

# Levensduurvoorspelling van pvc spie-mof-verbindingen

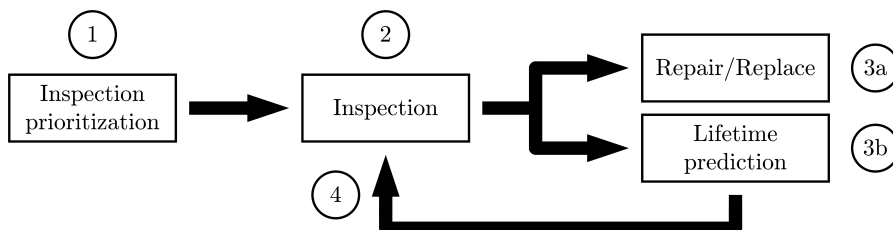
A.M. Arsénio (KWR/TU Delft/Wetsus), J.H.G. Vreeburg (KWR/Wageningen UR), L.C. Rietveld (TU Delft)

Bij het falen van een drinkwaterleiding spelen de verbindingen tussen de leidingsegmenten een onderschatte rol. Dit artikel presenteert een stappenplan om het falen van een pvc spie-mof-verbinding te voorspellen. De eerste stap is het selecteren van de kandidaten voor conditie bepaling. De tweede is het daadwerkelijk bepalen van de conditie door de spleet tussen de leidingen inwendig te meten. De derde stap is de analyse van meetgegevens, waarna een beslissing kan worden genomen voor verdere actie. Tenslotte wordt een tijdstip bepaald voor een volgende inspectie.

Over de gehele wereld worden miljoenen kilometers leiding gebruikt om iedere dag drinkwater aan gebruikers te leveren. Nu en dan breken de leidingen. In sommige landen, waaronder Nederland, worden gegevens over deze breuken systematisch geregistreerd en opgeslagen in databases. De database die in Nederland wordt gebruikt heet USTORE [1]. Volgens de gegevens in deze database heeft 29% van alle breuken te maken met verbindingen. Een derde hiervan treedt op in pvc-verbindingen. Ook andere onderzoekers, verspreid over de wereld, hebben de belangrijke rol die de verbinding speelt in het falen van de leiding laten zien [2], [3], [4], [5]. Het onderzoek dat beschreven is in dit artikel richtte zich op het voorspellen van de levensduur van pvc spie-mof-verbindingen als belangrijke factor in het falen van het leidingsysteem. Daarvoor is een benadering in vier stappen ontwikkeld (zie afbeelding 1):

- (1) Selecteer geschikte leidingen voor inspectie.
- (2) Inspecteer de leidingen en verbindingen met de meest geschikte technieken.
- (3) Bepaal de conditie van de verbindingen. Met de informatie kan een beslissing genomen worden om:
  - a. te vervangen of repareren als de conditie beneden een zekere vooraf bepaalde grens is;
  - b. de resterende levensduur  $t$  te voorspellen op basis van een geschikt model;
- (4) Bepaal een tijdstip voor een nieuwe inspectie, korter dan de te verwachten resterende levensduur. De conditie die dan wordt aangetroffen wordt mede gebruikt om het voorspellingsmodel van stap 3b verder te kalibreren.

De stappen (1), (2) en (3) worden in het navolgende verder uitgewerkt.

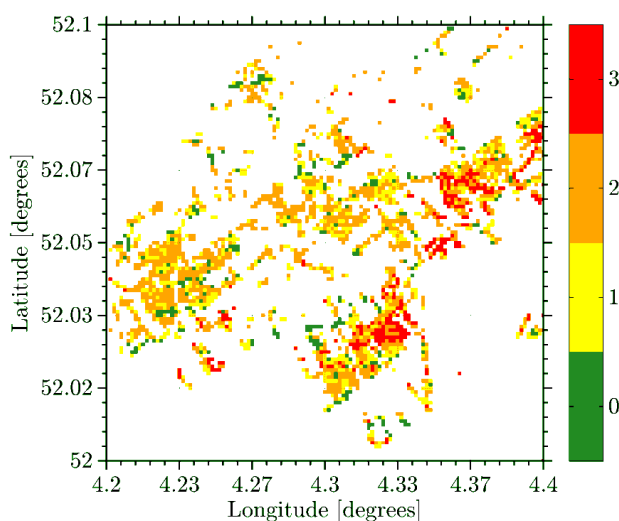


Afbeelding 1. Procedure voor levensduurvoorspelling van pvc spie-mof-verbindingen

## Selecteer geschikte leidingen voor inspectie

Grondzetting is één van de factoren die een mogelijke verklaring geeft voor het falen van de ondergrondse leidinginfrastructuur. Grondzetting veroorzaakt vooral schade aan oudere en stijvere verbindingen [6] zoals zwaar belaste asbestcementleidingen (AC) [7]. Ongelijkmatig zetten kan in pvc leidingen enorme lokale spanningen veroorzaken die tot breuken kunnen leiden [8]. Dergelijke omstandigheden kunnen de levensduur van een pvc leiding met 10 jaar bekorten. Toch is voor zover wij weten nog geen systematisch onderzoek gedaan naar het effect van ongelijkmatige zettingen op het falen van drinkwaterleidingnetten.

Voor ons onderzoek zijn voor een bepaald gebied storingsgegevens van de database USTORE gebruikt. Deze data omvatten een periode van 40 maanden, waarin 868 storingen waren geregistreerd. Deze gegevens zijn gecombineerd met empirische gegevens over grondzettingen, die bepaald zijn met een radar. De *Interferometric Synthetic Aperture Radar* meet de verandering in de afstand tussen een satelliet en het aardoppervlak over een bepaalde periode. Afhankelijk van de positie van de satelliet worden de veranderingen in het aardoppervlak (grondzetting) gemeten langs de zichtlijn van de satelliet. Hiermee is de zetting van het oppervlak over een bepaalde tijdspanne te kwantificeren [9]. In [10] hebben we laten zien dat de storingsfrequentie voor pvc, gietijzer en AC toeneemt met een toenemende grondzetting. In het onderzoeksgebied had AC de hoogste storingsfrequentie, hoewel gietijzer het materiaal is dat het meest gevoelig zou moeten zijn voor grondzetting [10]. Bovendien is er een duidelijk hogere storingsfrequentie te zien van AC-leidingen die zijn geïnstalleerd in de jaren '60 en daarvoor. Deze conclusies zijn de uitgangspunten waarmee een risicokaart van het onderzoeksgebied is gemaakt. Op deze kaart worden gebieden aangegeven waarin het distributienetwerk gevoeliger is voor storingen (afbeelding 2). De relatieve vervangingsprioriteit wordt aangegeven in een schaal van nul (groen) tot drie (rood). Leidingen in de gebieden met een hoge vervangingsprioriteit zouden ofwel meer geïnspecteerd ofwel sneller vervangen moeten worden, afhankelijk van de gekozen onderhoudsstrategie (toestandsafhankelijk onderhoud respectievelijk gebruiksduurafhankelijk onderhoud).



**Afbeelding 2. Inspectieprioriteringskaart**

Op deze kaart neemt de inspectieprioriteit toe van laag (groen) naar hoog (rood). Leidingen en verbindingen in de rode gebieden zouden vaker geïnspecteerd dan wel vervangen moeten worden omdat ze gevoeliger zijn voor storingen dan in de groene gebieden.

### Inspectie van verbindingen

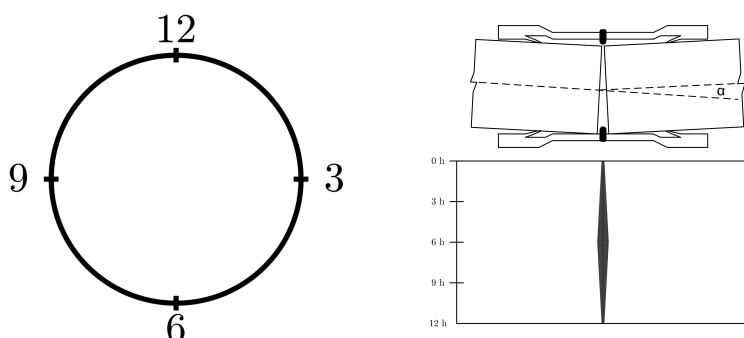
Informatie over de werkelijke conditie van leidingen en verbindingen, gecombineerd met kennis van de faalmechanismen, ondersteunt een goede en kosteneffectieve strategie voor leidingnetonderhoud [11]. Deze informatie moet verzameld worden met niet-destructieve inspectiemethoden (NDI) over de gehele lengte van de leidingen. De inspectie met NDI richt zich op het direct tijdens de inspectie of tijdens een analyse achteraf herkennen van factoren die een negatief effect hebben op de levensduur van de leidingen, maar die nog niet hebben geleid tot het falen van de leiding of de verbinding, de zogenaamde stressfactoren [12]. Hoewel voor een aantal materialen dit soort factoren al zijn bepaald (scheurtjes, roest etc.), zijn deze voor pvc nog betrekkelijk nieuw.

In eerder onderzoek zijn zeven faalmechanismen voor spie-mof-verbindingen bepaald en op basis daarvan een aantal stressfactoren [13]. Eén van de uitgangspunten is dat de uitlijning van de buisdelen in een verbinding een zogenaamde surrogaatparameter is voor de conditie van de verbinding. Twee leidingdelen worden in een pvc verbinding samengevoegd met een dubbele sok. Binnen in de verbinding is er een spleet tussen de beide buisdelen (afbeelding 3).

De uitlijning van een verbinding wordt bepaald met behulp van de spleetwijdte op vier verschillende locaties die worden aangeduid met de klokposities: 3 uur, 6 uur, 9 uur en 12 uur (afbeelding 4, links). Twee hoeken kunnen hiermee bepaald worden, de eerste met de 12-6 uur metingen en de andere met de 9-3 uur metingen (afbeelding 4, rechts).



**Afbeelding 3.** Links: foto van de binnenkant van een 315 mm pvc verbinding De spleet is aangeduid met de pijl. Rechts: onderwaterfoto van de binnenkant van dezelfde pvc verbinding met een CCTV camera.



**Afbeelding 4.** Links: vier klokposities in de leiding. Rechts: benedenwaartse buiging van de verbinding en het resulterende beeld van de spleetwijdte uitgevouwen over de klokposities (beneden). Deze situatie is een negatieve buigingshoek  $\alpha$ . De uitgevouwen waarneming laat de vorm van de spleet zien over de gehele omtrek van de leiding.

De meting wordt uitgevoerd met een NDI techniek. Verschillende NDI's zijn onderzocht. De twee meest geschikte voor het bepalen van de conditie van een pvc verbinding zijn getest in het laboratorium. Dit zijn: ultrasone en visuele inspecties met televisiecamera's (CCTV) en, een daarvan afgeleide techniek, Panorama®. CCTV bleek de beste techniek te zijn, die zowel accurate als reproduceerbare metingen gaf [14].

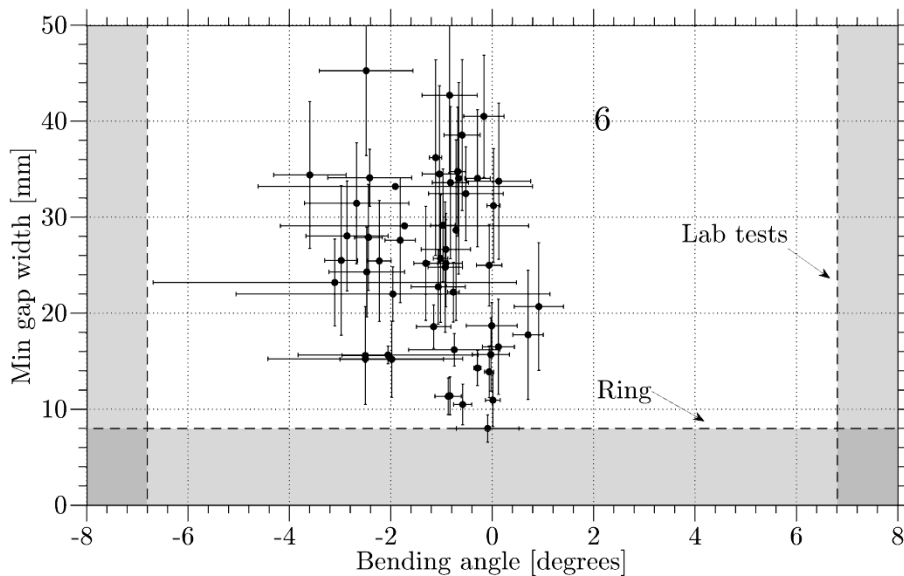
### **Conditiebepaling**

In dit onderzoek is een index voor de conditie van de verbinding (ICV) ontwikkeld. De ICV maakt het mogelijk om de conditie van leidingen onderling te vergelijken [15]. Met deze methode kan elke leiding en elke individuele verbinding worden beoordeeld en op basis daarvan kan worden besloten welke onderhoudsstrategie gevolgd moet worden.

De ICV wordt zowel grafisch als in de vorm van een getal gepresenteerd (afbeelding 5). Het getal kan gelden voor een individuele verbinding, maar ook als beoordeling van de gehele leiding. Er zijn twee parameters om de conditie van de verbinding te beschrijven: de buigingshoek en de inschuifdiepte [16]. In afbeelding 5 is op de y-as de minimale spleetwijdte (MSW) weergegeven, wat een surrogaat is voor de inschuifdiepte. De MSW is ofwel de 12-uur-waarde ofwel de 6-uur-waarde. Op de x-as is de maximale buigingshoek weergegeven, die de optelsom is van de waarden op 12 en 6 uur. De veldmetingen laten zien dat er meer variatie is in de verticale hoeken dan in de horizontale hoeken. Aangenomen wordt dat dit het gevolg van de grondzetting is. Een negatieve hoek betekent dat de spleetwijdte op de 12-uur-positie groter is dan die op de 6-uur-positie. Hierdoor kan een driedimensionale weergave van de uitlijning van de leiding worden verkregen.

De horizontale stippellijn (MSW = 8 mm; aanduiding 'Ring') geeft de breedte van de ring in de verbinding aan. Bij verbindingen op deze lijn raken de leidingdelen de binnenste ring van de verbinding. Als de waarde beneden de lijn ligt dan zijn de leidingdelen over elkaar heen geschoven. De verticale stippellijn geeft de maximaal toelaatbare buigingshoek aan zoals die is bepaald met lab-tests. Voor een diameter van 500 mm is deze maximale buigingshoek  $\pm 6.8^\circ$  (aanduiding 'Lab tests') [16]. Als een verbinding in de grijze gebieden valt, dan heeft deze een hoge kans om te gaan lekken of te breken.

Afbeelding 5 geeft de resultaten van een inspectie van een leiding die vlak daarvoor gebroken was. Omdat de leiding door de breuk ontzet was, was het onmogelijk om de exacte oorzaak en locatie van de breuk (verbinding of het leidingdeel) te bepalen. Van de acht geïnspecteerde leidingen, had deze leiding de hoogste (= slechtste) waardering [17]. Een nadere beschouwing is gegeven in [18].



**Afbeelding 5. De ICV-grafiek presenteert alle data verzameld tijdens de inspectie van een leiding met een diameter van 500 mm**

De verticale stippellijn (buigingshoek =  $\pm 6.8^\circ$ ; aangeduid met 'Lab tests') geeft de maximaal toelaatbare buigingshoek. De horizontale stippellijn (MSW = 8 mm; aangeduid met 'Ring') geeft de breedte van de ring in de verbinding (zie ook Afbeelding 3). Verbindingen in de grijze gebieden worden beschouwd als risicovol voor lekkage of breuk. De 'error bars' geven de standaardafwijking van de MSW en de buigingshoek van de verschillende, herhaalde inspecties. Het getal 6 is het volgnummer van de inspectie.

### Implementatie van de levensduurvoorspellingsprocedure

Met een vier-stappenbenadering kan de levensduurvoorspelling van verbindingen worden ingebracht in het asset management proces van een waterleidingbedrijf. De vier stappen zijn de volgende:

1. Selecteer de beste kandidaten voor conditiebepaling.  
Dit gebeurt op basis van analyse van storingsgegevens, als die voldoende beschikbaar zijn. Eventueel kunnen ook grondzettingsgegevens worden gebruikt in combinatie met de storingsgegevens. Het is niet mogelijk noch noodzakelijk of nuttig om alle leidingen te inspecteren. Een verdere selectie kan worden gemaakt door risicoanalyses uit te voeren waarbij ook de kosten van falen worden meegenomen, bijvoorbeeld door uitgebreide GIS-analyses [19].
2. Inspecteer de verbindingen.  
Met behulp van CCTV moeten de geselecteerde leidingen en verbindingen worden geïnspecteerd.
3. Bepaal de conditie van de leidingen en verbindingen.  
De grafische weergave van de Index voor de conditie van de verbinding (ICV), geeft op eenvoudige wijze een indruk van de slechtste verbindingen en de conditie van de gehele leiding.

4. Herstart het proces.

De levensduurvoorspelling is een iteratief proces. Kritische leidingen en verbindingen moeten verscheidene keren worden geïnspecteerd om het optimale moment van onderhoud vast te stellen en om de dynamica van het verouderings- of zettingsproces vast te stellen.

### Conclusie

Het resultaat van het onderzoek is een vier-stappenbenadering voor drinkwater-distributienetwerkmanagement. Dit is een belangrijk hulpmiddel voor netwerkmanagers. De methode voorziet in een selectie van de kandidaten voor inspectie, geeft een optimale inspectietechniek én een methode om de gegevens zinvol te interpreteren.

### Referenties

- [1] I. N. Vloerbergh and E. J. M. Blokker, "Sharing failure data to gain insight into network deterioration," *Water Asset Manag. Int.*, vol. 6, no. 2, pp. 9–14, 2010.
- [2] M. Dingus, J. Haven, and R. Austin, *Nondestructive, noninvasive assessment of underground pipelines*. Denver (USA): AwwaRF, 2002.
- [3] S. Burn, P. Davis, T. Schiller, B. Tiganis, G. Tjandraatmadja, M. Candy, S. Gould, P. Sadler, and A. K. Whittle, *Long-term performance prediction for pvc pipes*. AwwaRF, 2005.
- [4] C. Reed, A. J. Robinson, and D. Smart, *Potential techniques for the assessment of joints in water distribution pipelines*. Denver (USA): AwwaRF, 2006.
- [5] Y. Arai, A. Koizumi, T. Inakazu, H. Watanabe, and M. Fujiwara, "Study on failure rate analysis for water distribution pipelines," *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 59, no. 6–7, pp. 429–435, Sep. 2010.
- [6] D. De Silva, L. S. Burn, and M. Eiswirth, "Joints in Water Supply and Sewer Pipelines: An Australian Perspective," in *Wagga Wagga*, 2001.
- [7] Y. Hu, H. Q. Vu, and K. Lotfian, "Instrumentation of asbestos cement pipe in expansive soil," in *American Society of Civil Engineering International Pipelines Conference*, 2008, pp. 1–10.
- [8] J. Breen, "Expected lifetime of existing pvc water systems - Summary," Eindhoven, 2006.
- [9] R. F. Hanssen, *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Vol. 2*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, p. 328.
- [10] A. M. Arsénio, P. Dheenathayalan, R. Hanssen, J. H. G. Vreeburg, and L. Rietveld, "Pipe failure prediction in drinking water systems using satellite observations (submitted)," *Struct. Infrastruct. Eng.*, 2013.
- [11] Z. Liu, Y. Kleiner, B. Rajani, L. Wang, and W. Condit, "Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems," Cincinnati (US), US EPA, 2012.
- [12] B. Rajani and Y. Kleiner, "Non-destructive inspection techniques to determine structural distress indicators in water mains," in *Evaluation and Control of Water Loss in Urban Water Networks*, 2004, pp. 1–20.
- [13] A. M. Arsénio, I. Pieterse-Quirijns, J. H. G. Vreeburg, R. de Bont, and L. Rietveld, "Failure mechanisms and condition assessment of pvc push-fit joints in drinking water networks," *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 62, no. 2, p. 78, Mar. 2013.

- [14] A. M. Arsénio, J. Vreeburg, and L. Rietveld, "Quantitative non-destructive evaluation of push-fit joints," *Urban Water J.*, pp. 1–11, Jul. 2013.
- [15] A. M. Arsénio, J. H. G. Vreeburg, and L. Rietveld, "Index of joint condition for pvc push-fit joints (submitted)," *Water Sci. Technol. Water Supply*, 2013.
- [16] A. M. Arsénio, F. Bouma, J. H. G. Vreeburg, and L. Rietveld, "Characterization of pvc joints' behaviour during variable loading laboratory tests (submitted)," *Urban Water J.*, 2013.
- [17] A. M. Arsénio, "Lifetime prediction of pvc push-fit joints," TU Delft (Delft), 2013.
- [18] A. M. Arsénio, J. H. G. Vreeburg, R. de Bont, and H. van Dijk, "Real-life inline inspection of buried pvc push-fit joints," *Water Asset Manag. Int.*, vol. 8, no. 2, pp. 30–32, 2012.
- [19] Y. Kleiner, B. Rajani, and R. Sadiq, "Drinking Water Infrastructure Assessment: The National Research Council of Canada Perspective," *World Environ. Water Resour. Congr. 2009 Gt. Rivers*, pp. 67–67, 2009.