht waarop de proeven zich richten: de mechanische eigenschappen van het materiaal – vooral voor PVC en PE buizen – en vaststelling van de mechanische en chemische eigenschappen van de bodem waarin de buis ligt. Een laatste interessante exitbeoordelingstechniek is het geven van een subjectieve conditiescore door de monteur in het veld, wat een aanvulling betekent op de andere gemeten waarden.

Toepassing: exitbeoordelingstechnieken-spreadsheet voor snel overzicht

Op grond van de resultaten is een exitbeoordelingstechniekenspreadsheet gemaakt

die snel overzicht geeft in de beschikbare technieken en voor welke materialen en onderdelen deze geschikt zijn. Gezien het groeiende aandeel van PVC in het leidingnet is het belangrijk een selectie van exitbeoordelingstechnieken te maken die onderzoek doen naar de mechanische eigenschappen van de buis en de mechanische en chemische eigenschappen van de ondergrond. Op korte termijn is het raadzaam om – naast het blijven meten van (effectieve) wanddikte – te beginnen met het systematisch fotograferen van de situatie, het vastleggen van de diepteligging en, in het geval van AC, gietijzer en verbindingen met metalen onderdelen, het meten van de pH van de ondergrond.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Exitbeoordelingen faalmechanismen distributienet* (BTO-2020.030).

Inhoud

<i>BTO Managementsamenvatting</i>	1
Inhoud1	
1 Inleiding	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 Leeswijzer	3
2 Methode	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Kennisvergaring	4
2.3 Classificatie oorzaken/faalmechanismen	4
2.4 Momenten voor de exitbeoordeling	5
2.5 Haalbaarheid	5
2.6 Uitleg opzet Exitbeoordelingstechniekenspreadsheet	6
3 Exitbeoordelingstechnieken	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Grondanalysetechnieken	7
3.3 Mechanische beproeving	7
3.4 Kwalitatieve exitbeoordelingstechnieken	7
3.5 Overige exitbeoordelingstechnieken	8
4 Discussie, conclusies en aanbevelingen	16
4.1 Discussie	16
4.1.1 Grond in de omgeving van de leiding	16
4.1.2 Kwalitatieve exitbeoordelingen	17
4.1.3 AC exitbeoordelingstechnieken	17
4.1.4 PVC/PE exitbeoordelingstechnieken	17
4.1.5 Overige technieken	18
4.2 Conclusies en Aanbevelingen	18
5 Referenties	19
I Bijlage: Memo overleg Brabant Water, Evides en KWR	20
II Bijlage: Exitbeoordelingstechnieken spreadsheet	22

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het vervangingsprogramma van distributieleidingen gaat veel geld om. De keuzes die hierin worden gemaakt moeten worden onderbouwd. Dit gebeurt met voorspellingsmodellen en conditiebepalingen. Bij een conditiebepaling wordt eerst de toestand van de leiding gemeten met behulp van één of meerdere meetmethoden. De gemeten toestand wordt vervolgens vergeleken met de norm om de conditie van de leiding vast te stellen. De uitkomsten kunnen enerzijds dienen als bevestiging van genomen beslissingen en verbeteren anderzijds de onderbouwing van de toekomstige vervangingsprogramma's door de informatiebasis van voorspellingen te verbreden.

De toestandsmetingen die Brabant Water op dit moment gebruikt worden ter plekke uitgevoerd, bijvoorbeeld aan de sleuf tijdens reparatie van leidingen, of ze worden op een later moment uitgevoerd op buisdelen die zijn uitgenomen tijdens vervanging. Deze metingen richten zich nu uitsluitend op de degradatiemechanismen uitloging van asbestcement (AC) en ontijzering, ook wel verpotloding genoemd, van gietijzer (GIJ). Deze degradatiemechanismen leiden tot een afname van de buiswanddikte, waardoor spanningen in de buiswand bij gelijke belasting toenemen, mogelijk met bezwijken van de wand tot gevolg. Het kennen van de degradatie in de buiswand is dus belangrijk voor een conditiebepaling. Er spelen echter meer factoren een rol in de conditie van een leiding:

- Uitloging en verpotloding zijn niet de enige degradatiemechanismen van AC en GIJ, en er zijn andere leidingmaterialen aanwezig in het leidingnet met weer andere degradatiemechanismen.
- Behalve degradatie zijn er ook andere faalmechanismen¹ die leiden tot het bezwijken van de buiswand. Scheuren kan bijvoorbeeld ook veroorzaakt worden door het optreden van hogere spanningen vanwege extra externe belasting, zoals vanwege verschilzettingen.
- Een leiding heeft meerdere componenten met meerdere faalwijzen² die op kunnen treden in plaats van het bezwijken van de buiswand. Voorbeelden zijn het uitschuiven van de buis uit de verbinding, hoekverdraaiing, of het falen van een oude reparatieklem. Aan ieder van deze faalwijzen liggen weer andere specifieke faalmechanismen ten grondslag.

De exitbeoordeling van gefaalde of bij vervanging uitgenomen leidingen kan zich dus – naast degradatie van AC of GIJ – ook richten op het meten van andere (parameters gerelateerd aan) faalmechanismen voor meerdere onderdelen en materialen. Door de rol van meerdere faalmechanismen in het falen van de leiding te bevestigen of uit te sluiten kunnen de vermoedelijke oorzaken van falen beter worden bevestigd.

Het doel van dit onderzoek is te inventariseren welke meettechnieken zouden kunnen worden ingezet in een exitbeoordeling om het al dan niet optreden van overige faalmechanismen in kaart te brengen. Omdat tijd en middelen voor exitbeoordelingen beperkt zijn wordt de praktische haalbaarheid van technieken daarbij expliciet beschouwd. Met de extra informatie die een bredere exit-beoordeling oplevert, is het mogelijk om de vervangingsprogramma's op meer en betere informatie te baseren om de juiste leiding op het juiste moment te vervangen.

¹ faalmechanisme' (*failure mechanism* in de technische literatuur) betekent hier een proces dat veranderingen aanbrengt in de toestand van de leiding die uiteindelijk leiden tot falen. In Ustore wordt dit aangegeven met het attribuut 'oorzaak'

² 'faalwijze' (*failure mode* in de technische literatuur), de manier waarop een component faalt, wordt in Ustore aangegeven met het attribuut 'aard'.

1.2 Leeswijzer

De bevindingen van dit onderzoek zijn samengevat in de bijgevoegde Exitbeoordelingstechnieken spreadsheet in bijlage II, hierna ook wel spreadsheet genoemd. Dit rapport dient als uitgebreide uitleg bij deze tabel en is als volgt opgezet. Het hoofdstuk Methode licht de verschillende classificaties toe die zijn gekozen voor moment van exitbeoordeling en de geteste oorzaak (faalmechanisme). Ook wordt de opzet van de spreadsheet nader toegelicht. Verder bevat dit hoofdstuk een korte beschrijving hoe deze tabel tot stand is gekomen. Het hoofdstuk Exitbeoordelingstechnieken licht iedere techniek systematisch toe met een korte beschrijving van het achterliggende principe en een toelichting van de meerwaarde van de meting. Ook worden er korte toelichtingen gegeven op het natuurlijke moment van de meting en onze inschatting van de haalbaarheid. In de discussie bespreken we enkele categorieën van exitbeoordelingstechnieken en hun belang evenals enkele algemene observaties. In het laatste hoofdstuk geven we enkele conclusies en aanbevelingen. Het rapport en de spreadsheet zijn complementair en bevatten nadrukkelijk niet beide alle informatie.

2 Methode

2.1 Inleiding

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van een duidelijk en simpel overzicht van mogelijke exitbeoordelingstechnieken en hun haalbaarheid. Daarbij zijn vooral technieken interessant die zich richten op andere eigenschappen/parameters dan de effectieve wanddikte. Om dit snelle overzicht te geven, hebben we ook keuzes gemaakt over de opzet van de spreadsheet. Aspecten die hier nader worden toegelicht zijn de classificatie van faalmechanismen die we gebruiken, de mogelijke momenten voor zo'n exitbeoordeling die we hebben geïdentificeerd en de haalbaarheidsinschattingen die we hebben gemaakt.

2.2 Kennisvergaring

Om een inzicht te krijgen van de huidige staat van kennis hebben we de Praktijkcode Drinkwater 6 (PCD 6, Mesman, Beuken et al. 2016)) als uitgangspunt gebruikt. Met deze basis hebben we in de internationale literatuur gezocht naar mogelijke gaten in de huidige kennis binnen de Nederlandse drinkwaterwereld.

Naast wetenschappelijke literatuur hebben we ook bewust praktijkkennis willen verzamelen. Dit hebben we gedaan door op twee verschillende dagen Brabant Water op locatie in Veghel te bezoeken. Tijdens deze dagen hebben we twee reparaties van stringen bezocht, in beide gevallen betrof het nieuwe leidingen waar derden de lekkage veroorzaakt hadden. Ook hebben we een geplande werkzaamheid bezocht waarbij een nieuwe PVC leiding werd gelegd ter vervanging van een AC leiding. In alle drie de gevallen hebben we met de monteurs die de werkzaamheden/reparatie uitvoerden kunnen spreken en mee kunnen kijken en geobserveerd wat er zoal komt kijken bij werkzaamheden en reparaties qua bijvoorbeeld tijdsdruk, ruimte om in te werken etc.

Daarnaast hebben we eenmalig een overleg gehad met drie monteurs van Brabant Water in Veghel, waarbij we nog eens rustig konden bespreken wat zij zoal menen te kunnen zien aan leidingen en de kwaliteit daarvan. Als laatste heeft er een overleg plaatsgevonden tussen Brabant Water, Evides en KWR specifiek over de door Evides gebruikte conditiescore als exitbeoordelingstechniek. Een verslag hiervan is opgenomen in Bijlage I. Al deze verschillende bronnen hebben samen geleid tot dit rapport en de bijbehorende spreadsheet.

2.3 Classificatie oorzaken/faalmechanismen

In de praktijkcode (PCD) uniforme storingsregistratie (Beuken en Moerman, 2017) wordt de volgende classificatie van oorzaken (faalmechanismen) gebruikt:

- oorzaak Spontaan, verder opgedeeld in:
 - aantasting;
 - uitwendige belasting;
 - Onbekend;
- oorzaak Extern;
- oorzaak Intern.

Ook is er de mogelijkheid om in het geval van *Spontaan* twee oorzaken op te geven (dus bijvoorbeeld zowel aantasting als uitwendige belasting). In dit rapport en de bijbehorende spreadsheet zullen we, met een paar kleine aanpassingen, gebruik maken van deze classificatie. De verschillen zijn hieronder opgesomd:

- We maken onderscheid tussen inwendige aantasting en uitwendige aantasting, omdat hier verschillende mechanismen aan ten grondslag kunnen liggen.
- We erkennen de categorie inwendige belasting. Binnen de PCD valt deze in de categorie Oorzaak Intern (als gevolg van bedrijfsvoering zoals bijvoorbeeld drukstoten).
- We maken onderscheid tussen productiefouten en aanlegfouten. In de PCD vallen aanlegfouten onder de categorie Oorzaak Intern. Waar productiefouten precies onder vallen is diffuus.
- De classificatie Oorzaak Extern laten we buiten beschouwing (behalve daar waar productiefouten hieronder vallen) omdat voor deze categorie geen exitbeoordelingen nodig zijn (de oorzaak is bekend).

In dit rapport werken we dus met zes klassen van faalmechanismen/oorzaak:

- inwendige aantasting;
- uitwendige aantasting;
- inwendige belasting;
- uitwendige belasting;
- productiefouten;
- aanlegfouten.

De factoren die verantwoordelijk zijn voor in- en uitwendige aantasting of in- en uitwendige belasting verschillen per type materiaal en zijn in de betreffende paragrafen van dit rapport verder uitgewerkt.

2.4 Momenten voor de exitbeoordeling

Een exitbeoordeling kan op meerdere momenten plaatsvinden. De keuze van het moment is afhankelijk van de tijdsdruk op het moment van reparatie/uitname, de aanwezige apparatuur en de eventuele specialistische kennis die nodig is voor de exitbeoordeling. In dit rapport onderscheiden we vier momenten waarop de exitbeoordeling mogelijk is:

- in de sleuf tijdens reparatie, vóór de daadwerkelijke reparatie;
- in de sleuf tijdens reparatie, ná de daadwerkelijke reparatie;
- in de sleuf tijdens geplande vervanging/werkzaamheden;
- na uitnemen, op een andere locatie.

Voor enkele technieken is het moment diffuus omdat deze uit meerdere verschillende handelingen bestaat die niet perse op hetzelfde moment moeten worden genomen. Daar waar bijvoorbeeld een monster genomen moet worden dient dit op locatie te gebeuren terwijl de analyse ervan beter op een andere locatie naderhand kan gebeuren. In dit rapport is in deze gevallen toegelicht wat er met de bollen in de spreadsheet precies wordt bedoeld.

2.5 Haalbaarheid

Na overleg met Roel Diemel van Brabant Water is er besloten om drie aspecten van de haalbaarheid te beschouwen, namelijk technische haalbaarheid, praktische haalbaarheid en financiële haalbaarheid. Technisch behelst of de methode bestaat, of deze bijvoorbeeld op grote schaal is toe te passen en of er specialistische kennis voor nodig is. Praktisch heeft betrekking tot o.a. de tijdsdruk tijdens het proces, de gebruiksvriendelijkheid en de vereiste nauwkeurigheid. Financieel betreft eventuele kosten voor het aanschaf van meetapparatuur, of er externen ingehuurd moeten worden en het totale aantal uren dat het een waterbedrijf zelf zou kosten. Haalbaarheid is in alle gevallen een inschatting gebaseerd op de vergaarde kennis en ervaring. Ook zijn de inschattingen niet naar verhouding van de opbrengst gemaakt. Dus een dure techniek kan bijvoorbeeld wellicht wel

zoveel meer opleveren aan informatie dan een goedkope techniek dat deze goedkoper is per eenheid opbrengst. Dit is niet af te leiden uit de tabel en zou uit eventuele vervolgstudies moeten blijken.

2.6 Uitleg opzet Exitbeoordelingstechniekenspreadsheet

De bijgeleverde spreadsheet bestaat uit 8 kolommen, waarvan er sommige verdeeld zijn in subkolommen. Iedere rij representeert een andere exitbeoordelingstechniek. Sommige technieken zijn samengevoegd onder een gemeenschappelijke noemer. De volgorde van de tabel is dezelfde als in dit rapport en heeft geen specifieke betekenis. Hier volgt kort een beschrijving van de verschillende kolommen. In het hoofdstuk Exitbeoordelingstechnieken zijn daarnaast kleine toelichtingen gegeven.

Tabel 2-1: Overzicht en toelichting voor de verschillende kolommen in de bijbehorende exitbeoordelingstechniekenspreadsheet

Exitbeoordeling	Deze kolom bevat de naam van deze exitbeoordelingstechniek
Leiding materiaal	In deze kolom en zijn subkolommen wordt door middel van bolletjes aangegeven voor welk materiaal (PVC, AC, Gietijzer, PE en Beton) en voor welk onderdeel (buisdeel, hulpstuk, verbinding) deze exitbeoordelingstechniek nuttig is. Het is opgedeeld naar leidingmateriaal, hulpstukken en verbindingen zijn niet perse van hetzelfde materiaal gemaakt als de leiding. Een dicht bolletje geeft aan dat de techniek zeer geschikt is voor dit materiaal, een open bolletje geeft beperkte of mogelijke toepasbaarheid aan
Wanneer	Met behulp van dichte bolletjes is aangegeven wanneer deze exitbeoordelingstechniek nuttig is. Met een open bolletje is aangegeven dat deze techniek op dit moment beperkt nuttig is.
Waarom	Hierbij wordt aangegeven welke faalmechanismen met deze exitbeoordelingstechniek zouden kunnen worden aangetoond. Met een dicht bolletje wordt het belangrijkste mechanisme aangegeven, met een open bolletje mechanismen waarvoor de techniek mogelijk ook informatie kan opleveren.
Modelparameter	Hiermee wordt aangegeven waarover deze exitbeoordeling meer informatie zou kunnen opleveren. De opbrengst van de meting betreft ofwel een kwantitatieve bepaling van een specifieke grootte die een rol heeft in een model voor een bepaald faalmechanisme, óf een kwalitatieve bevestiging van het optreden van een bepaald faalmechanisme. Dit is ook nader aangegeven met vetgedrukte en schuin gedrukte tekst in de tabel.
Nu of kan ook later	Met nu of kan ook later wordt aangegeven dat, wanneer deze exitbeoordeling niet op het moment van reparatie of uitname (blootlegging) wordt uitgevoerd, dat deze informatie als verloren moet worden beschouwd, of dat de exitbeoordeling ook op een later moment kan worden gedaan
Haalbaarheid	Een korte indicatie van de haalbaarheid. Uitgesplitst in technisch (eenvoudig, gemiddeld, ingewikkeld), praktisch (eenvoudig, gemiddeld, ingewikkeld) en financieel (goedkoop, duur).

3 Exitbeoordelingstechnieken

3.1 Inleiding

In Tabel 3-1 tot en met Tabel 3-4 is voor iedere exitbeoordelingstechniek een korte beschrijving gegeven. Ook bevatten deze een korte toelichting voor onze keuzes van *nu of kan ook later* en de *haalbaarheid*. De exitbeoordelingstechnieken zijn ruwweg gegroepeerd op de parameters die ze onderzoeken en per tabel volgt hieronder een toelichting.

3.2 Grondanalysetechnieken

De grond in directe omgeving van de buis, hulpstukken en verbindingen heeft op verschillende manieren invloed op deze buis, hulpstuk of verbinding. Veel internationale literatuur beschrijft relaties tussen falen van leidingen en cyclische zettingen van de grond, zoals bijvoorbeeld uitzetten en inkrimpen bij vocht en droogte of het uitzetten en inkrimpen als gevolg van bevriezing en dooi (o.a. Barton, Farewell et al. 2019, Ellison en Spencer 2016). Uiteraard heeft het type grond samen met de verzadiging van de grond ook invloed op het gewicht dat boven op de buis rust. Ook de chemische samenstelling van grond direct om de buis en/of verbinding kan verschillende invloeden hebben. Zo wordt uitwendige aantasting in verband gebracht met een lage pH of een kalkarme grond (Beuken, van Eijk et al., 2014) en ook corrosie wordt in verband gebracht met een lage pH (Liu en Kleiner, 2013). Tenslotte bestaat het vermoeden dat AC op een andere manier dan uitloging wordt aangetast - mogelijk door chemicaliën in de bodem - omdat er aantasting wordt geobserveerd die niet vast te stellen is met een thymolftaleinetest ('peperkoekbuizen') (Beuken en van Laarhoven, 2019). Een precieze chemische samenstelling van de grond is dus interessant voor met name uitwendige aantasting van AC en verschillende metalen verbindingen en hulpstukken.

In de exitbeoordelingstechnieken-spreadsheet hebben we verschillende technieken opgenomen die op een of andere manier de eigenschappen van de grond in kaart brengen. Deze zijn samengevat in Tabel 3-1.

3.3 Mechanische beproeving

Met mechanische beproeving van teststukken kunnen sterkte-eigenschappen van het buismateriaal worden achterhaald. Dit is vooral van belang voor plastic buizen, waarbij degradatie geen grote rol speelt en falen wordt bepaald door belasting en buiseigenschappen. In Tabel 3-2 beschrijven we enkele tests die door monteurs zelf uit te voeren zijn. Ook is het mogelijk testmaterialen naar een laboratorium te sturen voor een gedetailleerde analyse. Vooral voor PVC en PE is dit een belangrijke categorie van exitbeoordelingstechnieken.

3.4 Kwalitatieve exitbeoordelingstechnieken

Onder deze categorie vallen exitbeoordelingstechnieken die geen parameter meten maar kwalitatieve observaties bevatten. Deze kunnen vervolgens op termijn gebruikt worden om correlaties te vinden tussen bepaalde waarnemingen en de staat van leidingen. Deze correlaties kunnen dan weer gebruikt worden voor de vervangingsstrategie. Ook zijn er technieken onder dit kopje opgenomen die dienen ter ondersteuning van het inzicht van de monteur ter plaatse of dienen als vastlegging van deze kwalitatieve observaties. Ze zijn samengevat in Tabel 3-3.

3.5 Overige exitbeoordelingstechnieken

Van de overige exitbeoordelingstechnieken zijn de meeste gericht op het meten van effectieve wanddikte. Georadar/PGR richt zich daarnaast ook op de structuur van de ondergrond en kan bijvoorbeeld ook grondgaten en de oriëntatie van de buis in kaart brengen. Al deze technieken zijn duur en technisch gemiddeld tot ingewikkeld.

Tabel 3-1: Overzicht van exitbeoordelingstechnieken die zich richten op grondeigenschappen

Exitbeoordelings-techniek	Beschrijving	Toelichting: nu of kan ook later	Toelichting: Haalbaarheid
Grondmonster (mechanisch en chemisch)	Door een grondmonster te nemen kunnen, eigenschappen worden vastgesteld zoals de thermische expansiecoëfficiënt (α_v) en soortelijk gewicht (ρ). Ook kan de neiging tot opzwellen onder invloed van vocht worden gemeten. Hiervoor bestaan verschillende indices zoals bv de Expansive Soil Index (ESI) (Kariuki en van der Meer 2004). Chemische eigenschappen die handig om te meten zijn, zijn de pH, het kalkgehalte en de redoxpotentiala.	Een grondmonster kan ook op een later moment worden genomen. Eventueel met een grondboor kan er van vlak langs de leiding een boorkern naar boven worden gehaald. Wanneer een leiding onder bestrating ligt, is het beter om het grondmonster wel meteen te nemen.	Het nemen van een grondmonster hoeft niet ingewikkeld te zijn. Het is voldoende om een potje met grond te vullen. Er komt wel wat logistiek en correcte administratie bij kijken. Om de meeste informatie uit deze techniek te halen is een labanalyse het best, vandaar dat we de methode als relatief duur inschatten.
Grondtype-schatting	Door het type grond te noteren (met een discrete keuze) is het mogelijk om verschillende mechanische en chemische eigenschappen in een eenmalig opgestelde tabel op te zoeken.	Net zoals het grondmonster kan ook dit later. Het is ook mogelijk om een monster mee te nemen en op een eigen locatie een visuele inspectie van het monster te doen.	Het inschatten van het type grond vereist wel enige kennis. Het hoeft niet heel veel tijd te kosten. En het is ook relatief goedkoop. Het levert minder nauwkeurige informatie op dan een grondmonster.
pH-meting	De pH van de grond in de directe omgeving van de buis of verbinding (zie ook grondmonster chemisch) is van invloed op de uitwendige aantasting van de buis en op de aantasting van metalen onderdelen.	Een pH meting kan ook later worden uitgevoerd. In het geval dat de leiding onder bestrating ligt is het aan te raden om deze meteen uit te voeren. Ook kan het zijn dat de meting op een later tijdstip een langere prikker vereist dan dat nodig is op het moment dat de leiding open ligt.	Er bestaan verschillende pH meetinstrumenten. Voor de (hobby) tuinier tot professionele instrumenten. De meting op zichzelf is niet ingewikkeld. Ook financieel schatten wij de meting in als goedkoop, alhoewel dit wel afhankelijk is van de keuze voor het meetinstrument.

Lineaire polarisatie-weerstand	Met behulp van elektrodes wordt de met elektrische stromen de weerstand van de grond gemeten. Deze heeft een lineaire relatie met de corrosiesnelheid voor metalen buizen en onderdelen.	Uiteindelijk is de mate van corrosie afhankelijk van de grond en vocht samenstelling. Het is dus het best om de meting te doen die representatief is voor de vochtige periode. Bij een breuk is de grond echter zo vochtig dat dit niet meer representatief is. Een later moment is dus waarschijnlijk beter.	De techniek en meetmethode zijn niet heel ingewikkeld en de apparaten hoeven niet duur te zijn. Vandaar dat we de haalbaarheid van deze methode als gemiddeld en goedkoop hebben ingeschat.
Handmatige meting diepteligging	De diepteligging van de buis geeft informatie over de uitwendige belasting die een buis ondervindt. In combinatie met het soortelijk gewicht van de grond en de aanwezige vochtigheidsgraad/grondwater stand geeft dit informatie over de verticale belasting van de leiding (Q_{vert}).	De buis ligt op het moment van reparatie of vervanging bloot, daarom moet deze meting nu gebeuren.	Het meten van de diepteligging is relatief eenvoudig die wel een nauwkeurige werkwijze vereist, vandaar dat we het inschatten als gemiddeld. Een meetlint of duimstok volstaat.
Diepteprofiel	Naast enkel diepteligging zou er ook een diepteprofiel gemaakt kunnen worden. Hier worden de verschillende lagen met dikte van oppervlak tot leiding genoteerd (bijvoorbeeld: bestrating, zandbed, grond) Dit geeft een hogere nauwkeurigheid van de daadwerkelijke uitwendige belasting van boven. In combinatie met het soortelijk gewicht van de verschillende lagen en de aanwezige vochtigheidsgraad/grondwaterstand geeft dit informatie over de druk op de leiding (P).	De buis ligt op het moment van reparatie of vervanging bloot. Daarom moet een diepteprofiel nu worden gemaakt.	Een diepteprofiel vereist het meten van verschillende lagen; ook vereist het enig inzicht in verschillende grondtypes. Vandaar dat dit als gemiddeld wordt ingeschat. Wanneer er wordt gekozen om alleen verschil te maken tussen bv grond en bestrating dan wordt deze exitbeoordeling eenvoudig.

Tabel 3-2: Overzicht van exitbeoordelingstechnieken die zich richten op de mechanische eigenschappen van de materialen

Exitbeoordelings-techniek	Beschrijving	Toelichting: nu of kan ook later	Toelichting: Haalbaarheid
Ringkniptest	Met de ringkniptest kan de inwendige restspanning (σ_{intern}) van de buis worden bepaald (Boersma en Breen 2005, Mesman en van Laarhoven 2018).	Zolang de uitgenomen buis wordt bewaard kan dit ook op een later tijdstip.	De test is relatief eenvoudig maar vereist wel een protocol en training. Logistiek is er wat meer werk vereist om de buis te bewaren.
C-ringtest	Met de C ring fracture test kunnen sterkte-eigenschappen met betrekking tot scheurgroei worden bepaald (Davis, Burn et al. 2001).	Zolang de uitgenomen buis wordt bewaard kan dit ook op een later tijdstip.	De test is relatief eenvoudig maar vereist wel een protocol en training. Logistiek is er wat meer werk vereist om de buis te bewaren.
Mechanische beproeving (laboratorium)	Voor het bepalen van de dynamische respons van deze materialen op belasting (spanningsrelaxatie, vervorming, scheurgroei) en van individuele eigenschappen die hier aan bijdragen (bijvoorbeeld fysische veroudering of chemische samenstelling) zijn laboratoriumproeven nodig.	De buis moet worden bewaard en verplaatst naar het laboratorium.	De tests vereisen specialistische kennis en worden daarom extern belegd.
Hardheidstest	Met een hardheidstest wordt een apparaatje bedoeld waarmee de hardheid van het materiaal kan gemeten worden zoals bijvoorbeeld een Shore D durometer. Hiermee kan de hardheid van de buis bepaald worden, en vergeleken worden met de hardheid na productie.	De hardheidstest kan worden uitgevoerd na het uitnemen van het stuk buis op locatie of naderhand op een apart terrein.	De apparaatjes zijn niet duur en vrij eenvoudig in gebruik. Systematisch testen vereist wel iets meer geduld. We schatten dit als eenvoudig maar praktisch gemiddeld.
Breukvlak-onderzoek	Aan de hand van breukvlakonderzoek kan wat achterhaalt worden over eventuele verzwakking van het materiaal en de dominante belastingen die tot de breuk geleid hebben.	Het is beter om dit op een rustig moment op een later tijdstip te doen.	Er is specialistische kennis/ervaring nodig waardoor we het praktisch als gemiddeld inschatten. Het is een relatief goedkope methode tenzij deze extern belegd wordt (dit maakt nauwkeurigere analyse mogelijk bijvoorbeeld d.m.v. een microscoop).

Tabel 3-3: Overzicht van exitbeoordelingstechnieken met een meer kwalitatief karakter

Exitbeoordelings-techniek	Beschrijving	Toelichting: nu of kan ook later	Toelichting: Haalbaarheid
Foto's	De waarde van foto's is afhankelijk van de kwaliteit en onderwerp van de foto. Zij kunnen veel informatie vastleggen zoals bijvoorbeeld de situatie ondergrond, het type breuk en de oriëntatie t.o.v. de weg. Een foto legt ook snel informatie vast die na reparatie niet meer voor handen is. Foto's kunnen altijd op een later tijdstip overlegd worden aan een expert voor een exitbeoordeling.	Foto's moeten meteen worden gemaakt, bij voorkeur ook voor de reparatie; de situatie is op een later tijdstip veranderd en kan dan niet meer worden gereproduceerd.	Foto's maken schatten we in als eenvoudig. Met een set eenvoudige instructies kan worden verzekerd dat de foto's bruikbaar zijn. Camera's zijn ook alom aanwezig waardoor deze techniek goedkoop is.
Conditie score	Evides Waterbedrijf heeft ervaring met het geven van een conditiescore 1 t/m 6 op basis van de NEN 2767 (zie bijlage I). Hierbij wordt de conditie van de buis/verbinding en of hulpstuk ingeschat waarbij 1 staat voor goede conditie en 6 voor slechte conditie. Een conditiescore geeft ruimte om het gevoel van een monteur op een zo'n kwantitatieve manier mogelijk vast te leggen.	Een conditiescore moet op het moment zelf gegeven worden. Het is niet de bedoeling dat dit later of aan de hand van foto's gebeurt.	Het geven van een conditiescore is technisch eenvoudig en ook goedkoop. Om een zo'n uniforme manier van scoren te verkrijgen en de juiste interpretatie eraan te geven is wat ingewikkelder, vandaar dat we dit praktisch als gemiddeld inschatten.
Visuele inspectie	Hiermee worden simpele observaties bedoeld zoals aanwezigheid van drempels, boomwortels, puin in de grond en bijvoorbeeld overduidelijke aanlegfouten. In het geval van boomwortels, drempels en bijvoorbeeld de weg is het belangrijk dat de afstand tussen de leiding en het betreffende object ook op een of andere manier genoteerd wordt.	Het beste is om dit meteen te doen. Sommige observaties zouden ook kunnen wanneer het gat weer dicht is maar bv afstanden zijn dan veel lastiger om in te schatten	Observaties hoeven niet veel tijd te kosten en vereisen over het algemeen geen speciale kennis. Wel moet er voorkomen worden dat een observatielijst voor de visuele inspectie te lang wordt waardoor deze in zijn geheel toch te veel tijd gaat kosten.

Tabel 3-4: Overzicht van overige exitbeoordelingstechnieken, veelal gericht op het meten van effectieve wanddikte

Exitbeoordelings-techniek	Beschrijving	Toelichting: nu of kan ook later	Toelichting: Haalbaarheid
Thymolftaleinetest	De thymolftaleinetest is een veel beschreven test (o.a. Mesman, Beuken et al. 2016) waarbij effectieve wanddikte ($D_{\text{effectief}}$) van AC wordt weergegeven. Het geeft de verandering in evenwichts-pH in het materiaal weer die optreedt door uitloging. De methode moet worden gebruikt in combinatie met een schuifmaat en (bij voorkeur) een foto.	De thymolftaleinetest kan worden uitgevoerd na het uitnemen van het stuk buis op locatie of naderhand op een apart terrein.	De test is op zich zelf zeer eenvoudig. Praktisch is deze, omdat het om asbest gaat, iets ingewikkelder om veilig uit te voeren.
Laser scan	Met een laserscan is een gedetailleerd beeld te maken van het reliëf van de binnenkant van de buis. Dit kan aankleding en uitloging in beeld brengen evenals breuken en vervormingen (ovaliteit).	Voor de test is het handig wanneer er een buis wordt uitgenomen en later wordt uitgevoerd. Het kan ook meteen in een lege openliggende buis.	Er is hiervoor een speciaal apparaat nodig en de interpretatie van de verkregen data vereist ook enige kennis. Vandaar dat we deze methode als gemiddeld inschatten. Vanwege het aan te schaffen apparaat schatten we dit in als relatief duur.
Georadar/GPR	Georadar of GPR (ground penetrating Radar) is onder verschillende namen bekend. Het is een techniek die gebruik maakt van elektromagnetische golven voor het inspecteren van voorwerpen of de ondergrond. Door elektromagnetische golven wordt er een beeld gemaakt van de leiding of van de ondergrond rondom de leiding. In de leiding kan dit informatie geven over verschillende vormen van inwendige en uitwendige aantasting. Rondom de leiding kan het gebruikt worden voor grondgaten en de aanwezigheid van puin in de grond (Liu en Kleiner 2013). Ook kan de oriëntatie van de buis hiermee waargenomen worden.	Inspectie van de leiding kan meteen maar het kan ook prima later, mits er een deel van de leiding wordt uitgenomen. Inspectie van de ondergrond is relevanter voor werkzaamheden of steekproeven, hierbij kan vooraf bekeken worden of er puin ligt in de grond en belangrijker, of er grondgaten aanwezig zijn.	Inspectie van de leiding is technisch haalbaar. Zover wij konden vinden is het inspecteren van de grond met GPR voor nu nog vooral een academische techniek die niet (uitgebreid) in de praktijk wordt toegepast. Beide methode vereisen duurdere apparaten en getraind personeel voor het meten en de interpretatie (eventueel extern). Vandaar ook dat we deze methode als financieel duur hebben ingeschat.

Impact echo	Bij impact echo worden de vibraties van de buis na een “tik met een hamer” gemeten. Deze metingen worden vervolgens omgezet naar het frequentiedomein waardoor er informatie over de effectieve wanddikte te verkrijgen is. Liu en Kleiner (2013) beschrijven dat het ook mogelijk is om naar andere eigenschappen van de buis te kijken maar dat hier ingewikkelde analyse in het frequentie-domein voor nodig is.	De inspectie zou meteen kunnen gebeuren, maar vanwege de tijd die het kost om de apparaten te plaatsen is het handiger om achteraf uit te voeren of tijdens geplande werkzaamheden wanneer er met de tijdsplanning rekening mee kan worden gehouden.	Technisch is deze inspectie haalbaar. Er zijn een slagapparaat en meetapparaten voor nodig. De analyse is specialistisch werk en dient dus eventueel extern te gebeuren. We hebben deze techniek dan ook als duur ingeschat.
ePulse	Aan de hand van geluidsmetingen worden de gemiddelde stijfheid van een segment tussen twee meetpunten bepaald. Door een vergelijking te maken met de originele stijfheid kan een maat van degradatie worden bepaald.	Het is eenvoudiger om deze meting op een uitgenomen buisdeel te doen. Het kan ook eventueel voorafgaand aan werkzaamheden worden ingepland.	We schatten deze techniek in als gemiddeld en relatief duur vanwege de apparatuur die nodig is of de externe partij die ervoor ingeschakeld moet worden.
CT-scan	Bij een CT scan wordt er van een buis met behulp van röntgen of andere elektromagnetische straling een tomografisch plaatje gemaakt. Hiermee zijn defecten en imperfecties in de buis opspoorbaar (van Laarhoven and van Summeren 2019)	Een CT-scanner is een groot apparaat en metingen moeten dan ook achteraf gebeuren..	Een CT-scanner is een groot en duur apparaat. Ook de interpretatie van de verkregen data is niet heel eenvoudig. Vandaar dat we deze techniek als duur en ingewikkeld hebben ingeschat.
SEM/EDS	SEM/EDS staat voor Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X Ray Spectroscopy. Het is een methode om de effectieve wanddikte te meten. In (Ellison en Spencer 2016) is deze gebruikt om de validiteit van fenofaleinetests te bepalen. De overeenkomsten tussen SEM/EDS en de fenofaleinetests voor inwendige uitloging waren hetzelfde, maar voor uitwendige uitloging zijn de resultaten van	Deze techniek dient naderhand te gebeuren	Omdat het apparaat vereist, en een gespecialiseerd bedrijf hebben we deze methode als gemiddeld en relatief duur ingeschat.

	SEM/EDS anders waarbij deze als betekenisvoller werden ingeschat dan de fenoftaleïnetest.		
Thermografische methode	Bij de thermografische methode wordt de buis opgewarmd en vervolgens wordt de infraroodstraling die de buis tijdens het afkoelen uitstraalt gemeten. Verschillende gebieden met verschillende eigenschappen (andere dikte, andere samenstelling) zullen op verschillende manier infrarood uitstralen en zijn dus op die manier van elkaar te onderscheiden.	Deze inspectietechniek vereist een uitgebreide installatie en dient dus naderhand plaats te vinden,	Thermografische methodes hebben dure apparaten en specialistische kennis nodig. Ze moeten dus eventueel door een extern bedrijf worden gedaan. Daarom schatten we ze ook in als ingewikkeld en duur.

4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

4.1 Discussie

De exitbeoordelingstechnieken die in dit rapport beschreven zijn, richten zich op drie verschillende typen parameters. Ten eerste zijn daar kwantitatieve direct bruikbare parameters zoals bijvoorbeeld effectieve wanddikte, interne spanning en gewicht van de gronddekking. Daarnaast zijn er exitbeoordelingstechnieken die zich richten op kwantitatieve parameters die op termijn bruikbaar zijn doordat ze nieuwe model-inzichten kunnen genereren. Het gaat hier dan bijvoorbeeld op pH of ESI. Als laatste zijn er kwalitatieve parameters. Deze kunnen dankzij statistische analyses correlaties opleveren met de conditie van de leidingen. Alle drie dragen ze op een andere manier bij aan het verbeteren van de vervangingsstrategie.

Voor veel exitbeoordelingen is het noodzakelijk of in ieder geval aan te raden om materiaal zoals een uitgenomen buis of een grondmonster te bewaren voor analyse achteraf. Dit kan zijn op eigen terrein of door een gespecialiseerd lab. Dit brengt extra logistiek met zich mee. Ook zullen enkele testen (zoals bijvoorbeeld enkele mechanische beproevingen) deze buizen en/of grondmonsters zodanig aantasten dat ze niet langer bruikbaar zijn voor andere testen. Een goede volgorde van de exitbeoordelingen en voldoende testmateriaal is dus belangrijk. Testen achteraf op een eigen terrein vermindert wel de tijdsdruk en dit geeft mogelijk nauwkeurigere metingen en waarnemingen. Wanneer de tests op een eigen terrein plaatsvinden en niet ter plekke in het veld, zal het aantal testafnemers beperkter zijn en uitvoering/resultaten van de tests daardoor consistent. Hoewel er dus meerwerk is verbonden aan het testen achteraf, heeft dit wel de voorkeur. Alleen in de praktijk kan worden beoordeeld of de nadelen uiteindelijk opwegen tegen de voordelen. Een andere belangrijke toevoeging aan het exitbeoordelingsproces is het bekijken van verschillende sensordata en andere operationele logdata die beschikbaar zijn op en rond het moment van het falen van de leiding. Denk hierbij aan drukmetingen van het pompstation, brandweeractiviteiten en andere metingen die gedaan zijn met sensoren in het net (zoals drukmetingen) die steeds talrijker zijn. Dit kan extra informatie geven over het faalmechanisme en leiden tot inzichten over bedrijfsprocessen.

Zoals in de exitbeoordelingstechniekenspreadsheet is af te lezen, is niet iedere techniek geschikt voor ieder type materiaal. Sommige exitbeoordelingstechnieken zijn echter voor (bijna) alle materialen geschikt. We zullen eerst technieken bespreken die voor (bijna) alle materialen interessant zijn. Daarna zullen we voor enkele materialen andere belangrijke technieken bespreken.

4.1.1 Grond in de omgeving van de leiding

De grond in de directe omgeving van de leiding kan een grote invloed hebben op de staat van de leiding. Het gaat hier dan bijvoorbeeld om de chemische samenstelling van de grond die de leiding of verbindingen zwakker kan maken, maar ook het gewicht en de bewegingen van de grond die voortdurend spanning op de buis en verbindingen brengen. Wanneer er een beter inzicht is in de invloed van bepaalde ondergronden op buizen en verbindingen, dan is het op termijn mogelijk om mede op basis van de aanwezige ondergrond beslissingen te maken voor het wel of niet vervangen van leidingen. Vandaar dat we meerdere exitbeoordelingstechnieken hebben opgenomen die verschillende grondeigenschappen in kaart brengen. Volledige chemische en mechanische analyse van de grond geeft uiteraard de meeste data maar uit praktische en financiële overwegingen kan er ook gekozen

worden voor enkele simpelere metingen. Onderzoek in het buitenland suggereert dat het zwellen en krimpen van de ondergrond een belangrijke factor is en het is ons inziens dan ook belangrijk om hier grip op te krijgen (Barton, Farewell et al. 2019). Metingen van de grond zijn belangrijk voor meerdere materialen. De chemische samenstelling van de grond kan effect hebben op AC, metalen en bijvoorbeeld ook bouten en moeren van verbindingen. De mechanische werking van grond heeft effect op alle materialen maar is vooral belangrijk voor plastic.

Een belangrijke eigenschap van de ondergrond is het vochtgehalte en/of de grondwaterstand. Deze is echter moeilijk te bepalen omdat deze sterk kan variëren door het jaar heen. Bij een leidingbreuk is dit in zijn geheel onmogelijk omdat al het gelekte water een representatieve meting onmogelijk maakt. Voor de bepaling van de grondwaterstand en/of het vochtgehalte is het aan te raden om dit op het meest en minst vochtige moment te doen. Hiermee wordt informatie verkregen over de maximale verticale belasting op een buisdeel als ook over het maximale verschil in vochtigheid wat weer belangrijk is voor het zwellen dan wel inkrimpen van de grond.

4.1.2 Kwalitatieve exitbeoordelingen

Enkele van de beschreven exitbeoordelingen hebben een meer kwalitatief karakter. Het gaat dan om visuele inspectie, conditiescore en foto's. Bij visuele inspectie denken we aan het noteren van eigenschappen van de omgeving van de buis zoals eventueel aanwezige drempels, bomen of puin in de grond. Daarnaast is het interessant om, wanneer toepasselijk, de oriëntatie van een buis ten opzichte van de weg te noteren. Loopt deze parallel, dwars of onder een hoek? Al dit soort waarnemingen kunnen leiden tot correlaties met faalfrequenties waardoor ze kunnen leiden tot aanvullende inzichten die tot aanpassing/verbetering van de vervangingsstrategie kunnen leiden. Foto's dienen ter ondersteuning. Ze zijn ook geschikt voor evaluatie achteraf. Het geven van een conditiescore geeft een plek voor het inzicht of gevoel van de monteur over de buis dat niet direct te vatten is in meer meetbare parameters. Wanneer sommige buizen consequent als zwak worden ingeschat terwijl metingen (nog) niets uitwijzen, kan een vastgelegde kwalitatieve beoordeling helpen bij het bewijzen van de invloedsfactor en helpen richting geven aan toekomstige exitbeoordelingen (zoals nu in zekere zin lijkt te gebeuren voor AC peperkoekbuizen en PVC brosse buizen).

4.1.3 AC exitbeoordelingstechnieken

Veel exitbeoordelingstechnieken voor AC richten zich op het meten van effectieve wanddikte zoals onder andere de thymolfaleïnetest, SEM/EDS en de echo pulse. Van al deze methodes is de thymolfaleïnetest (nog steeds) het eenvoudigst. Deze test meet echter wel alleen de afname van wanddikte door een enkel chemisch proces, terwijl de andere methodes, hoewel niet zo makkelijk interpreteerbaar, afname van effectieve wanddikte door meerdere processen vangen. Het is daarbij interessant om op te merken dat (Ellison en Spencer 2016) voor inwendige uitloging een goede correlatie vonden tussen fenoftaleïne en SEM/EDS maar voor uitwendige uitloging slechts in 20% van de gevallen.

Andere exitbeoordelingstechnieken die toepasbaar zijn voor AC zijn de hardheidstest en de al eerder genoemde onderzoeken naar de omgeving van de leiding.

4.1.4 PVC/PE exitbeoordelingstechnieken

Voor plastic leidingen zijn weinig significante degradatiemechanismes bekend waardoor het falen bijna in zijn geheel afhangt van de verschillende spanningen die de leiding te verduren krijgt en de initiële kwaliteit van het materiaal. De spanningen volgen uit de externe belastingen (die kunnen worden afgeleid uit data en exitbeoordeling van de omgeving) en de interne belastingen (die kunnen worden bepaald uit bedrijfsdata). Om inzicht te krijgen in de mechanische eigenschappen/kwaliteit van het materiaal zijn de mechanische beproevingen en het breukvlakonderzoek belangrijke exitbeoordelingstechnieken.

Ook zijn voor PVC en PE de al eerder genoemde onderzoeken naar de omgeving van de leiding interessant. Met name de mechanische eigenschappen van de ondergrond zijn belangrijk voor PVC en PE.

4.1.5 Overige technieken

Georadar/GPR - toegepast op de bodem - is potentieel erg interessant omdat het naast grondgaten ook de oriëntatie van de buis en grondgaten kan waarnemen. Er kan dan waargenomen worden of een buisdeel bijvoorbeeld netjes recht ligt of dat dit gebogen is. Ook bij verbindingen zou wellicht waargenomen kunnen worden of buisdelen recht insteken of dat deze iets schuin in de verbinding zitten door middel van de oriëntatie van de buisdelen ten opzichte van elkaar. Een pilot zou echter moeten uitwijzen of in praktijk deze mate van detail ook daadwerkelijk haalbaar is en de bepaling voldoende accuraat is. Daarnaast is het ook goed mogelijk dat deze techniek niet even goed werkt voor elk materiaal en diameter. Ook dit zou uit een eventuele pilot moeten blijken. Een laatste mogelijkheid is dat GPR mogelijk verschilzettingen waar dit heeft geleid tot verandering van de lagen in de ondergrond kan waarnemen. Ook hierbij is het de vraag of de mate van detail die hiervoor nodig is in praktijk ook haalbaar is.

4.2 Conclusies en Aanbevelingen

De hoeveelheid exitbeoordelingstechnieken die zich op andere parameters richten dan effectieve wanddikte is beperkt. Onzes inziens zijn de belangrijkste daarvan de technieken die zich richten op de mechanische en chemische eigenschappen van de ondergrond en de mechanische eigenschappen van de buis. Voor AC en gietijzer ligt de nadruk op de chemische eigenschappen van de ondergrond, terwijl voor PVC/PE de nadruk ligt op de mechanische eigenschappen van de ondergrond en van de buis. Voor al deze geldt dat er bij onderzoek door een lab meer informatie te winnen valt, maar dat er ook enkele goedkopere technieken beschikbaar zijn. Als laatste is het belangrijk om door middel van bijvoorbeeld een conditiescore ruimte geven voor het inzicht/gevoel van de monteur ter plaatse over de conditie van de buis.

Het is dan ook belangrijk om te inventariseren, eventueel in samenspraak met een technisch lab, wat voor mechanische en chemische testen op grond zelf uit te voeren zijn en welke door een lab zouden kunnen worden uitgevoerd. Dit zelfde geldt voor de mechanische beproevingen van buismateriaal. Hiervoor zouden vervolgens pilots moeten worden opgesteld om te beoordelen of de technische en praktische haalbaarheid inschattingen inderdaad correct zijn en of in praktijk de vereiste nauwkeurigheid van een bepaalde meting wel haalbaar blijkt. Wanneer het een parameter betreft die inzicht moet geven door correlatie met faalfrequenties kan in een pilot ook een eerste analyse worden gedaan of dit inderdaad zo is.

De volgende waardevolle exitbeoordelingen zouden relatief gemakkelijk aan het programma kunnen worden toegevoegd, bovenop het meten van de (effectieve) wanddikte:

- het systematisch nemen van foto's;
- het registreren van puin in de grond;
- het vastleggen van de diepteligging;
- in het geval van AC, gietijzer en verbindingen met metalen onderdelen het meten van de pH van de grond.

Op iets langere termijn zou het ook waardevol en haalbaar moeten zijn om:

- een tabel met de eigenschappen van verschillende grondtypes op te stellen waardoor het inschatten van grondtype als exitbeoordelingstechniek kan worden toegevoegd;
- het geven van een conditiescore door de monteur;
- PVC en PE stukken uit te nemen en verzamelen voor mechanische tests achteraf (ring knip, C-ring fracture, hardheid).

5 Referenties

Barton, N. A., et al. (2019). "Improving pipe failure predictions: Factors affecting pipe failure in drinking water networks." Water Res **164**: 114926.

Beuken, R., et al. (2014). De waarde van exitbeoordelingen op AC- en GGJ-leidingdelen. Nieuwegein, KWR: 70.

Beuken, R. H. S. and A. Moerman (2017). Uniforme storingsregistratie (USTORE). Praktijkcode voor het beheer van storingsregistratie van leidingnetten. Nieuwegein, KWR: 89.

Beuken, R. H. S. and K. A. van Laarhoven (2019). Sterkteonderzoek asbestcementbuizen. Nieuwegein, KWR: 64.

Boersma, A. and J. Breen (2005). Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems, TNO. I - IX.

Davis, P., et al. (2001). Investigating crack growth and plasticity in the C-ring fracture toughness test. Plastic Pipes Conference, Munich.

Ellison, D. and D. Spencer (2016). "The true causes of AC pipe failures - According to the data." Pipelines: 637 - 647

Kariuki, P. C. and F. van der Meer (2004). "A unified swelling potential index for expansive soils." Engineering Geology **72**(1-2): 1-8.

Liu, Z. and Y. Kleiner (2013). "State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes." Measurement **46**(1): 1-15.

Mesman, G. A. M., et al. (2016). PCD 6 Conditiebepaling voor drinkwaterleidingen (2016). Nieuwegein, KWR: 91.

Mesman, G. A. M. and K. A. van Laarhoven (2018). Kennisregels PVC leidingen, update 2017. Nieuwegein, KWR.

van Laarhoven, K. A. and J. R. G. van Summeren (2019). Röntgentomografie als meetmethode voor de toestand van asbestcementleidingen. Nieuwegein, KWR: 35.

I Bijlage: Memo overleg Brabant Water, Evides en KWR

Evides heeft een pilot programma van snelle exitbeoordelingen (QEB) opgezet. In dit overleg heeft Patrick van de Ende (Evides) hierover kennis en opgedane ervaringen gedeeld met Brabant Water (Roel Diemel, Jan Snel) en KWR (Karel van Laarhoven).

Het doel van QEB is om de PDCA cyclus te sluiten. Het beslissingsondersteuningssysteem van Evides stelt nu een vervangingsplan op, onder andere op basis van kennisregels voor het inschatten van de conditie. Door exitbeoordelingen uit te voeren op vervangen leidingen kan op den duur worden gecontroleerd of de inschatting van de conditie klopt en of de kennisregels moeten worden aangescherpt.

De QEB bestaat uit een lijst van visuele inspecties, waarvan de uitkomsten direct kunnen worden ingevuld in een online app op de telefoon. Ingevulde resultaten worden direct in een online GIS omgeving ingetekend. Evides laat deze uitvoeren door de toezichthouders van nieuwbouw- of vervangingsprojecten. De toezichthouder kan efficiënt een aantal beoordelingen uitvoeren per project (typisch: 1 exitbeoordeling per materiaal-diameter combinatie binnen een project), zonder dat dit de monteurs extra belast (er zijn dus echter geen exitbeoordelingen voor storingsreparaties).

De lijst van uit te voeren visuele inspecties richt zich op drie soorten informatie: de conditie van de leiding (bijv. zichtbare defecten of aantasting), de omgeving (bijv. verkeersbelasting of verontreinigingen) en de eigenschappen van de leiding (type, materiaal, wanddikte, etc.). Daarbij wordt het verzamelen van de eigenschappen van de leiding ook gezien als een check op de kwaliteit van de data die beschikbaar is over de assets van Evides (bijv.: ligt de leiding op de verwachte plek, en klopt het verwachte materiaal?). Er worden geen complexe conditiemetingen uitgevoerd of samples bewaard voor meten op een later moment, zodat de QEB tijdsefficiënt blijft. Wel worden er overzichtsfoto's genomen en geüpload.

De meeste vragen op de lijst zijn relatief objectief te beantwoorden (type, wanddikte, lekkage, etc). Toezichthouders worden daarnaast ook gevraagd om een kwalitatieve, algehele conditiescore toe te kennen met een waarde van 1-6. Omdat te verwachten valt dat niet iedere toezichthouder op dezelfde manier scores zal toekennen, worden scores toegekend volgens NEN 2767 om resultaten zo betrouwbaar en uniform mogelijk te houden. Op deze manier kan de indruk van de specialist in het veld zo goed mogelijk semi-kwantitatief worden gemaakt, zodat deze een plaats kan krijgen in een geautomatiseerd beslissingsondersteuningsproces.

Evides voert nu een pilot uit met QEB in het gebied Rijnmond. Het plan is om eerst 100 exitbeoordelingen te verzamelen en een eerste onderzoek uit te voeren naar de verschillen en overeenkomsten tussen het originele vervangingsplan. Op het moment van dit overleg zijn ongeveer 50 exitbeoordelingen uitgevoerd. Dit is minder dan gepland. De voortgang werd tot nu toe vooral vertraagd door de beschikbaarheid van de app (deze is niet altijd stabiel online beschikbaar) en de bereidheid van de toezichthouders (het verschilt per toezichthouder of deze structureel de exitbeoordelingen uitvoert). Een stabiele app blijkt te helpen met het overhalen van toezichthouders (sommige toezichthouders willen de exitbeoordeling wel uitvoeren, maar geven op zodra ze de app opnieuw moeten opstarten).

Binnen de ingevulde exitbeoordelingen lijkt de kwalitatieve conditiescore voorsnog bruikbaar, want de scores van 1 tot en met 6 zijn ieder al meermaals toegekend. De toekomstige validatiestappen zullen moeten uitwijzen of deze kwalitatieve conditiescore ook inderdaad verklarende waarde heeft. Evides heeft nog geen methodiek klaar liggen om de exitbeoordelingen te vertalen naar een restlevensduur of faalkans

Exitbeoordelingstechnieken spreadsheet: Bijlage II van BTO2020-030

Exitbeoordelingstechniek		Leiding materiaal															Wanneer				Geteste Oorzaak					Modelparameter (cursief geeft kwalitatief aan, dikgedrukt kwantitatief)	Nu of kan ook later	haalbaarheid		
		PVC			AC			Gietijzer			PE			Beton			In de sleuf voor reparatie	in de sleuf na reparatie	tijdens werkzaamheden	naderhand (op terrein of lab)	Inwendige aantasting	uitwendige aantasting	inwendige belasting	uitwendige belasting	productiefouten			aanlegfouten	Technisch	praktisch
buis	hulpstuk	verbinding	buis	hulpstuk	verbinding	buis	hulpstuk	verbinding	buis	hulpstuk	verbinding	buis	hulpstuk	verbinding	buis	hulpstuk										verbinding				
Grondmonster	Mechanisch	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•					α_v, ESI, ρ	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR	
	Chemisch		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•				<i>uitwendige aantasting</i>	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR	
Grondtype schatting		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•				<i>uitwendige aantasting</i>	KAN OOK LATER	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
pH-meting			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	•	•				<i>uitwendige aantasting</i>	KAN OOK LATER	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP		
Lineaire polarisatiweerstand (bodem)			•	•		•	•	•		•	•		•	•		•	•	○	•	•				<i>corrosie snelheid</i>	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Diepteligging		•			•			•		•			•			•		○	•	•				$Q_{uitwendig}$	NU	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Diepteprofiel		•			•			•		•			•			•		○	•	•				$Q_{uitwendig}$	NU	GEMIDDELD	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Mechanische beproeving (zelf)	Hardheidstest	•	○		•	○				•	○					•	○	○	•	•				<i>materiaalsterkte</i>	KAN OOK LATER	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
	Ring knip test	•								•						•				•				σ_{intern}	KAN OOK LATER	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
	C-ring test	•								•						•				•				KIC	KAN OOK LATER	INGEWIKKELD	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Mechanische beproeving (laboratorium)		•								•						•				•			<i>materiaalsterkte</i>	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR			
breukvlak onderzoek		•								○											○	○	•		KAN OOK LATER	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Foto's		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○		NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP		
Conditie score		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○	○	○		NU	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
Additionele visuele inspectie	Aanwezigheid boomwortels	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	•	•				<i>uitwendige aantasting, uitwendige belasting</i>	NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP		
	Afstand drempels	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	•	•				<i>uitwendige belasting</i>	NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP		
	Afstand en orientatie t.o.v de weg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	•	•				<i>uitwendige belasting</i>	NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP		
	Puin in de grond	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	•	•				<i>uitwendige belasting</i>	NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP	
	aanlegfouten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	•	○	•					NU	EENVOUDIG	EENVOUDIG	GOEDKOOP	
Thymolftaleïne					•													•	•	•	•			$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	EENVOUDIG	GEMIDDELD	GOEDKOOP		
laser scan		•			•			•		•		•			○	○	•	•						d	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR		
Elektromagnetisch (Georadar/GPR)	Leiding				•			•												•	•			$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	INGEWIKKELD	INGEWIKKELD	DUUR		
	Omgeving	•	○		•	○				•	○	•	○							•			○	$Q_{uitwendig}$	NU	INGEWIKKELD	INGEWIKKELD	DUUR		
Akoestisch/Ultrasoon	Echo pulse (pipescanner)																			•	•	•		$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR		
	impact echo	•			•			•		•		•			○					•	•	•		$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR		
röntgen	SEM/EDS	•			•															•	•		•	$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	GEMIDDELD	GEMIDDELD	DUUR		
	ct scan	•			•															•	•			$d_{effectief}$	KAN OOK LATER	INGEWIKKELD	INGEWIKKELD	DUUR		
Thermografische methode		•			•			•		•										•	•	•		<i>aantastingen, productiefouten</i>	KAN OOK LATER	INGEWIKKELD	INGEWIKKELD	DUUR		

Tabel II-1: De betekenis van de verschillende kolommen is toegelicht in het rapport. In de kolom modelparameter: d = wanddikte, α_v = expansiecoëfficiënt, ESI = expansive soil index, ρ = dichtheid, Q = belasting