

BTO 2016.029 | Mei 2016

BTO rapport

Toepassing
promotieonderzoek
Levensduurvoorspelling
steekmofverbindingen
voor PVC leidingen

BTO

Toepassing promotieonderzoek Levensduurvoorspelling steekmofverbindingen voor PVC leidingen

BTO 2016.029 | April 2016

Opdrachtnummer

400554.073

Projectmanager

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

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

Auteur(s)

ir. R.H.S. (Ralph) Beuken en B. A. (Bas) Wols

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.
Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie
Ir Ralph Beuken
T 030-6069758
E ralph.beuken@kwrwater.nl

Keywords

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



BTO 2015.xxx(s) | December 2016 © KWR

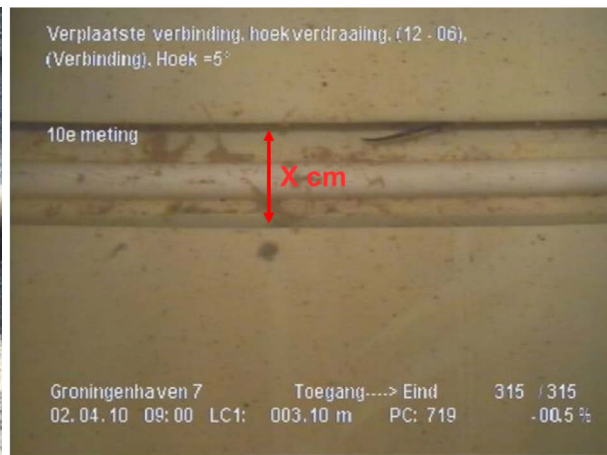
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming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

BTO Managementsamenvatting

Aanbevelingen voor kennisopbouw over verbindingen van PVC leidingen

Auteur(s) ir. R.H.S. (Ralph) Beuken en B. A. (Bas) Wols

Het Nederlandse transport- en distributienet bestaat voor 52% uit PVC leidingen. Hoewel het huidig aantal storingen beperkt is, is het noodzakelijk en wenselijk om de toestand van deze grote groep leidingen te kennen. Verbindingen spelen bij storingen in PVC een belangrijke rol, met name in gebieden met ongelijke zettingen. In 2013 is een promotieonderzoek gedaan naar de levensduurvoorspelling van verbindingen van PVC leidingen. Van de aanbevelingen uit dit promotieonderzoek is onderzocht in hoeverre ze toepasbaar zijn in de praktijk. De volgende acties blijken zinvol: het controleren van de kwaliteit van nieuwe PVC leidingen waarvan falen een relatief grote impact zal hebben, het monitoren van de hoekverdraaiing bij enkele leidingen gedurende enkele jaren en het op projectmatige basis registreren van kenmerken bij breuken op verbindingen met behulp van foto's. Verder wordt aanbevolen te berekenen wat de maximaal toelaatbare hoekverdraaiing is voor verbindingen van PVC leidingen.



Een breuk in een PVC leiding bij een verbinding (links). Een inwendige visuele meting bij een andere leiding van de verschuiving bij een verbinding die de basis is voor het bepalen van de hoekverdraaiing (rechts).

Belang: voldoende kennis over PVC, het meest gebruikte leidingmateriaal

Het Nederlandse transport- en distributienet bestaat voor 52% uit PVC leidingen. Het aantal storingen aan PVC leidingen is beperkt en ook de degradatie van PVC is beperkt: hierdoor is er veel vertrouwen in dit materiaal. Van alle geregistreerde storingen in PVC-leidingen in USTORE is 26% toegeschreven aan verbindingen, in gebieden met veel ongelijke zettingen is dit percentage hoger. Gezien de omvang en de waarde van de bestaande PVC leidingen is inzicht in de toestand en de degradatiemechanismen van belang. Dit geldt met name voor de verbindingen.

In 2013 heeft André Marques Arsénio aan de TU-Delft zijn promotieonderzoek afgerond: *Lifetime prediction of PVC push-fit joints*. In dit onderzoek stelt Arsénio dat hoekverdraaiing, in combinatie met verschuiving in de verbinding, goed te meten is met visuele inline inspectie en beschrijft hij hoe deze metingen zijn in te zetten voor het monitoren van de toestand van PVC leidingen. Binnen het BTO wordt al onderzoek gedaan naar de fysische veroudering van PVC (in samenwerking met Wetsus wordt de inzet van metingen met non-collinear wave mixing onderzocht).

Aanpak: aanbevelingen Arsénio toetsen op praktische toepasbaarheid

De aanbevelingen van Arsénio zijn vertaald in zes mogelijke vervolgstappen, die vervolgens zijn besproken met deskundigen van drinkwaterbedrijven en leidingfabrikanten om te beoordelen of en hoe deze nader kunnen worden uitgewerkt.

Resultaten: vervolgstappen die kunnen bijdragen aan meer kennis en inzicht in (het falen van) PVC

Zes vervolgstappen op basis van het werk van Arsénio zijn beoordeeld en waar nodig verder uitgewerkt:

1. Kritische hoekverdraaiing vaststellen voor steekmofverbindingen in PVC leidingen is mogelijk en zinvol. De beste methode daarvoor is door berekeningen op basis van een eindige elementen methode.
2. Ingangscntroles voor nieuwe PVC leidingen zijn mogelijk en haalbaar tegen beperkte meerkosten. Dit geldt met name voor visueel te inspecteren leidingen (vanaf 160 mm) en leidingen waarvan falen een relatief grote impact zal hebben.
3. Langdurige monitoring van hoekverdraaiing is mogelijk en zinvol, de beste methode daarvoor is het aanbrengen van digitaal uitleesbare rekstroken.
4. Op basis van het aantal storingen en de bestaande kennisregels is het niet zinvol een specifieke geo-analysmethode uit te werken voor het voorspellen van kritische zones voor verbindingen in PVC leidingen in relatie tot zettingsverschillen en leidingkarakteristieken.
5. Storingen als gevolg van hoekverdraaiing aan spie-einden van de buis worden niet geregistreerd als falen van de verbinding. Dit betekent dat het aandeel storingen aan verbindingen hoger is dan de 26% afkomstig uit USTORE. Dit is te verhelpen met betere herkenning en registratie.
6. Arsénio stelt een *Index for Joint Condition* als maat voor de aanwezige hoekverdraaiing over de lengte van een leiding. Deze IJC heeft potentie als indicator om de meest kritische leidingen met oog op hoekverdraaiing te selecteren, maar vergt nadere uitwerking.

Implementatie: ingangscntroles, monitoring en kennisopbouw bij storingen

Om de toestand van PVC leidingen en met name de verbindingen daarin beter te monitoren kunnen waterbedrijven:

- de kwaliteit controleren van verbindingen in nieuwe PVC leidingen met een verhoogde impact bij falen;
- de hoekverdraaiing monitoren bij enkele referentieleidingen gedurende enkele jaren;
- op projectmatige basis kenmerken registreren van breuken in verbindingen door steekproefsgewijs deze breuken te fotograferen.

Daarnaast is het aan te bevelen vervolgonderzoek te doen om:

- de toelaatbare hoekverdraaiing te bepalen voor de meest relevante situaties met behulp van berekeningen;
- door bedrijven verzamelde informatie over monitoring en storingen te analyseren;
- de *Index for Joint Condition* IJC verder uit te werken.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het BTO-rapport *Toepassing promotieonderzoek Levensduurvoorspelling steekmofverbindingen voor PVC leidingen* (BTO-2016.029). Het promotieonderzoek is beschreven in:

Arsénio, A.M. (2013). *Lifetime prediction of PVC push-fit joints*, Ph.D. theses TU-Delft, Delft.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Inhoud | 2 |
| 1 Inleiding | 6 |
| 2 Verkenning toepassing onderzoek Arsénio bij bedrijven | 8 |
| 2.1 Inleiding | 8 |
| 2.2 Vervolgstep 1: vaststellen kritische hoekverdraaiing | 8 |
| 2.3 Vervolgstep 2: Ontwikkelen visuele meting hoekverdraaiing | 9 |
| 2.4 Vervolgstep 3: Langdurig monitoren PVC leiding | 9 |
| 2.5 Vervolgstep 4: Methode om kritische zones te voorspellen | 10 |
| 2.6 Vervolgstep 5: Storingsregistratie: verbeterde herkenning hoekverdraaiing | 10 |
| 2.7 Nadere uitwerking in dit rapport | 11 |
| 3 USTORE-analyse hoekverdraaiing PVC leidingen | 12 |
| 3.1 Inleiding | 12 |
| 3.2 Storingsfrequenties leidingmaterialen | 12 |
| 3.3 Vaststellen hoekverdraaiing in USTORE registratie | 13 |
| 3.4 Storingsfrequentie en veroudering | 14 |
| 3.5 Analyse van storingsfrequentie per bedrijf | 16 |
| 3.6 Synthese | 20 |
| 4 Vervolgstep 1: Inzet FEM voor berekenen maximale hoekverdraaiing | 21 |
| 5 Vervolgstep 2: Ingangsbeoordeling nieuwe PVC leidingen | 25 |
| 6 Vervolgstep 3: Monitoren referentieleidingen | 27 |
| 7 Vervolgstep 4: voorspellen kritische zones | 30 |
| 8 Vervolgstep 5: hoekverdraaiing als oorzaak voor storingen | 32 |
| 9 Vervolgstep 6: Index for Joint Condition | 33 |
| 10 Conclusies en aanbevelingen | 35 |
| 11 Referenties | 37 |
| Bijlage I Aanbevelingen André Arsénio | 38 |

| | |
|--|-----------|
| Bijlage II Antwoorden van bedrijven | 41 |
| Bijlage III Weerstandsmoment buizen en verbindingen | 45 |

1 Inleiding

Het drinkwaterleidingnet in Nederland heeft een totale lengte van 119.000 km, waarvan 62.000 km (52%) bestaat uit PVC (Vewin, 2015). PVC wordt onder normale omstandigheden niet aangetast door drinkwater of door de grond, maar is gedurende de gebruiksduur wel onderhevig aan mechanische en fysische veroudering. Hiervan is mechanische veroudering het belangrijkste; dit verouderingsmechanisme wordt gekarakteriseerd door de “weerstand tegen langzame scheurgroei”. De conditie van PVC leidingen is in het algemeen goed; voor een recente beschrijving van de toestand van het PVC leidingnet, zie Mesman (2015).

In de mechanische belasting van PVC leidingen spelen spanningen in de buiswand als gevolg van bewegingen van de ondergrond een grote rol. Voor deze mechanische belasting zijn vooral ongelijkmatige zettingen van belang. In 2013 is het promotieonderzoek afgerond van André Marques Arsénio (Arsénio, 2013). Dit onderzoek heeft achtergronden en meetmethoden opgeleverd voor het meten van de toestand van steekmofverbindingen van PVC leidingen. Vrijwel alle PVC leidingen in Nederland hebben zogenaamde losse steekmoffen, wat betekent dat de mof niet aan de buis vast zit. Ongelijkmatige zettingen kunnen bij steekmofverbindingen leiden tot horizontale beweging en hoekverdraaiing. Deze combinatie kan leiden tot verhoogde spanningen in de buis of in de mof of het uitschuiven van de buis uit de verbinding. Arsénio concludeert dat hoekverdraaiing en verschuiving goed is vast te stellen door visuele in-line inspectie. Hij stelt een methode voor voor het vastleggen en beoordelen van de toestand van de verbindingen met een index (de Index for Joint Condition of IJC). Daarnaast is ervaring opgedaan met diverse in-line metingen en zijn in samenwerking met een leverancier van PVC-leidingen bezwijkproeven uitgevoerd van steekmofverbindingen. Het promotieonderzoek bevat tevens aanbevelingen over te nemen stappen voor de Nederlandse drinkwatersector zodat de toestand van verbindingen in PVC leidingen gemonitord kan worden (zie Bijlage I).

Voorliggend rapport is een weergave van een onderzoek naar de mogelijke toepassing van de aanbevelingen van het onderzoek van Arsénio voor Nederlandse drinkwaterbedrijven. In dit onderzoek zijn de aanbevelingen van Arsénio met betrekking tot het monitoren van de toestand van PVC verbindingen vertaald in zes mogelijke vervolgstappen:

1. Stel vast wat de kritische hoekverdraaiing is voor steekmofverbindingen in PVC leidingen (welke hoek voor welk type buis, in combinatie met de mate van insteking van de spie in de mof).
2. Ontwikkel een praktische en kosteneffectieve meting van de hoekverdraaiing, passend bij de besluitvorming over het vervangen van leidingen.
3. Onderzoek de haalbaarheid van een nulmeting voor een steekproef van nieuwe PVC leidingen om daarmee:
 - a. de aanlegkwaliteit vast te stellen;
 - b. de hoekverdraaiing over langere tijd te monitoren.
4. Ontwikkel een methode om kritische zones te voorspellen met het oog op hoekverdraaiing in relatie tot zettingsverschillen en leidingkarakteristieken.
5. Ontwikkel ten behoeve van de storingsregistratie een werkwijze voor verbeterde herkenning van storingsveroorzaakt door hoekverdraaiing.
6. Ga na of de Index for Joint Condition (IJC) een nuttig hulpmiddel is om de mate van hoekverdraaiing in uit te drukken.

Om de aanbevelingen van Arsénio te toetsen aan de wensen en mogelijkheden van drinkwaterbedrijven, zijn deze aan hen voorgelegd voor commentaar en prioritering. De weergave hiervan is beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 is een analyse van de geregistreerde storingen in USTORE op PVC leidingen gegeven. Hiermee kan de impact en omvang van het falen van PVC verbindingen worden gekwantificeerd. Een dergelijke analyse was ten tijde van de uitvoering van het promotieonderzoek nog niet mogelijk omdat toen de omvang van de USTORE database nog relatief bescheiden was. In de hoofdstukken 4 tot en met 9 wordt de mogelijke toepassingen besproken. Hoofdstuk 10 bevat conclusies en aanbevelingen.

2 Verkenning toepassing onderzoek Arsénio bij bedrijven

2.1 Inleiding

Aan de zes drinkwaterbedrijven die deel uitmaken van de Begeleidingsgroep Distributie (Brabant Water, Dunea, Evides, PWN, Vitens en WMD) is gevraagd hun mening te formuleren over de mogelijke vervolgstappen (met uitzondering van de Index for Joint Condition) op het onderzoek van Arsénio (2013). Hierop is door vier bedrijven gereageerd. Voor de individuele antwoorden van experts van de vier bedrijven, zie Bijlage II. De toelichting op de vraagstelling en een samenvatting van de antwoorden van experts van drinkwaterbedrijven zijn in dit hoofdstuk weergegeven. Om de meningen van experts te vergelijken, zijn aan de antwoorden punten toegekend. Deze variëren in belang van 1 voor “zeer laag” tot 5 voor “zeer hoog”.

2.2 Vervolgstep 1: vaststellen kritische hoekverdraaiing

Arsénio (2013) heeft bij de leidingfabrikant DYKA twaalf buigproeven uitgevoerd op verbindingen van PVC leidingen door een hoekverdraaiing op te leggen oplopend van 0° tot 12°. Deze buigproeven werden uitgevoerd voor de volgende situaties:

- 2 verschillende diameters: 110 mm en 315 mm;
- 2 verschillende inwendige hydrostatische drukken: geen druk en 0,4 MPa;
- 3 verschillende instekingsdiepten van de spie in de mof: maximaal, halverwege en minimaal.

Het was de bedoeling om voor deze twaalf buigproeven hoekverdraaiingen vast te stellen waarbij bezwijking zou optreden. In geen van de twaalf buigproeven trad bezwijking (scheurvorming) op van de mof of de spie. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk dat PVC in staat is om gedurende relatief korte tijd hoge spanningen op te nemen (Mesman, 2015). In de praktijk zal een PVC verbinding met een verhoogde belasting pas na een langere tijd bezwijken. Dit fenomeen is bekend als het langetermijngedrag van PVC leidingsystemen en is uitvoerig beschreven in Boersma en Breen (2006). Voor het vertalen van resultaten van een bezwijkproef naar praktijksituaties is het daarom nodig om dit tijdseffect mee te nemen. Dit is mogelijk met de relatie tussen de tijd en de toelaatbare spanning die gevonden wordt uit de proeven voor weerstand tegen langzame-scheurgroei. Deze relatie blijkt echter sterk bepaald te zijn door de specifieke productiewijze en is daarom niet te vertalen naar generieke kennisregels op basis van bijvoorbeeld fabrikant, jaar van aanleg, etc. Daarnaast geldt dat bezwijkproeven kostbaar zijn, aangezien voor een betrouwbaar resultaat meerdere belastingsituaties meerdere keren getest moet worden.

Een alternatief voor bezwijkproeven is het uitvoeren van gedetailleerde sterkteberekeningen, bijvoorbeeld met behulp van de eindige-elementenmethode (Finite Element Method, of FEM). Voor een nadere toelichting op FEM, zie Wols (2015). Hiermee kunnen voor diverse belastingsituaties de kritische hoekverdraaiing worden bepaald. Opgemerkt wordt dat dit vrij complexe berekeningen betreffen aangezien er sprake is van de interactie tussen twee materialen (PVC en rubber), lokale belastingen waarbij relaxatie en plastische vervorming dient te worden betrokken, alsmede het langeduurbezwijk-effect van PVC.

Met behulp van berekeningen kunnen situaties geïdentificeerd worden met een verhoogde kans op ontoelaatbare spanningen. Met deze resultaten is het mogelijk om:

- bij visuele inspecties meetwaarden voor hoekverdraaiing en insteking te beoordelen aan de hand van normwaarden die afhankelijk zijn van karakteristieken van de leiding, de bodem en de belastingsituatie;
- kritische situaties te identificeren, waar hogere spanningen zijn te verwachten op basis van karakteristieken van de leiding, de bodem en de belastingsituatie.

Experts van bovengenoemde drinkwaterbedrijven hebben het belang geschat van een normgetal voor hoekverdraaiing om inspecties te kunnen beoordelen. Uit de antwoorden blijkt dat de experts dit als van hoog belang inschatten (gemiddeld 4¼ punt). De experts geven aan dat dit normgetal noodzakelijk is voor het beoordelen van visuele metingen. Drie van de vier experts geven tevens aan dat FEM berekeningen een goed alternatief kunnen zijn als bezwijkproeven kostbaar of praktisch moeilijk uitvoerbaar zijn.

2.3 Vervolgstep 2: Ontwikkelen visuele meting hoekverdraaiing

Arsénio geeft aan dat het meten van hoekverdraaiing en insteking goed mogelijk is met een in-line visuele meting (CCTV). In zijn onderzoek kenschetst hij de resultaten als accuraat en reproduceerbaar. CCTV metingen zijn mogelijk in natte en droge leidingen met een interne diameter vanaf 160 mm¹. In geval van een meting in een natte buis mag er geen opwerveling van sediment plaatsvinden. Daarnaast moet het voor drinkwaterbedrijven inzichtelijk zijn dat de kosten van de meting lager zijn dan het voordeel (monetair en niet-monetair) dat er met deze meting behaald kan worden.

Aan experts van bedrijven is gevraagd of zij toegevoegde waarde zien in de toepassing van visuele metingen van de hoekverdraaiing in PVC leidingen in bestaande leidingen en in nieuwe leidingen. Experts van drinkwaterbedrijven geven onderstaande meningen.

- Er is voor bestaande leidingen behoefte aan in-line inspectiemethoden voor het vaststellen van hoekverdraaiing en insteking van PVC verbindingen. Het belang hiervan wordt middelhoog ingeschat (gemiddeld 2¾ punt). Visuele technieken wil men bij voorkeur toegepast hebben in combinatie met overige inspectiemethoden zoals locatiebepaling of een nog te ontwikkelen toestandsbepaling voor PVC. In geval van de ontwikkeling van robots zal het mogelijk zijn visuele meting uit te voeren in kleinere diameters.
- Er is geen behoefte aan de ontwikkeling van nieuwe eenvoudige meetapparatuur, bijvoorbeeld lasers, om de hoekverdraaiing te meten in geval toegang wordt verkregen tot de leiding bij een leidingbreuk of een inbouw (gemiddeld 1¼ punt).
- Er is behoefte aan het uitvoeren van een ingangsbeoordeling bij nieuwe leidingen. Een ingangscntrole vindt plaats voordat het laatste buisdeel wordt geplaatst. Hierbij wordt het werk van de aannemer gecontroleerd en wordt de nulsituatie vastgelegd. De behoefte hiervan wordt middelhoog ingeschat (gemiddeld 3¼ punt), hoewel nader onderzocht moet worden of deze meetmethode toegevoegde waarde heeft boven het reeds bestaande toezicht bij leidingaanleg.

2.4 Vervolgstep 3: Langdurig monitoren PVC leiding

Door gedurende een langere tijd en voor een aantal referentieprojecten hoekverdraaiingen en verschuivingen bij verbindingen te meten ontstaat inzicht in de mate van hoekverdraaiing over de tijd en kunnen leidingen onder verschillende omstandigheden vergeleken worden. De monitoring kan plaatsvinden door regelmatige (bijvoorbeeld jaarlijkse) inspecties uit te voeren of door het aanleggen van een glasvezel of rekstrookjes die bewegingen bij verbindingen registreren. Een dergelijk project kan dienen als demonstratieproject over wat technologisch mogelijk is.

¹ mededeling per mail op 26-2-2016 van Marco Griffioen, M.J. Oomen Groep

Arsénio (2013) heeft in zijn onderzoek een monitoring uitgevoerd van een 250 mm PVC leiding bij PWN met een lengte van 1.250 m. Het onderzoek vond plaats tussen september 2011 en juni 2013. Monitoring heeft plaatsgevonden met verplaatsingsmeters die op vier klokposities waren gemonteerd. Verplaatsingsmeters zijn geavanceerde metingen die permanente meting mogelijk maken. Hierbij was het mogelijk om verplaatsingen te relateren aan drukgolven als gevolg van waterslag en aan temperatuur. Een groot aantal verplaatsingsmeters bleek na enige tijd niet meer te functioneren. Vooral na een vorstperiode werden problemen geconstateerd. Om die reden is er geen nadere relatie bepaald tussen verplaatsingen en bodembewegingen en zijn de verplaatsingsmetingen niet gevalideerd met in-line metingen. Wel zijn verplaatsingen gemeten als gevolg van temperatuurverschillen. Deze bedroegen maximaal 2,5 mm. De gemeten verplaatsing op dagelijkse basis als gevolg van drukwisselingen bedroeg ordegrrootte 0,25 - 0,50 mm.

Aan de experts van drinkwaterbedrijven is gevraagd de toepassingsmogelijkheden aan te geven voor het langdurig monitoren van hoekverdraaiing en insteking in een beperkt aantal PVC referentieleidingen. Bedrijven geven hieraan een middelhoge score (gemiddeld 2¾ punt). Tevens is gevraagd hoe de experts de mogelijkheden inschatten voor het uitvoeren van een dergelijke monitoring bij hun bedrijf. De kansen hierop worden door drie bedrijven als vrij hoog ingeschat. Een dergelijk project sluit goed aan bij mogelijke initiatieven voor de Vitens Innovation Playground.

2.5 Vervolgstep 4: Methode om kritische zones te voorspellen

Bepaalde belastingsituaties in combinatie met omstandigheden van de bodem en de leiding kunnen resulteren in een grotere kans op hoekverdraaiing boven een toelaatbare waarde. Rekenmodellen, wellicht aangevuld met lokale expertkennis, kunnen helpen belangrijke bepalende factoren te identificeren. Hierbij kunnen ook de zettingenkaart of satellietmetingen informatie verschaffen. Met behulp van GIS is het mogelijk een kanskaart op te stellen. Een combinatie met effectfactoren, gebaseerd op bestaande effectanalyses bij bedrijven, kan resulteren in een risicokaart voor falen van verbindingen van PVC leidingen. Deze aanpak zou gecombineerd moeten worden met de rekenexercities uit te voeren onder paragraaf 2.2.

De experts hebben het belang ingeschat van het ontwikkelen van een methode om kritische zones te voorspellen voor falen van verbindingen. Deze methode hoeft zich niet te beperken tot PVC leidingen. Bedrijven geven hieraan een middelhoge score (gemiddeld 2¾ punt). Onderstaande opmerkingen zijn geplaatst.

- Genoemde activiteiten worden naar vernoemd uitgevoerd in het project STOOP en dubbel werk dient voorkomen te worden.
- De aanpak is van belang, het is geen onderzoeksvraag maar een activiteit die bedrijven zelf al kunnen uitvoeren.

2.6 Vervolgstep 5: Storingsregistratie: verbeterde herkenning hoekverdraaiing

Om beter te weten hoe vaak en in welke specifieke situaties falen door hoekverdraaiing optreedt, kan een analyse met USTORE-data worden uitgevoerd. Voor het herkennen van falen door hoekverdraaiing of uitschuiving bij niet trek-vaste steekmoffen van PVC leidingen als gevolg van zettingen, dienen onderstaande registratiekenmerken te worden aangegeven en te worden bepaald wat hiervan de relatieve omvang is.

Materiaal: PVC

1. Getroffen object: Verbinding
 - a. Type verbinding: niet-trekvast steek
 - i. Aard storing:
 - ↪ Verbinding scheur: verdraaiing en/of in- of uitschuiving
 - ↪ Verbinding schuif: uitschuiving
2. Oorzaak storing: Uitwendige belasting
 - b. Oorzaak uitwendige belasting: zetting

Aan experts van bedrijven is gevraagd of het mogelijk is falen van een verbinding door hoekverdraaiing of uitschuiving te herkennen op basis van bovengenoemde registratiekenmerken. Als dit niet het geval is, doet zich de vraag voor of falen door hoekverdraaiing of uitschuiving beter op een andere wijze is vast te stellen.

De experts geven aan dat zij geen andere wijze kennen om falen door hoekverdraaiing vast te stellen dan met het doorlopen van de genoemde stappen. Falen als gevolg van een zetting van de ondergrond is door een monteur in het veld moeilijk vast te stellen. Het is de vraag wat de waarde is van de huidige registratie met USTORE voor het herkennen van falen aan verbindingen door hoekverdraaiing of uitschuiving.

2.7 Nadere uitwerking in dit rapport

In dit hoofdstuk zijn mogelijke vervolgstappen uit het promotieonderzoek van André Arsénio voorgelegd aan van experts van drinkwaterbedrijven. In de hoofdstukken 4 tot en met 8 wordt de mogelijke toepassing beschreven van deze vervolgstappen, waarbij kennis van KWR en van de experts is meegenomen. Hierbij een andere verdeling aangehouden van de vervolgstappen zoals aangegeven in Hoofdstuk 1. In aanvulling op de in het projectplan genoemd vervolgstappen, wordt in hoofdstuk 9 een bespreking gegeven van de toepassing van de door Arsénio (2013) voorgestelde Index for Joint Condition (IJC).

3 USTORE-analyse hoekverdraaiing PVC leidingen

3.1 Inleiding

Storingsgegevens uit USTORE zijn geanalyseerd om na te gaan in hoeverre het mogelijk is uitspraken te doen over de impact en verschijningsvorm van falen van PVC leidingen als gevolg van hoekverdraaiing en uitschuiving. Het mechanisme dat hier wordt beschreven is falen als gevolg van bewegingen in de bodem. Deze bewegingen kunnen leiden tot hoekverdraaiing en/of verschuiving (inschuiving of uitschuiving) van verbindingen. Hierbij spelen twee faalwijzen een rol:

- Mechanisch bezwijken door hoge puntbelastingen als gevolg van hoekverdraaiing en/of verschuiving (vooral inschuiving);
- lekkage van de verbinding door uitschuiving van de buis uit de mof.

In deze analyse worden de volgende begrippen gehanteerd²:

- Totale storingsfrequentie (S_T): storingsfrequentie gebaseerd op alle storingen.
- Spontane storingsfrequentie (S_S): storingsfrequentie, waarbij storingen met een storingsoorzaak 'veroorzaakt door derden' buiten beschouwing zijn gelaten.
- Spontane storingsfrequentie in beheerfase ($S_{S,B}$): storingsfrequentie, waarbij storingen met een storingsoorzaak 'veroorzaakt door derden' en 'aanleg/montagefout' buiten beschouwing zijn gelaten.
- Verbindinggerelateerde spontane storingsfrequentie in beheerfase ($S_{S,B,V}$): waarbij storingen met een storingsoorzaak 'veroorzaakt door derden' en 'aanleg/montagefout' buiten beschouwing zijn gelaten en waarbij het getroffen object 'verbinding' is.

De analyses betreffen geregistreerde storingen uit de periode 2010 t/m 2015. De registraties uit 2009 zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dat jaar nog slechts vijf bedrijven deelnamen aan USTORE en in dat jaar de storingskenmerken minder volledig zijn ingevuld.

In dit hoofdstuk wordt een aantal analyses gepresenteerd: in paragraaf 3.2 wordt de storingsfrequentie van verschillende leidingmaterialen vergeleken, in paragraaf 3.3 wordt nagegaan in hoeverre hoekverdraaiing is vast te stellen in USTORE, in paragraaf 3.4 wordt nagegaan of met behulp van USTORE veroudering van PVC is vast te stellen en in paragraaf 3.5 worden storingskenmerken nader geanalyseerd. Paragraaf 3.6 geeft een synthese van de storingsanalyses.

3.2 Storingsfrequenties leidingmaterialen

Op basis van de USTORE-data is een overzicht gemaakt van de totale storingsfrequentie (S_T) en de spontane storingsfrequentie (S_S) van de belangrijkste leidingmaterialen, zie Tabel 3-1. Voor PVC (inclusief biaxiaal verstrekt PVC) valt op dat S_T en S_S relatief laag zijn. Bij alle leidingmaterialen, met uitzondering van NGIJ, bedraagt het verschil tussen S_T en S_S ongeveer 0,01 st/km/jaar. Waarschijnlijk is dit een grootte die onafhankelijk is van het leidingmateriaal en die wordt bepaald door externe omstandigheden.

² De termen tussen aanhalingstekens verwijzen naar de gehanteerde definities in USTORE.

TABEL 3-1 TOTALE EN SPONTANE STORINGSFREQUENTIES VAN DE BELANGRIJKSTE LEIDINGMATERIALEN, BEREKENINGEN OP BASIS VAN USTORE DATABASE VAN 26-2-2016 MET BEHULP VAN USTOREWEB.

| Leidingmateriaal | Lengteaandeel in USTORE | S_T | S_S | Vershil S_T en S_S | Aandeel S_S |
|--------------------|----------------------------|-------|-------|------------------------|---------------|
| AC | 33,9% | 0,079 | 0,067 | 0,011 | 85,5% |
| Grijs gietijzer | 8,8% | 0,060 | 0,052 | 0,008 | 87,7% |
| Nodulair gietijzer | 5,2% | 0,013 | 0,010 | 0,003 | 73,3% |
| PE | 5,5% | 0,023 | 0,011 | 0,012 | 47,8% |
| PVC en PVC-V | 42,0% | 0,025 | 0,015 | 0,011 | 57,2% |
| Alle materialen | | 0,049 | 0,039 | 0,010 | 79,3% |

3.3 Vaststellen hoekverdraaiing in USTORE registratie

Om beter te weten hoe vaak en in welke specifieke situaties falen door hoekverdraaiing optreedt, is een analyse met USTORE-data uitgevoerd. Voor het herkennen van falen door hoekverdraaiing of uitschuiving bij niet-trek-vaste steekmoffen van PVC leidingen als gevolg van zettingen, dienen onderstaande registratiekenmerken te worden aangegeven en te worden bepaald wat hiervan de relatieve omvang is.

Materiaal: PVC

1. Getroffen object: Verbinding
 - c. Type verbinding: niet-trekvast steek
 - i. Aard storing:
 - ↳ Verbinding scheur: verdraaiing en/of in- of uitschuiving
 - ↳ Verbinding schuif: uitschuiving
2. Oorzaak storing: Uitwendige belasting
 - d. Oorzaak uitwendige belasting: zetting

In overeenstemming met de gemaakte afspraken in Vloerbergh (2008), worden storingen alleen aan verbindingen toegewezen als er sprake is van falen van de mof (het verbindingstuk). Storingen die optreden door het bezwijken van het spie-eind worden als falen van de buis geregistreerd. De achtergrond hiervan is dat bij het registreren van storingen het moeilijk is vast te stellen of een lengtescheur zijn oorsprong heeft in het buis-deel of in het spie-deel (ter plaatse van de verbinding).

In USTORE zijn tussen 2010 en 2015 op PVC leidingen (inclusief biaxiaal verstrekt PVC) 3294 storingen geregistreerd, zie ook Tabel 3-2. Van deze storingen zijn er 860 toegewezen aan verbindingen, waarvan 411 aan niet-trekvaststeekverbindingen (48%). Opgemerkt wordt dat van alle verbindingen het verbindingstype is geregistreerd. Van de niet-trekvaststeekverbindingen zijn in Tabel 3-2 de storingsoorzaken weergegeven. Van deze 411 storingen hebben er 116 (28%) als oorzaak 'uitwendige belasting'. Deze groep bedraagt slechts 4% van alle storingen op PVC leidingen. Het aandeel niet-trekvaststeekverbindingen van 48% is lager dan verwacht mag worden. Dit zal waarschijnlijk veroorzaakt worden omdat vaak verbindingstype 'Anders' wordt ingevuld. Als wordt aangenomen dat 80% van de verbindingen niet-trekvast is, dan betreft deze groep 6% van alle storingen op PVC leidingen.

TABEL 3-2 AANTAL STORINGEN IN USTORE (26-2-2016) PVC LEIDINGEN MET NIET-TREKVASTE VERBINDING, ONDERVERDEELD NAAR OORZAAK EN AARD STORING.

| Kenmerk | Aantal | Aandeel | Aard | Aantal | Aandeel |
|-----------------------------------|--------|---------|---------------------|--------|---------|
| Alle storingsen PVC | 3294 | | Verb. uitgeschoven | 264 | 66,5% |
| Waarvan, verbindingen | 860 | 26,1% | Koppeling gescheurd | 88 | 22,2% |
| Waarvan, verbinding niet-trekvast | 411 | 12,5% | Anders | 20 | 5,0% |
| PVC verbinding, niet-trekvast | | | Flenspakking | 14 | 3,5% |
| Oorzaak | | | Rubber afdichting | 8 | 2,0% |
| Uitwendige belasting | 116 | 28,2% | geen waarde | 3 | 0,8% |
| Fout aanleg | 107 | 26,0% | Lasverbinding | 0 | 0,0% |
| Derden | 89 | 21,7% | | | |
| Onbekend | 62 | 15,1% | | | |
| uitwendige aantasting | 22 | 5,4% | | | |
| Anders | 9 | 2,2% | | | |
| Inwendige aantasting | 6 | 1,5% | | | |
| Niet ingevuld | 0 | 0,0% | | | |

NB Vanwege een tussentijdse upload van storingsdata verschilt de som storingsaard (397) van de som storingsoorzaak (411).

In Tabel 3-2 is ook de aard van de storingsen weergegeven. Hier blijkt dat 67% van de geregistreerde storingsen aan verbindingen optreden in de vorm van het uitschuiven van de verbinding. Het scheuren van de verbinding treedt op in slechts 23% van de storingsen.

Verbindingen hebben een grotere sterkte dan de spie-einden van een buis, zie ook Bijlage III. Het is daarom waarschijnlijk dat hoekverdraaiing en verschuiving als gevolg van ongelijkmatige zettingen tot meer breuken leiden in het spie-eind van de buis dan op grond van deze USTORE analyse is aan te geven. Het aandeel van 26,1% van 'storingsen op verbindingen' dient geïnterpreteerd te worden als 'storingsen op moffen'. Het daadwerkelijk aandeel storingsen op verbindingen zal om die reden waarschijnlijk hoger zijn. Het nauwkeurig bepalen van de impact van storingsen door hoekverdraaiing en verschuiving met USTORE is daarom niet goed mogelijk.

In Tabel 3-2 worden 3294 storingsen vermeld op PVC leidingen. De bijbehorende S_T bedraagt 0,0248 storingsen per km per jaar. Bij een aanname van gemiddelde buislengte van 8 m (er zijn leidinglengten van 5 en 10 m), betekent dit dat 26,1 % van de storingsen die zijn toegewezen aan verbindingen, overeenkomen met een faalkans van één storing per 19.300 verbindingen per jaar.

Opgemerkt wordt dat bij de storingsregistratie ook niet-logische waarden zijn ingevoerd, zoals uitwendige en inwendige aantasting van PVC (totaal 7%) en falen van flenspakkingen in PVC verbindingen (4%).

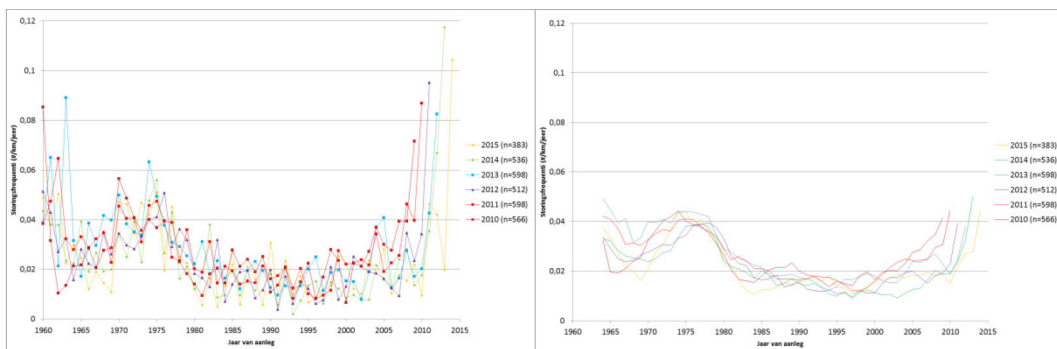
3.4 Storingsfrequentie en veroudering

In USTORE is data over storingsen aanwezig over een periode van zeven jaar (vanaf 2009 tot en met 2015). Als er gedurende die periode een toename van de storingsfrequentie wordt waargenomen, is dit een indicator voor tijdsgebonden degradatie van leidingen. Er wordt daarbij van uitgegaan dat in die periode geen grote verandering van het cohort PVC heeft

plaatsgevonden. Worden juist die leidingen vervangen waar veel storingen zijn opgetreden, dan beïnvloedt dat ook de storingsfrequentie.

In Figuur 3-1 is de S_T per registratiejaar weergegeven voor PVC leidingen. Aan de linkerkant zijn de jaarlijkse storingsfrequenties weergegeven. Aan de rechterkant de vijfjaarlijkse voortschrijdende gemiddelden. Uit beide figuren valt niet op te maken dat de S_T toeneemt gedurende de registratieperiode. Er is hier dus geen aanwijzing dat er sprake is van een tijdsgebonden degradatie van PVC leidingen. Dit beeld komt ook naar voren uit de berekende S_T per registratiejaar in Tabel 3-3.

In Figuur 3-1 blijkt dat PVC leidingen in de eerste 3 jaar na aanleg een aanzienlijk verhoogde S_T hebben. Tevens blijkt een verhoogde S_T in de jaren zeventig en voor 1965.



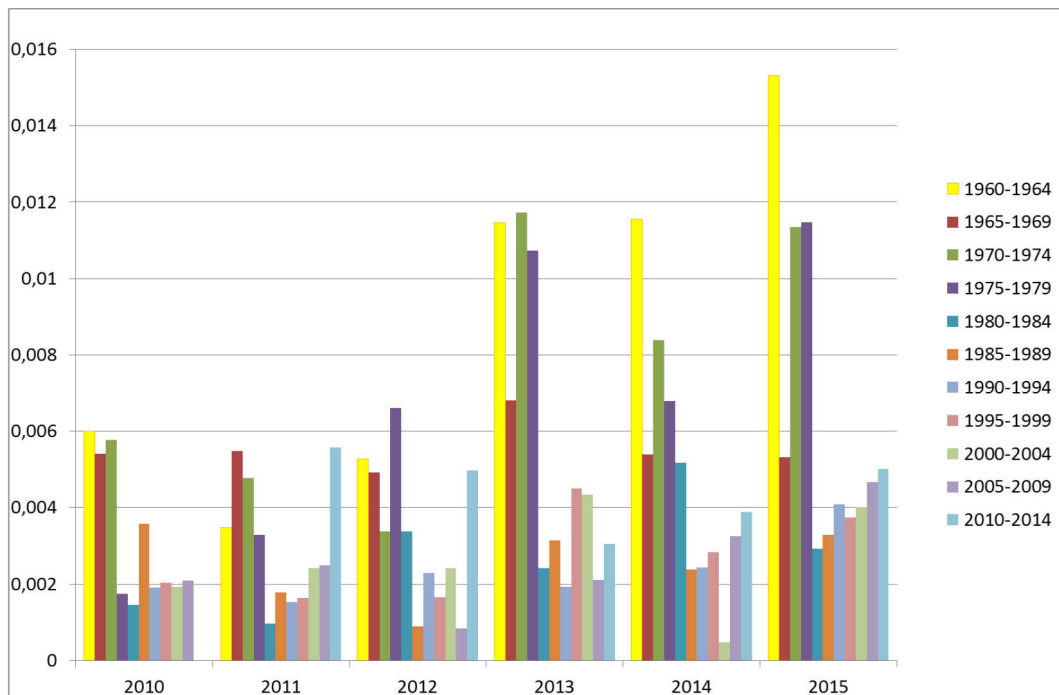
FIGUUR 3-1 TOTALE STORINGSFREQUENTIE PVC LEIDINGEN VAN 2010 TOT EN MET 2015, WAARDEN PER JAAR (LINKS) EN VIJFJARIG VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE (RECHTS).

TABEL 3-3 GEMIDDELDE STORINGSFREQUENTIE PER REGISTRATIEJAAR, VOOR DE INDEX GELDT: 100 = GEMIDDELDE STORINGSFREQUENTIE VAN 2010 TOT EN MET 2015.

| Registratiejaar | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Gem S_T | 0,030 | 0,026 | 0,023 | 0,027 | 0,024 | 0,023 |
| Index | 119 | 104 | 93 | 107 | 95 | 94 |
| Gem $S_{S,B,V}$ | 0,0035 | 0,0027 | 0,0031 | 0,0053 | 0,0045 | 0,0063 |
| Index | 94 | 71 | 82 | 141 | 120 | 168 |

Bovenstaande analyse is tevens uitgevoerd voor PVC leidingen met het oog op storingen aan verbindingen en met een storingsoorzaak anders dan door derden en door fouten bij aanleg (VSSFB). Omdat dit een beperkter aantal storingen betreft, is de analyse uitgevoerd voor perioden van vijf jaar. In Figuur 3-2 zijn de resultaten weergegeven gegroepeerd per registratiejaar. Omdat hier geen aaneengesloten jaren worden gepresenteerd maar tijdvakken, is een balkengrafiek weergegeven.

In Figuur 3-2 blijkt dat gedurende de periode van registratie een toename is te zien van de $S_{S,B,V}$ van oudere leidingen, vooral de perioden 1960-1964 en 1970 - 1979. Deze toename is ook te zien in de geleidelijke toename van de $S_{S,B,V}$ in Tabel 3-3. Deze toename kan niet worden toegeschreven aan een verandering van het registratieprotocol. Deze toename van de $S_{S,B,V}$ bij oudere leidingen, waarbij tijdsafhankelijke elementen zoals storingen veroorzaakt door derden of tijdens de aanleg zijn uitgesloten, geeft aan dat het zinvol is het verloop van de storingsfrequentie op specifieke deelverzamelingen meer structureel te monitoren. In een dergelijke analyse zal ook aandacht dienen te zijn voor onzekerheden van resultaten.



FIGUUR 3-2 VERBINDINGGERELATEERDE SPONTANE STORINGSFREQUENTIE IN BEHEERFASE ($S_{s,B,V}$) PER REGISTRATIEJAAR.

3.5 Analyse van storingsfrequentie per bedrijf

In onderstaande paragrafen is een USTORE-analyse beschreven met een Python-script op een download van de USTORE dataset van 06-11-15. Het doel is na te gaan of er verschillen zijn te onderscheiden tussen storingsfrequentie van PVC leidingen van verschillende drinkwaterbedrijven. Hierbij zijn onderstaande kanttekeningen te maken:

- Deze selectie is voor de storingen op leidingen aangelegd vanaf 1950 en met een diameter tussen 50 en 800 mm.
- Dit betreffen leidingen van PVC en van bi-axiaal verstrekt PVC.
- Omdat Waternet geen onderscheid maakt tussen storingen op buizen en verbindingen zijn deze gegevens buiten beschouwing gelaten.

Vanwege bovenstaande redenen wijken de gepresenteerde waarden iets af van die in Tabel 3-1 .

3.5.1 Totale en spontane storingsfrequentie

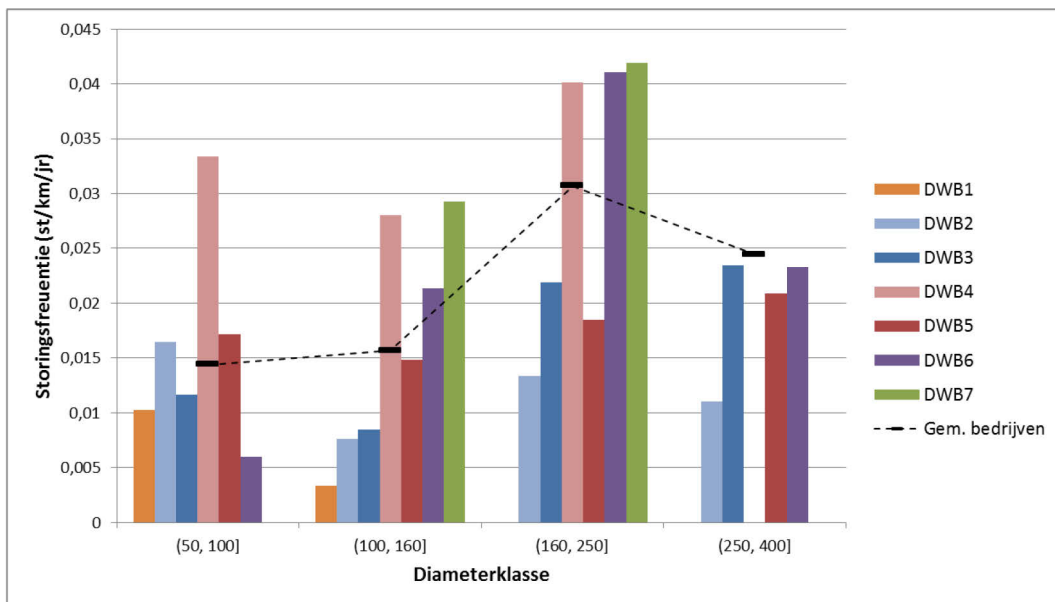
In de USTORE database van 06-11-2015 zijn in totaal 3320 storingen geregistreerd die zijn toegewezen aan PVC leidingen. Van deze storingen zijn er 2308 (70 %) geregistreerd als spontane storingen. Op basis van de jaarlijks opgegeven leidinglengten, resulteert dit in een S_t van 0,028 storingen/km/jaar en een S_s van 0,019 storingen/km/jaar.

3.5.2 Spontane storingsfrequentie in beheerfase

Van de 2308 spontane storingen hebben volgens de registratie 326 storingen de storingsoorzaak 'aanlegfout'. De resterende 1982 storingen resulteren in een $S_{s,B}$ van 0,017 storingen/km/jaar.

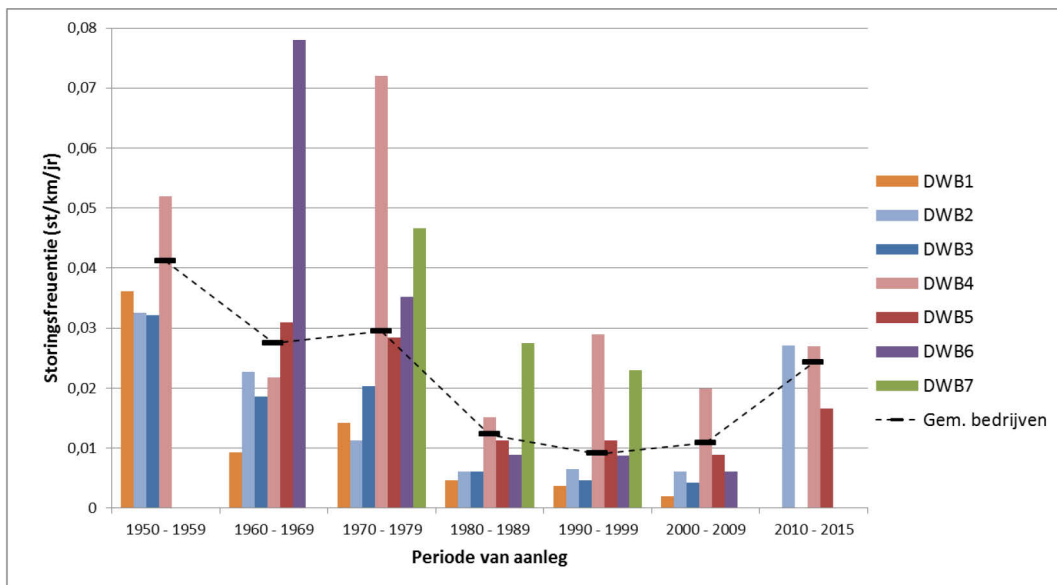
In Figuur 3-3 is een overzicht gegeven van de $s_{S_{s,B}}$ voor PVC leidingen, uitgesplitst per drinkwaterbedrijf (geanonimiseerd) en per diameterklasse. Er zijn alleen storingsfrequenties

weergegeven als de combinatie van bedrijf en diameterklasse tien storings of meer bevat. Uit Figuur 3-3 blijkt dat de gemiddelde $S_{s,B}$ voor leidingen groter dan 160 mm relatief hoog is. Dit beeld is ook te zien bij vrijwel alle individuele bedrijven. De verschillen tussen bedrijven zijn aanzienlijk. DWB1, DWB2 en DWB3 zijn bedrijven met minder zettingsgevoelige bodems en zij hebben voor de meeste combinaties een lagere storingsfrequenties. Dit geldt echter niet voor DWB4, dat relatief hoge storingsfrequenties heeft terwijl het weinig zettingsgevoelige gronden kent. Wellicht dat hier de hogere waterdruk een rol speelt.



FIGUUR 3-3 SPONTANE STORINGSFREQUENTIES IN BEHEERFASE ($S_{s,B}$) VAN PVC LEIDINGEN, UITGESPLITST PER DRINKWATERBEDRIJF EN DIAMETERKLASSE.

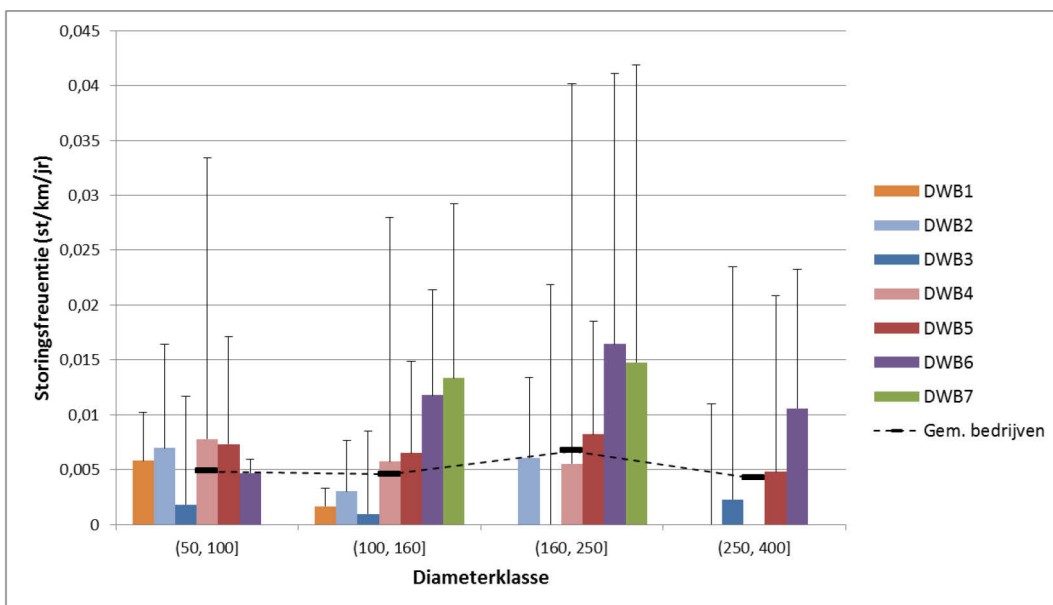
In Figuur 3-4 is een overzicht gegeven van de $S_{s,B}$ voor PVC leidingen, uitgesplitst per drinkwaterbedrijf en per periode van aanleg. Er zijn alleen storingsfrequenties berekend als de combinatie van bedrijf en aanlegperiode vijf storings of meer bevat. Uit Figuur 3-4 blijkt een hogere $S_{s,B}$ hoger in de periode van 1950 tot 1979. In de jaren zestig heeft DWB6 een relatief hoge $S_{s,B}$ en in de jaren zeventig DWB4, DWB6 en DWB7. Ook hier hebben DWB1, DWB2 en DWB3 de laagste storingsfrequentie.



FIGUUR 3-4 SPONTANE STORINGSFREQUENTIES IN BEHEERFASE ($S_{s,B}$) VAN PVC LEIDINGEN, UITGESPLITST PER DRINKWATERBEDRIJF EN AANLEGPERIODE.

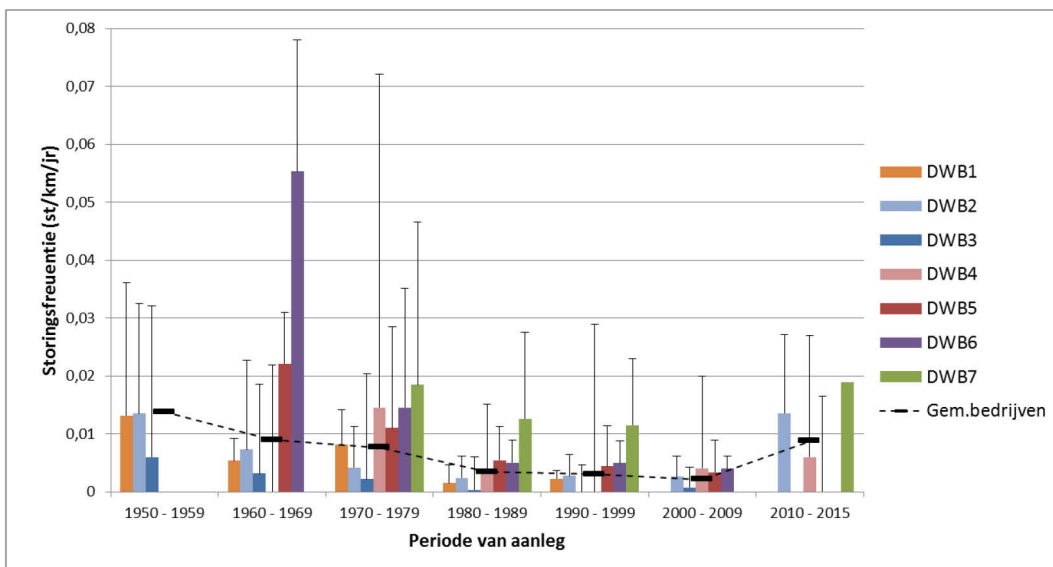
3.5.3 Verbindinggerelateerde spontane storingsfrequentie in beheerfase

In Figuur 3-5 is een overzicht gegeven van de verbindinggerelateerde spontane storingsfrequenties in de beheerfase ($S_{s,B,V}$) voor PVC leidingen, uitgesplitst per drinkwaterbedrijf en per diameterklasse. De lijnen geven de hoogte van de $S_{s,B}$ weer, zodat het aandeel van de verbindingen in de $S_{s,B}$ zichtbaar is. Er zijn alleen storingsfrequenties berekend als de combinatie van bedrijf en diameterklasse drie storingen of meer bevat. Uit Figuur 3-5 blijkt dat de storingsfrequentie voor verbindingen in diameterklasse 160-249 mm relatief hoger is dan bij andere diametergroepen, maar dat dit minder uitgesproken is dan voor buis en verbinding. Ook hier zijn de verschillen tussen bedrijven groot en treden de hoogste storingsfrequenties bij verbindingen op bij bedrijven met zettingsgevoelige bodems (DWB5, DWB6 en DWB7). De $S_{s,B,V}$ bij DWB4 zijn in tegenstelling tot Figuur 3-3 nu meer in overeenstemming met die van DWB1, DWB2 en DWB3. Mocht hier de waterdruk een rol spelen, dan geldt dat minder prominent voor verbindingen. Dat laatste lijkt logisch aangezien verbindingen sterker zijn dan buizen.



FIGUUR 3-5 VERBINDINGGERELATEERDE SPONTANE STORINGSFREQUENTIES IN BEHEERFASE ($S_{s,B,V}$) VAN PVC LEIDINGEN, UITGESPLITST PER DRINKWATERBEDRIJF EN DIAMETERKLASSE.

In Figuur 3-6 is een overzicht gegeven van de spontane storingsfrequenties in de beheerfase voor PVC leidingen, uitgesplitst per drinkwaterbedrijf en per periode van aanleg. Er zijn alleen storingsfrequenties berekend als de combinatie van bedrijf en diameterklasse vijf storingen of meer bevat. Ook voor de VSSFB geldt dat die hoger is in de periode van 1950 tot 1979. Het hoog aantal storingen bij DWB6 in de jaren zestig blijkt relatief vaker op te treden op verbindingen dan op buizen.



FIGUUR 3-6 VERBINDINGGERELATEERDE SPONTANE STORINGSFREQUENTIES IN BEHEERFASE ($S_{s,B,V}$) VAN PVC LEIDINGEN, UITGESPLITST PER DRINKWATERBEDRIJF EN AANLEGPERIODE.

3.6 Synthese

De USTORE-analyse die is beschreven in de voorgaande paragrafen heeft geleid tot onderstaande conclusies voor PVC leidingen:

- PVC leidingen hebben een relatief lage storingsfrequentie.
- Voor alle gangbare leidingmaterialen lijkt er een constant aandeel te zijn voor het aantal storingen dat wordt veroorzaakt door derden. Dit houdt in dat het aandeel spontane storingen bij PVC leidingen relatief laag is.
- Het totaal aantal storingen per jaar op PVC leidingen is tussen 2010 en 2015 relatief constant.
- Storingsanalyse op jaarbasis laat zien dat in de eerste drie jaar na aanleg aanmerkelijk meer storingen optreden dan in de jaren daarna.
- Bij de analyse van storingsgegevens blijken ook niet-logische waarden te worden ingevoerd, zoals uitwendige en inwendige aantasting van PVC (totaal 7%) en falen van flenspakkingen in PVC verbindingen (4%). Verbeterde registratie is hier wenselijk.

De USTORE-analyse heeft specifiek voor PVC verbindingen geleid tot onderstaande conclusies:

- Het vaststellen van het aantal storingen aan verbindingen met USTORE, is alleen mogelijk voor storingen aan moffen, niet die aan de spie-einden. Het aantal storingen aan niet-trekvaste steekmoffen is relatief laag (4-6% van alle storingen op PVC leidingen). Verwacht mag worden dat het aantal storingen in spie-einden hoger is.
- Hoewel het totaal storingen per jaar op PVC leidingen tussen 2010 en 2015 relatief constant is, geldt dit niet voor specifieke deelverzamelingen. Als tijdsafhankelijke storingsoorzaken, zoals door derden en aanlegfouten buiten beschouwing gelaten worden, blijkt dat de storingsfrequentie op verbindingen bij PVC leidingen van voor 1980 toeneemt gedurende de registratieperiode (2010–2015).
- De spontane storingsfrequentie vertoont grote verschillen tussen bedrijven. Dit geldt ook als alleen wordt gekeken naar verbindingen. Bedrijven met meer zettingsgevoelige bodems hebben een hogere storingsfrequentie in verbindingen van PVC leidingen.

Uit voorgaande analyse blijkt dat de storingsfrequentie van PVC leidingen relatief laag is (0,025 storingen/km/jaar). Omdat PVC leidingen de grootste groep leidingen vertegenwoordigen is de totale omvang van het aantal storingen op PVC leidingen groot. Hoewel storingen op verbindingen als gevolg van hoekverdraaiing een veel genoemde storingsoorzaak is, is dit in de USTORE storingsregistratie moeilijk te herkennen. Dit heeft als reden dat storingen aan spie-einden geregistreerd worden als storingen aan buizen. In grote delen in Nederland komen zettingsgevoelige bodems voor. Bij waterbedrijven met meer zettingsgevoelige bodems komen ook meer storingen voor in PVC leidingen en verbindingen. Het zou verwacht kunnen worden dat de storingsfrequentie in deze gebieden de komende jaren blijft toenemen.

Ondanks het relatief beperkt aantal storingen op PVC leidingen is, gezien het grote aantal leidingen en de ligging in zettingsgevoelige bodems, nadere aandacht voor hoekverdraaiing in PVC leidingen gerechtvaardigd. Het structureel monitoren van het storingsgedrag van (groepen) PVC leidingen is daarom aan te bevelen. Dit is een activiteit van beperkte omvang die jaarlijks volgens een vast format kan worden uitgevoerd.

4 Vervolgstep 1: Inzet FEM voor berekenen maximale hoekverdraaiing

Voor PVC steekmofverbindingen wordt een maximale hoekverdraaiing aangehouden van 6° (te weten 3° per rubber afdichting). De herkomst van deze waarde is de lekdichtheidsproef voor PVC verbindingen (Kiwa, 2014). Deze proef schrijft voor dat de verbinding, ontworpen volgens inzichten van de fabrikant, bij een opgelegde hoek van 6° lekvrij blijft gedurende een periode van 50 jaar. Deze bepaling is daardoor dus niet te interpreteren als de maximale hoekverdraaiing, maar als een opgelegde randvoorwaarde bij de uitvoering van de lekdichtheidsproef. De mate van insteking is hierbij niet verder beschouwd.

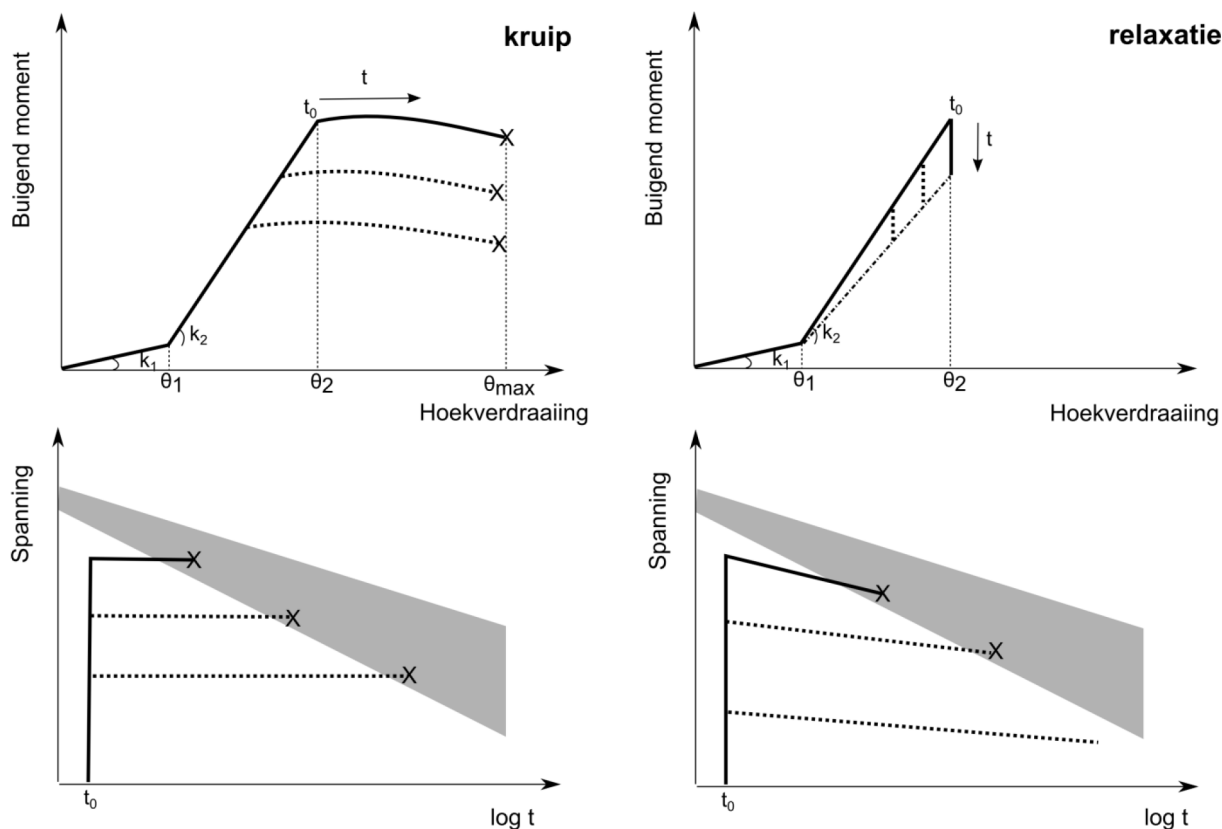
Een onderbouwing voor de maximale hoekverdraaiing in de beheerfase van leidingen, waarbij ook rekening wordt gehouden met de mate van insteking, is mogelijk met gedetailleerde sterkteberekeningen, bijvoorbeeld met behulp van de eindige-elementenmethode (Finite Element Method, of FEM). Voor een nadere toelichting op FEM voor leidingen, zie Wols (2015). De FEM berekeningen die Wols beschrijft zijn uitgevoerd voor de validatie van spanningsmodel COMSIMA. Voor het nauwkeurig bepalen van kritische hoekverdraaiingen in diverse belastingsituaties zijn meer gedetailleerde berekeningen noodzakelijk. In de berekeningen is nog geen rekening gehouden met de spanningen die ontstaan als de buis de mof raakt en er is geen rekening gehouden met langetermijneffecten voor PVC, zoals kruip, relaxatie en weerstand tegen langzame scheurgroei.

In de FEM-berekeningen wordt een verbinding gesimuleerd met twee buisdelen. Door aan het uiteinde van beide buisdelen een belasting of verplaatsing te zetten, ontstaat een buigend moment op de verbinding, die hierdoor wil gaan roteren. De weerstand tegen deze rotatie is weergegeven als de stijfheid van de verbinding (Figuur 4-1). In eerste instantie zal dit vrij eenvoudig gaan totdat de buizen elkaar raken of de buis de mof raakt. Dan zal de stijfheid toenemen. In de simulatie kan het buigend moment opgevoerd worden, zodat het verloop van Figuur 4-1 gesimuleerd wordt. Falen treedt op op het moment dat de toelaatbare spanning in de buis of mof wordt overschreden of als de buis uit de verbinding schuift. Op het moment van falen is de kritische hoekverdraaiing bereikt.

Omdat PVC visco-elastisch gedrag vertoont, moet rekening gehouden worden met voor PVC relevante langetermijneffecten van kruip en relaxatie. Kruip is een situatie waarbij de belasting/spanning gelijk blijft, maar de vervorming toeneemt in de tijd. Relaxatie is een omgekeerd effect waarbij de vervorming gelijk blijft, maar de spanning afneemt in de tijd. Beide effecten zijn weergegeven in Figuur 4-1. Vanwege dit tijdsafhankelijke gedrag kan de maximale hoekverdraaiing ook bereikt worden bij een lager buigend moment maar bij een langere belastingsduur (stippellijnen in Figuur 4-1). Daarnaast neemt de toelaatbare spanning af met de belastingsduur (vanwege de weerstand tegen langzame scheurgroei, dit is afhankelijk van de kwaliteit van het materiaal). De maximale hoekverdraaiing is daarmee afhankelijk van zowel de grootte van de belasting als de tijdsduur.

Voor een leiding in de grond waarbij de oorzaak van de hoekverdraaiing zetting is, zal spanningsrelaxatie optreden, omdat deze leiding niet verder kan vervormen dan het omliggend

bodempakket. Hierdoor zal de spanning en het buigend moment afnemen in de tijd. De grootste spanning treedt hier op aan het begin. Onderzocht moet worden of de toelaatbare spanning sneller afneemt dan de spanningsafname door relaxatie. Omdat de afname in toelaatbare spanning afhankelijk is van de kwaliteit van het ingaande materiaal, zal de maximale hoekverdraaiing ook hiervan afhangen.



FIGUUR 4-1 SCHEMATISATIE VAN DE STIJFHEID VAN EEN VERBINDING (BOVEN) MET GEDRAG IN DE TIJD (ONDER), IN HET GEVAL VAN KRUIP (LINKS) EN IN HET GEVAL VAN RELAXATIE (RECHTS). DE BELASTING WORDT INSTANTAAN AANGEBRACHT OP $T=T_0$ EN GEEFT AFHANKELIJK VAN HET OPGELEGD BUIGENDE MOMENT EEN HOEKVERDRAAIING (BOVENSTE FIGUREN). VERVOLGENS ZAL DOOR KRUIP DE HOEKVERDRAAIING TOENEMEN (LINKSBOVEN) EN DE SPANNING GELIJK BLIJVEN (LINKSONDER), OF IN GEVAL VAN RELAXATIE DE HOEKVERDRAAIING GELIJK BLIJVEN (RECHTSBOVEN) EN DE SPANNING AFNEMEN (RECHTSONDER). DE MATE WAARIN BEIDE PROCESSEN OP ELKAAR INGRIJPEN IS EEN VAN DE ONDERZOEKSVRAGEN. HET GEARCEERDE GEDEELTE GEEFT DE TOELAATBARE SPANNING WEER.

De maximale hoekverdraaiing op de lange termijn hangt dus af van de belastingsduur, aard van de belasting (of daarbij kruip of relaxatie optreedt), grootte van de belasting/vervorming, diameter en kwaliteit van het materiaal. Onderdeel van een vervolgonderzoek is nagaan of er een eenduidig verband gevonden kan worden tussen de toelaatbare hoekverdraaiing en de belastingsduur (gegeven een bepaalde kwaliteit van het materiaal).

In de berekening zal in eerste instantie de belasting of vervorming instantaan aangebracht worden en vervolgens onderzocht worden wat er in de tijd gebeurt met de spanningen in de verbinding. Echter, in werkelijkheid kan de belasting/vervorming ook langzaam aangebracht worden (zoals bij een toenemende zetting). Dit zal voorlopig nog buiten beschouwing gelaten

worden. Wel wordt onderzocht hoe de tijdschalen van de drie processen (visco-elastisch gedrag, weerstand tegen langzame scheurgroei, opbouw belasting) met elkaar samenhangen.

Het resultaat van de berekeningen van diverse situaties is een tabel met toelaatbare hoekverdraaiingen voor verschillende situaties. De volgende stappen zijn noodzakelijk om deze tabel met toelaatbare hoekverdraaiing van PVC verbindingen te bepalen:

- schematisatie van de verbinding voor verschillende typen verbindingen (fabrikant, wel/niet trekvast, etc), zowel het PVC als de rubbers worden geschematiseerd;
- keuze voor variaties (insteekdiepte, diameter, drukregime, etc);
- keuze maken voor FEM rekenpakket;
- opstellen FEM model, rekening houdend met visco-elastisch gedrag (tijdaspect);
- keuze maken voor type visco-elastisch gedrag (kruip en relaxatie);
- vaststellen van waarden voor kruip en relaxatie.

Bij het uitvoeren van de berekeningen spelen ook onderstaande vragen een rol:

- Faalt de verbinding op overschrijden van de spanningen van de mof of buis, of het verschuiven uit de verbinding?
- Op welke wijze wordt de mof gefabriceerd, is de bezwijkspanning gelijk aan die van de buis?
- Wat is de betrouwbaarheid van de berekeningen en hoe vindt validatie plaats?
- Wat zijn de gevoeligheden van diverse parameters en welke toleranties zijn aanwezig voor uitkomsten?
- Hoe kan de belastingduur op een juiste wijze worden gesimuleerd?

De volgende variaties zijn van belang om te simuleren:

- Geometrie van de verbinding (fabrikant): 3 berekeningsvarianten
- Type verbinding (wel/niet trekvast): 2 berekeningsvarianten
- Insteekdiepte: 3 berekeningsvarianten
- Diameters: 3 berekeningsvarianten
- Wanddikte: 2 varianten
- Interne drukken: 3 berekeningsvarianten
- Eventueel kwaliteit van het materiaal (goed, middel, slecht), schematisatie van de afname van toelaatbare spanning als functie van de belastingsduur: 2*3 berekeningsvarianten

Als alle combinaties meegenomen worden leidt dit tot een groot aantal berekeningen. Hierin kunnen slimme keuzes gemaakt worden. Het meeste werk bestaat uit het maken van de geometrie in het FEM rekenpakket. Deze moet specifiek voor 6 gevallen gemaakt worden (3 fabrikanten x 2 type verbindingen). Vervolgens kan de insteekdiepte, diameter, wanddikte en interne druk geparameteriseerd worden.

Optioneel kan ook het effect van bovenbelasting meegenomen worden, hier is het ook van belang om rekening te houden met de stijfheid van de grond. Dit leidt tot de volgende variaties:

- Grondsoort (afhankelijk van grond-leiding interactie)
- Variatie van bovenbelasting (zoals verkeer)

De uitkomsten van de modelsimulaties geven voor verschillende categorieën verbindingen de toelaatbare hoekverdraaiingen, zodat een inschatting gemaakt kan worden van de toelaatbare hoekverdraaiingen in het leidingnet voor specifieke karakteristieken van de buis en de omgeving. De exacte materiaaleigenschappen van PVC zijn moeilijk te voorspellen omdat zij voor een deel bepaald worden door het productieproces en de geschiedenis van de belasting gedurende aanleg en ligging. De berekeningen met FEM-pakketten geven echter de best mogelijke inschatting van normsituaties. Een globale inschatting van de kosten voor het

uitvoeren van dergelijk berekeningen bedragen orde grootte 50 tot 100k€. Aanbevolen wordt om in het BTO een onderzoek te starten naar het bepalen van normsituaties voor PVC verbindingen met FEM berekeningen.

5 Vervolgstep 2: Ingangsbeoordeling nieuwe PVC leidingen

Het uitvoeren van een ingangsbeoordeling levert een drinkwaterbedrijf informatie op over de hoekverdraaiing direct na aanleg van een leiding. Deze informatie kan twee doelen dienen:

- a) Het verifiëren of tijdens het aanlegproces sprake is van grote of ontoelaatbare hoekverdraaiingen. In het geval van ontoelaatbare hoekverdraaiingen is het mogelijk om de kosten van reparatie te verhalen op de aannemer. Deze informatie is van hogere kwaliteit dan een visuele beoordeling door een opzichter, aangezien in dat geval moeilijk kan worden vastgesteld wat het effect is van het onjuist aanbrengen van de sleufoanvulling. Daarnaast is een opzichter meestal slechts incidenteel aanwezig tijdens het aanlegproces.
- b) Het hebben van een referentiemeting waarmee toekomstige metingen van de hoekverdraaiing beter geïnterpreteerd kunnen worden.

Een ingangsbeoordeling is met name toepasbaar voor grotere diameters aangezien:

- Een in-line meting mogelijk is vanaf een inwendige diameter van 160 mm.
- De kosten van aanleg toenemen met de diameter van de leiding, terwijl de kosten van een meting van de hoekverdraaiing onafhankelijk zijn van de diameter.
- Metingen tegen lagere kosten zijn uit te voeren als er sprake is van langere leidingstrekkingen en geen haakse bochten. Dit zal eerder van toepassing zijn bij leidingen in het primaire of secundaire net.

Aan de hand van onderstaande business case is onderzocht of het vanuit er financieel oogpunt is aan te raden een ingangsbeoordeling uit te voeren. De hier gebruikte kentallen voor visuele inspectie zijn geverifieerd door de firma MJ Oomen.

De lengte van een te inspecteren leiding is afhankelijk van de snelheid van aanleggen, te weten de in een keer aan te leggen leidinglengte begrensd door de aanleg van de eerste buis tot het moment dat de laatste leiding wordt aangelegd en de leiding wordt gevuld en op druk wordt gebracht. Deze lengte kan variëren van enkele meters voor transportleidingen tot enkele kilometers. Voor de business case is er van uitgegaan dat metingen worden uitgevoerd van gemiddeld 300 m. Dit is in feite een arbitraire schatting.

De kosten van de inzet worden geraamd op 1500 € per dag, waarbij wordt aangenomen dat de lengte van 300 meter in een dag kan worden gemeten. De totale kosten van aanleg worden geschat op 200 € per meter. De kosten van inspectie bedragen in dit voorbeeld 2,5% van de totale aanlegkosten (=1500/(300*200)).

De directe opbrengst van een ingangsmeting is een beter inzicht in de conditie van de leiding na aanleg. Deze opbrengsten zijn sterk locatieafhankelijk en daardoor niet generiek te kwantificeren. Onderstaande opbrengsten zijn te verwachten:

- inzicht in de hoekenverdraaiingen en mate van insteking, waardoor lekkages door verkeerde aanleg kunnen worden voorkomen;
- het hebben van een referentiemeting waardoor toekomstige metingen beter zijn te interpreteren;
- bepaling van de exacte liggingslocatie van de leiding;
- meer inzicht in de conditie van de leiding, met name de onrondheid;
- bewijs voor een vergunningverlener dat een leiding goed is aangelegd.

Bij de aanleg van PVC leidingen in het primaire of secundaire net, met name in gebieden met een hogere kans op zettingen en met een hogere effecten bij falen, wordt drinkwaterbedrijven aanbevolen om middels enkele pilots (te denken valt aan circa vijf voor alle bedrijven) de toepassing van een ingangsbeoordeling nader te toetsen.

Bij deze toetsing dient aandacht te zijn voor de volgende vragen:

1. Worden bij de pilots daadwerkelijk potentieel kritische verbindingen gedetecteerd? Zo niet, dan kan geconcludeerd worden dat de hoekverdraaiing in het geval van nieuw te aangelegde leidingen geen probleem is.
2. Worden bij de pilots kritische situaties gedetecteerd die niet door een opzichter zijn gedetecteerd? Hiermee kunnen kosten en opbrengsten van een ingangscntrole vergeleken worden met reguliere toezicht bij de aanleg van leidingen.
3. Treden er bij het uitvoeren van een ingangscntrole praktische bezwaren op? Hierbij valt te denken aan aspecten zoals tijdsverlies tijdens aanleg en gevaar voor verontreiniging.

6 Vervolgstep 3: Monitoren referentieleidingen

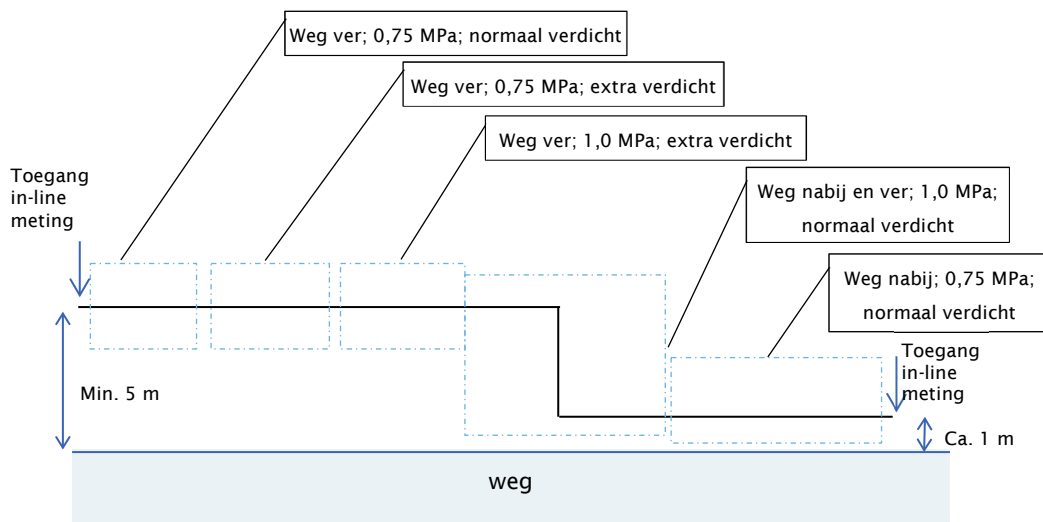
Langdurige monitoring van verplaatsingen bij verbindingen (hoekverdraaiing en mate van insteking) levert drinkwaterbedrijven kennis op over het gedrag van verplaatsingen onder diverse omstandigheden. Hiermee kunnen kennisregels worden opgesteld die de kans op een bepaalde mate van hoekverdraaiing voorspellen.

Het monitoren van verplaatsingen bij verbindingen (hoekverdraaiing en mate van insteking) gedurende langere tijd levert kennis op en is mogelijk door het herhaaldelijk uitvoeren van visuele in-line metingen of het plaatsen van een permanente meting met behulp van rekstrookjes. Hierbij kan de invloed van verschillende factoren op de verplaatsing in beeld worden gebracht, namelijk in relatie tot de:

- **Tijd:** door het over een lange tijd monitoren kan worden nagegaan hoe de verplaatsing zich ontwikkelt in de tijd (denk aan gelijkmatig, lineair, etc), wat de spreiding van meetresultaten is en of er een relatie is met het weer.
- **Materiaalomstandigheden:** door verschillende materiaalomstandigheden te monitoren kan worden nagegaan wat de overeenkomsten zijn in het langeduurgedrag bij diverse omstandigheden. In eerste instantie wordt hier gedacht om verschillende leidingdiameters en drukklassen te vergelijken.
- **Uitvoeringsomstandigheden, zoals de kwaliteit van verdichting:** door een deel van de leiding extra te verdichten kan worden gemeten wat de impact hiervan is op de mate van verplaatsing.
- **Ligging, zoals de bodemsoort of de aanwezigheid van een weg:** door op verschillende locaties te meten, kan worden nagegaan wat de invloed is op verplaatsing.

Het is tevens aan te raden twee leidingen met vergelijkbare omstandigheden te monitoren, om na te gaan of min of meer gelijke omstandigheden resulteren in een vergelijkbaar beeld van verplaatsingen.

Voor het inrichten van een testlocatie wordt de opzet in Figuur 6-1 voorgesteld, waarbij verschillende invloedsfactoren getoetst kunnen worden (tijd, drukklasse, verdichting en aanwezigheid weg). Door deze situatie op verschillende locaties in te richten, kunnen ook andere invloedsfactoren worden getoetst (bodem en diameter). Opgemerkt wordt dat in dit voorstel alleen liggingssituaties worden nagebootst die leiden tot een verbeterde situatie (minder verplaatsing) aangezien 'minder goed ontwerpen' niet toelaatbaar is. De situatie zoals aangegeven in Figuur 6-1 kan verkregen worden bij aanleg van een nieuwe transportleiding. Uitgaande van een buislengte van 10 meter en de wens om voor elke liggingssituatie minimaal vijf verbindingen te kunnen meten, is een leidinglengte noodzakelijk van minimaal 250 m.



FIGUUR 6-1 VOORBEELD VAN MONITORING WAARBIJ DIVERSE LIGGINGSSITUATIES WORDEN VERGELEKEN.

De opzet zoals weergegeven in Figuur 6-1, kan worden toegepast in de volgende pilotsituaties:

- Pilot 1: kleinere leidingdiameter, bijvoorbeeld PVC 250 mm, in een gebied met veel bodemzetting, dit is de referentiemeting.
- Pilot 2: kleinere leidingdiameter, bijvoorbeeld PVC 250 mm, in een gebied met veel bodemzetting, dit is de herhalingsmeting om na te gaan of in vergelijkbare omstandigheden ook vergelijkbare verplaatsingen optreden.
- Pilot 3: kleinere diameter, bijvoorbeeld PVC 250 mm, in een gebied met weinig bodemzetting, om na te gaan of in een gebied met minder zettingen ook minder verplaatsingen optreden.
- Pilot 4: Grotere diameter, bijvoorbeeld PVC 400 mm, in een gebied met veel bodemzetting, om na te gaan of bij een leiding met een grotere diameter er meer of minder verplaatsingen optreden.

De hier voorgestelde monitoring betreft een meting gedurende enkele jaren en is mogelijk door jaarlijks een visuele in-line inspectie uit te voeren of permanent te meten met rekstrookjes. Aangezien zettingen een proces is dat zich over een lange tijd voltrekt, zal deze monitoring over meerdere jaren, denk aan drie tot tien jaar, uitgevoerd moeten worden.

Voor wat betreft de wijze van meten zijn de volgende opmerkingen te maken:

- Bij de toepassing van visuele in-line metingen geldt:
 - Een minimale diameter van 160 mm.
 - Aanleggen van een inlaat-constructie.
 - Voor elke meting dient de leiding buiten gebruik gesteld te worden en na afloop gespuid. Dit houdt in dat de leiding enige uren buiten gebruik gesteld moet worden.
 - Arsénio (2013) geeft aan dat de mate van insteking afhankelijk is van de leidingtemperatuur. In zijn onderzoek zijn verschillen in insteking als gevolg van temperatuurswisselingen gemeten tot 2,5 mm. De in-line metingen dienen zo veel mogelijk plaats te vinden in een periode waarin een vergelijkbare watertemperatuur is te verwachten.
- Bij de toepassing van rekstrookje geldt
 - Met rekstrookjes kan een langdurige meting uitgevoerd worden, aangezien deze permanent worden aangebracht.
 - De kosten van metingen met rekstrookjes zijn hoger dan van een in-line meting. Omdat het systeem permanent aanwezig is, vergen zij ook operationele kosten.

Aangezien visuele meting leidt tot onderbreking van de levering en het lastig is temperatuursverschillen tussen meetacties te vermijden, heeft monitoring met rekstrookjes voor wat betreft de wijze van monitoring de voorkeur.

Voor vervolgonderzoek wordt aanbevolen:

1. binnen het BTO pilots op te zetten voor het langdurig monitoren met rekstrookjes van verplaatsingen van PVC verbindingen;
2. voor de uitvoering van deze meting wordt aanbevolen de hier weergegeven opzet als leidraad te nemen;
3. zorg te dragen voor een duidelijke en zo veel mogelijk geobjectiveerde meetopzet, met name omdat verschillende omstandigheden in de praktijk vergeleken worden, wellicht bij verschillende drinkwaterbedrijven;
4. een verkenning uit te voeren naar de toepassing, het beheer en de kosten monitoring met rekstrookjes.

7 Vervolgstep 4: voorspellen kritische zones

Een kaart met PVC leidingen met het hoogste risico als gevolg van falen door hoekverdraaiing of uittrekking van een verbinding is op te stellen door een inschatting te maken van de kans op falen en het effect van falen.

De kans op falen van een verbinding in een PVC leiding als gevolg van hoekverdraaiing is naar verwachting hoger als er sprake is van leidingen:

- met een lagere wanddikte, met name 0,63 MPa buizen (Mesman, 2015);
- uit de jaren zeventig en voor 1965 (zie Figuur 3-1);
- met een diameter tussen 160 en 400 mm (Mesman, 2015);
- waar de verbinding vast zit aan één einde van het buisdeel (Arsénio, 2013);
- met meer leidingbreuken;
- in zettingsgevoelige gronden, aangezien hier een grotere kans is op ongelijkmatige zettingen;
- in de nabijheid van zware bovenbelastingen (verkeerswegen en dijklichamen).

Naast bovengenoemde factoren die in de praktijk zijn vast te stellen spelen ook factoren een rol die minder goed meetbaar zijn, zoals het proces van fabricage en aanleg, de geometrie van de verbinding en de lokale mate van hoekverdraaiing en insteking. De invloed van de wanddikte, diameter, de bodem en de bovenbelasting zijn te bepalen door het uitvoeren van berekeningen met COMSIMA (Wols, 2015). Onderzoek naar kritische hoekverdraaiing met FEM-rekenpakketten (zie Hoofdstuk 4) kan inzichten verschaffen in welke buizen en omstandigheden meer kritisch zijn. Het voorspellen van zones met een hogere kans op hoekverdraaiing zonder het uitvoeren van metingen dient als indicatief te worden beoordeeld.

Het effect van falen (lekkage) van een verbinding in een PVC leiding is hoger als er sprake is van leidingen in de nabijheid van risicovolle objecten (waterkeringen, wegen, spoorwegen, etc.). Dergelijke effectanalyses zijn door drinkwaterbedrijven gemaakt in het kader van de BEEL-analyses (Beoordeling Externe Effecten Leidinglekkage).

Een analyse met als doel het voorspellen van kritische zones ten aanzien van PVC leidingen zou uit de volgende stappen kunnen bestaan. De aspecten die betrekking hebben op hoekverdraaiing van verbindingen van PVC verbindingen maken dan deel uit van deze analyse.

1. Voer een analyse uit met COMSIMA en selecteer hierbij de leidingen met wandspanningen boven een bepaalde drempelwaarde.
2. Selecteer leidingen met een storingsfrequentie boven een drempelwaarde
3. Selecteer leidingen waar op basis van bestaande kennis meer storingen zijn te verwachten (bijvoorbeeld op basis van de wanddikte, aanlegperiode en diameter).
4. Combineer de resultaten van de stappen een tot en met drie op basis van een multicriteria afweging en vertaal dit naar een kaart die de kans op falen aangeeft.
5. Stel op basis van bestaande effectstudies een kaart op die de effecten van falen aangeeft.
6. Combineer vier en vijf tot een risicokaart, waarop kritische zones zijn aangegeven.

Het uitvoeren van een analyse voor het voorspellen van kritische zones is mogelijk. Gezien de onzekerheden van een dergelijke analyse en de lage storingsfrequentie van PVC (0,025 storingen /km/jaar) is het niet aan te bevelen om deze analyse specifiek voor PVC leidingen uit te voeren. Deze analyse kan wel nuttig zijn als meer kennis is verkregen over het optreden van hoekverdraaiing en verschuiving (hoofdstuk 6) en van kritische situaties (hoofdstuk 4).

8 Vervolgstep 5: hoekverdraaiing als oorzaak voor storingen

In Hoofdstuk 3 zijn analyses weergegeven van storingsregistraties. Kennis over falen van verbindingen door hoekverdraaiing en verschuiving is op te bouwen door een goede analyse van storingen. Verdergaande analyse zal moeten uitwijzen of op basis van de geregistreerde storingen er specifieke verklarende factoren voor een dergelijk falen zijn aan te wijzen. Dit zal een verdergaande analyse vergen dan in Hoofdstuk 3 is uitgevoerd, waarbij ook omgevingsfactoren zoals de bodem en de bebouwing betrokken dienen te worden. Hiervoor is informatie noodzakelijk over de ligging van leidingen middels X-Y coördinaten. Naar verwachting zal deze informatie pas in 2017 in USTORE beschikbaar komen.

Daarnaast blijft het van belang de kwaliteit van registratie en verwerking te bewaken. In de USTORE database hebben bijvoorbeeld 10% van de storingen op PVC leidingen het kenmerk 'Uitwendige aantasting', wat onwaarschijnlijk is omdat PVC in normale liggingsomstandigheden geen uitwendige aantasting kent (zie o.a. Boersma en Breen, 2006).

Tegelijkertijd zijn er twijfels of falen door hoekverdraaiing en verschuiving goed te registreren valt binnen de mogelijkheden van USTORE. Een belangrijke punt hierbij is dat storingen aan spie-einden niet worden geregistreerd als zijnde falen van een verbinding. Daarnaast zijn er twijfels of de oorzaak van falen door monteurs goed is in te schatten (Vertommen en Beuken, 2015).

Aanbevolen wordt om voor een selecte groep storingen op PVC verbindingen achteraf (op het bureau) vast te stellen of de oorzaak van falen door hoekverdraaiing en/of verschuiving mogelijk is op basis van foto's en aanvullende registraties. Door het uitvoeren van een steekproef op storingen op PVC verbindingen, inclusief spie-eind, komt betere informatie beschikbaar over faalmechanismen. In een zo opgebouwde bibliotheek met schadegevallen kan informatie worden bijeengebracht betreffende:

- foto's van de verbinding en aanliggende buisdelen direct nadat afsluiters zijn dichtgezet en water is weggepompt en nog voordat demontage heeft plaatsgevonden;
- detailfoto's van falende onderdelen (spie-eind, mof, rubber);
- een overzicht van de aard en lengte van de breuk en aangeven waar en op welke klokpositie deze zich bevindt
- reguliere storingsinformatie uit USTORE;
- informatie of het mogelijk was de verbinding bij reparatie goed spanningsloos te maken of de mate waarin de buisdelen door zetting onderling zijn verschoven.

Door een database op te stellen van bijvoorbeeld 100 schadegevallen (bijvoorbeeld tien bedrijven registreren 10 schadegevallen) kan meer informatie worden verkregen over falen op verbindingen door hoekverdraaiing. Deze schadegevallen kunnen verder worden geanalyseerd, onder andere om het onderzoek naar FEM-modellering te valideren.

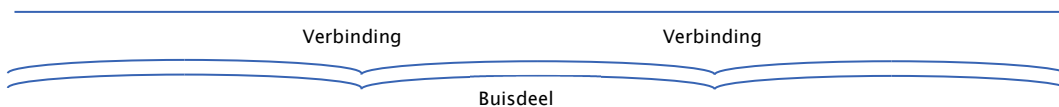
Voor vervolgonderzoek wordt aanbevolen om in BTO-verband een database van schadegevallen van PVC verbindingen op te stellen en te vullen.

9 Vervolgstep 6: Index for Joint Condition

Arsénio (2013) heeft in zijn proefschrift een index voorgesteld om de conditie van verbindingen uit te drukken: de Index for Joint Condition (IJC). Hierin worden twee manieren beschreven om de conditie van verbindingen te kwantificeren: de 'Joint Grade' en de 'Pipe Grade'.

De Joint Grade geeft een waarde voor elke specifieke verbinding en is opgebouwd uit een waardering van de hoekverdraaiing voor zover deze boven een kritische waarde komt en de gemeten afstand tussen twee spie-einden. Voor elke verbinding worden deze waarderingen omgezet in een Joint Grade die varieert van 0 (goede conditie) tot 1 (slechte conditie). Arsénio stelt ook grafieken voor waarin voor elke verbinding de hoekverdraaiing en de afstand wordt weergegeven ten opzichte van normwaarden.

De Pipe Grade is opgebouwd uit de som van alle individuele Joint Grades en een aparte factor die wordt toegekend als er een aaneengesloten serie van verbindingen aanwezig is met dezelfde hoekverdraaiing. In dat geval zal er volgens Arsénio sprake zijn van een leiding met buisdelen waar geen zetting is opgetreden en verbindingen waar wel zettingen zijn opgetreden, zie ook Figuur 9-1. Dit is mogelijk als bij de aanleg van de leiding het grondpakket ter plaatse van de verbindingen niet goed is verdicht. Ook voor de Pipe Grade geldt dat deze varieert van 0 (goede conditie) tot 1 (slechte conditie).



FIGUUR 9-1 VOOR BEELD VAN EEN BUIS WAAR GEEN ZETTING IS OPGETRDEN TER PLAATSE VAN HET BUISDEEL MAAR WEL TER PLAATSE VAN HET VERBINDINGSDEEL.

In het kader van dit BTO-project is een evaluatie uitgevoerd van de door Arsénio opgestelde formules voor het berekenen van de Joint Grade en Pipe Grade. Hierbij kwamen onduidelijkheden aan het licht, waardoor er gereede twijfels zijn of de door Arsénio aanbevolen methode van de Index for Joint Condition in de huidige vorm leidt tot een correcte weergave van de conditie van verbindingen in PVC leidingen. Geconstateerd wordt dat de beoordelingsmethode een bruikbaar kader oplevert voor het beoordelen van verbindingen. De feitelijke uitwerking van de formules, waarderingen en normstelling verdient echter nadere onderbouwing.

Voor het nader uitwerken van de Index voor Joint Condition worden de volgende activiteiten voorgesteld:

- opstellen van normwaarden, op basis van FEM-berekeningen (hoofdstuk 4);
- herformuleren van de formules die de meetwaarden van de hoekverdraaiing en de insteking vertalen naar relevante toestandsgetallen;

- c) onderbouwen hoe toestandsgetallen voor hoekverdraaiing en insteking vertaald kunnen worden in een Joint Grade, met daarbij aandacht voor drempelwaarden en onderlinge waardering van beide toestandsgetallen;
- d) onderbouwen hoe meerdere bepalingen van de Joint Grade kunnen worden uitgedrukt in een Pipe Grade;
- e) uitwerken van een eenvoudig te interpreteren beoordelingsmaatstaf (waarde of figuur) om de IJC in uit te drukken.

10 Conclusies en aanbevelingen

Voorliggend rapport is een weergave van een onderzoek naar de mogelijke toepassing voor Nederlandse drinkwaterbedrijven van de aanbevelingen uit het promotieonderzoek van André Marques Arsénio naar de restlevensduur van steekmofverbindingen in PVC leidingen.

Hierbij zijn onderstaande conclusies getrokken.

- A. Met betrekking tot de toepassing van het onderzoek van André Marques Arsénio:
1. Het vaststellen van de kritische hoekverdraaiing voor steekmofverbindingen in PVC leidingen (welke hoek voor welk type buis, in combinatie met de mate van insteking van de spie in de mof) kan worden uitgevoerd met behulp van FEM-berekeningen. In Hoofdstuk 4 is aangegeven hoe dit onderzoek vorm te geven.
 2. Bij de aanleg van nieuwe PVC leidingen, met name leidingen met een verhoogd risicoprofiel, is het mogelijk tegen relatief beperkte meerkosten van aanleg een ingangscntrole uit te voeren op de toestand van de verbindingen. Een onderbouwing hiervan is gegeven in Hoofdstuk 5. De toegevoegde waarde zal in de praktijk nader onderzocht dienen te worden.
 3. Door gedurende meerdere jaren PVC leidingen te monitoren in verschillende omstandigheden wordt inzicht verkregen in het lange-termijngedrag van hoekverdraaiing en uitschuiving. Het verdient voorkeur deze monitoring uit te voeren door het aanbrengen van digitaal uitleesbare rekstrookjes. Een opzet voor deze monitoring is gegeven in Hoofdstuk 6. Deze metingen hebben als extra opbrengst het valideren van de FEM-berekeningen (zie punt 1).
 4. Verklarende factoren die het risico bepalen van hoekverdraaiing voor het falen van PVC verbindingen zijn voor een deel bekend. In een multi-criteria analyse kan schatting worden gemaakt van kritische zones voor falen van een PVC verbinding als gevolg van hoekverdraaiing. Gezien het huidig aantal storingen in PVC leidingen lijkt het momenteel niet zinvol een dergelijke analyse specifiek voor dit onderwerp op te zetten. Deze analyse kan wel deel uitmaken van een bredere analyse ter onderbouwing van het saneringsbeleid, zie ook Hoofdstuk 7.
 5. Geconcludeerd wordt dat het mogelijk is om in USTORE een storingsfrequentie te bepalen van voor het falen van verbindingen als gevolg van hoekverdraaiing. Aangezien storingen aan spie-einden niet geregistreerd worden als falen van de verbinding (zie ook conclusie 7) kan dit tot onjuiste conclusies leiden. In Hoofdstuk 8 is een opzet gegeven voor het beter opbouwen van kennis over falen van verbindingen als gevolg van hoekverdraaiing.
 6. In het onderzoek van Arsénio is vastgesteld dat hoekverdraaiing en uitschuiving goed is vast te stellen met een in-line visuele meting. Deze metingen zijn uitvoerbaar in leidingen met een diameter groter dan 160 mm. De door Arsénio voorgestelde Index for Joint Condition, om de hoekverdraaiing te beoordelen heeft potentie, maar vergt een nadere uitwerking (zie Hoofdstuk 9).

Met betrekking tot de impact van falen door hoekverdraaiing en uitschuiving van PVC leidingen op storingen van PVC steekmofverbindingen:

7. Het vaststellen van het aantal storingen aan verbindingen met USTORE, is alleen mogelijk voor storingen aan moffen, niet die aan de spie-einden. Het aantal storingen

- aan niet-trekvastste steekmoffen is relatief laag (4% van alle storingen op PVC leidingen). Verwacht mag worden dat het aantal storingen in spie-einden aanmerkelijk hoger is.
8. Hoewel het totaal storingen per jaar op PVC leidingen tussen 2010 en 2015 relatief constant is, geldt dit niet voor specifieke deelverzamelingen. Als tijdsafhankelijke storingsoorzaken, zoals door derden en aanlegfouten buiten beschouwing gelaten worden, blijkt dat de storingsfrequentie op verbindingen bij PVC leidingen van voor 1980 toeneemt gedurende de registratieperiode (2010–2015).
 9. De spontane storingsfrequentie vertoont grote verschillen tussen bedrijven. Dit geldt ook als alleen wordt gekeken naar verbindingen. Bedrijven met meer zettingsgevoelige bodems hebben een hogere storingsfrequentie in verbindingen van PVC leidingen.

Momenteel is het aantal storingen op PVC leidingen en op verbindingen in PVC leidingen beperkt. Om die reden lijkt nader onderzoek naar de toestand van PVC verbindingen, zoals geschetst in dit onderzoek (nog) niet prioritair. De grote lengte aan PVC leidingen in Nederland maakt kennisopbouw over de toestand van PVC echter wenselijk. Vanuit dat perspectief worden onderstaande aanbevelingen gedaan.

- A. Aan drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen:
 1. ingangscntroles uit te voeren bij nieuwe PVC leidingen met een verhoogd risicoprofiel (vervolgstap 2);
 2. een aantal referentieprojecten op te zetten waar de hoekverdraaiing en verplaatsing gedurende enkele jaren gemonitord wordt (vervolgstap 3);
 3. op projectmatige basis registreren met behulp van foto's van kenmerken bij breuken op verbindingen als gevolg van hoekverdraaiing (vervolgstap 5).
- B. Voor nader onderzoek wordt aanbevolen een BTO-projectvoorstel uit te werken, dat omvat:
 4. een voorstel voor het uitvoeren van FEM berekeningen op PVC verbindingen (vervolgstap 1);
 5. de wetenschappelijke onderbouwing en de coördinatie van bovengenoemde aanbevelingen 2 en 3 (vervolgstap 3 en 5);
 6. het verzamelen van gedetailleerde kennis over het faalgedrag van PVC verbindingen;
 7. het uitwerken van de Index for Joint Condition (vervolgstap 6);
 8. middels meer gedetailleerde USTORE analyse nagaan of er groepen zijn te identificeren waar sprake is van een tijdsgebonden toename van de storingsfrequentie.

KWR is van mening dat de aanbevelingen 2, 3, 4 en 5 de meeste prioriteit verdienen.

11 Referenties

Arsénio, A.M. (2013). *Lifetime prediction of PVC push-fit joints*, Ph.D. theses TU-Delft, Delft.

Boersma, A. en J. Breen (2006). *Long-term performance prediction of existing PVC water distribution systems - VII. Theory and modelling*. Technical report, TNO, Eindhoven.

Kiwa (2014). *Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat van PVC voor het transport van drinkwater en ruw water, BRL-K17301*, Kiwa Nederland B.V., Rijswijk.

Mesman, G.A. (2015). *Kennisregels PVC leidingen*, BTO 2015.054, KWR, Nieuwegein.

Vewin (2015). *Kerngegevens drinkwater 2015*, Vewin,
http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Kerngegevens_drinkwater_2015_Vewin.pdf.

Vloerbergh, I.N. (2008). *USTORE, toelichting op en afspraken over uniforme storingsregistratie*, BTO 2008.057, KWR, Nieuwegein.

Vertommen, I. en R.H.S. Beuken (2015). *Objectiveren van de storingsregistratie van USTORE*, BTO 2015.042, KWR, Nieuwegein.

Wols B.A., A. Moerman, I. Vertommen (2015). *Comsima: model voor spanningen op ondergrondse leidingen*, BTO 2015.082, KWR, Nieuwegein

Bijlage I Aanbevelingen André Arsénio

Arsénio (2013) vermeldt in zijn thesis onderstaande bevindingen voor implementatie en vervolgonderzoek.

8.8 Concluding remarks, implementation & future prospects

8.8.1 Concluding remarks

The objectives of this work that have largely been accomplished include:

- The failure modes of push-fit joints have been surveyed and presented in detail;
- An inspection procedure has been developed. It is considered that the geometrical alignment of the pipes inside the joints is a surrogate measurement for joint condition. The geometrical alignment can be obtained with an NDE tool;
- The most accurate and reproducible NDE tool (CCTV) for inspection of PVC push-fit joints has been ascertained and fully characterized;
- The results of various inspections can be presented and compared side-by-side by employing the IJC. The IJC can aid the water companies in selecting those pipes needing the soonest replacement;
- Employing the risk map, risk-prone areas inside drinking water networks can be identified, and the inspection/replacement of these pipes can be prioritized; and
- The final result is a procedure that can be used to predict the remaining lifetime of PVC joints.

8.8.2 Implementation of the lifetime prediction procedure

At a utility level, this procedure can be implemented in four steps.

1. First step: selecting the best candidate pipes for condition assessment. To begin employing the procedure, a utility must have access to data allowing the selection of the best candidate pipes for inspection^{††}. For this first step, the utility must have access to failure registration data (Section 1.6). If the utility is also provided access to soil movement data, a risk map (Chapter 7) can be implemented. In the case that soil movement data are not available, the utility can select the best candidate pipes solely based on failure registration data. The utility can further narrow down the best candidate by performing a risk-based analysis where both of the probability of failure and the expected cost of failure (Kleiner et al., 2009) are obtained by using, for example, GIS.

2. Second step: inspecting the joints. Probably only part of the best candidate pipes can be inspected either due to time or financial constraints. Exploiting an NDE^{‡‡} and following the procedure described in Chapter 3, the joints can be inspected.
3. Third step: evaluating the joints' condition. The condition of the joints can be evaluated employing the IJC (Chapter 6). The IJC allows detecting the most relevant failure modes as described in Chapter 2. The results produced with the IJC support the water utility with their decision of whether to replace the entire pipe or only part of it.
4. Fourth and final step: re-starting the process. The lifetime prediction procedure is iterative, and the same joints can^{§§} be inspected several times throughout their lifetime. When the results of the *third step* are available, an evaluation of the procedure can be made: is it actually pin-pointing joints that are in poor condition?

8.8.3 Future prospects

Many questions arise before, during, and after a Ph.D. project, and some of them remain unanswered. The following points are potential research subjects for the future:

- Study threshold conditions for other materials and other types of joints:
 - Determine the threshold conditions for other pipe materials, for example, AC. For this, destructive laboratory tests with AC, similar to the ones presented here for PVC, would have to be performed. This would allow extending the lifetime prediction procedure to other materials.
 - Restrained joints (*trekvast*, in Dutch) are employed in very specific situations, for example, to join pipe barrels 20 m before and after 90° elbows. Due to being restrained, these joints are expected to behave differently and to withstand different loads. Therefore, it would be necessary to characterize the threshold condition of these joints in order to extend the assessment/characterization procedure.
- Development of NDE tools that can be exploited for an application of gap sizing but also others: detection of leaching in AC, corrosion in metallic pipes and aging/embrittlement in PVC pipes. This can be imagined as the *perfect tool* which might be difficult to achieve. Nevertheless, the work developed at University of Twente (Demcenko et al., 2012a,b) aiming at characterizing the physical aging of PVC with an ultrasound seems to indicate that, given commercial interest, it might be possible to develop an NDE that can assess more aspects of pipe and joint condition.

^{‡‡}The selected NDE can either be a CCTV or another tool that can also deliver accurate and reproducible results

^{§§}From a scientific perspective, it can be argued that the same pipes and joints (e.g. a test installation) should be inspected several times throughout a survey period of 5-10 years.

- Reliability of USTORE database:
 - The present work exploited data retrieved from USTORE database. Nevertheless, the reliability of the registered data has never been investigated. In order to validate research produced with the database, it is of the utmost importance to study the significance of the registration procedure through tests made to the pipe-fitters. This will demonstrate how reliable each registration is.
 - In USTORE, the location of a failure can be reported (e.g. pipe, joint, valve, etc.). An investigation is also necessary on how reliable these definitions are.
- This work demonstrated that the CCTV can be employed to assess the condition of pipes in the field and provide both accurate and reproducible results. Therefore, the feasibility of implementing a CCTV inspection as a standard inspection method to evaluate a contractor's work should be studied. This application would even minimize the problems associated with a CCTV inspection, *i.e.*, the need to flush and to disinfect, since these steps are standard before a newly installed pipe can be used for the first time. Additionally, beginning seasonal (once/twice per year) inspections on the same pipe would elucidate on the long term behavior of underground pipes.
- The condition of the rubber o-ring is also expected to play a role in the behavior of joints throughout their lifetime, and this topic was thoroughly discussed by Warnock (1999) in his Ph.D. thesis. According to the author, until the development of synthetic rubber, the joint's o-rings were made of natural rubber. Natural rubber not only ages but can also degrade with the action of micro-organisms. Both of these factors lead to a decrease in the sealing capacities of the joint (Warnock, 1999). Synthetic rubbers, even being immune to biodegradation, also suffer aging and, accordingly, a decrease in sealing capacities. Furthermore, the presence of impurities (e.g. sand from the backfill) creates an abrasion effect that diminishes the sealing capacities of the rubber ring. Nevertheless, to the author's knowledge, no NDE tool, either commercially available or in R&D phase, has the capacity to assess the condition of the rubber o-rings *in-situ*.

André Marques Arsénio
Utrecht, November 7, 2013

Bijlage II Antwoorden van bedrijven

Aan de zes drinkwaterbedrijven die deel uitmaken van de Begeleidingsgroep Distributie is middels een vragenlijst voorgelegd drinkwaterbedrijven over de consequenties voor aanleg en beheer van de vijf vervolgstappen. Dit betreffen de bedrijven: WMD, Vitens, Dunea, PWN, Evides en Brabant Water. Er zijn reacties ontvangen van experts van Vitens (Eelco Trietsch), PWN (Peter Horst), Evides (Bart Bergmans) en Brabant Water (Roel Diemel), die hieronder zijn weergegeven.

A. Vaststellen van kritische hoekverdraaiing

1. Hoe wordt het belang ingeschat van het hebben van een normgetal voor hoekverdraaiing om inspecties te kunnen beoordelen? Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog)
2. Kunnen jullie je vinden in het uitvoeren van FEM berekeningen?

| Vraag | Score: | Toelichting: |
|-------|--------|--|
| 1 PWN | 5 | Als straks met inspecties van robots en intelligent pigs informatie vrijkomt over optreden hoekverdraaiing is het noodzakelijk om te weten wat de norm is. |
| 2 PWN | Ja | Ja, maar ga eerst eens informeren bij de leveranciers naar de achtergronden van de normen die zij hebben voor de hoekverdraaiing. |
| 1 BW | 3 | Het is een van de factoren voor lekkages, maar ik denk niet de meest belangrijke |
| 2 BW | Ja | Ja |
| 1 Ev | 5 | Zonder normwaarde hebben inspecties geen zin |
| 2 Ev | | |
| 1 Vit | 4 | Dit zou een mooie 'predictor' kunnen worden voor als we ook daadwerkelijk de hoekverdraaiing in een koppeling kunnen meten. |
| 2 Vit | Ja | Indien praktijkmetingen te duur en technisch (bijna) niet haalbaar zijn, dan lijkt me dit een goed alternatief |

B. Ontwikkelen van een meting van de hoekverdraaiing

3. Behoeft aan toepassing in-line inspectie voor bestaande leidingen? Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog).
4. Behoeft aan ontwikkeling miniatuur meting met bijvoorbeeld laser: Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog).
5. Behoeft aan ingangcontrole bij aanleg? Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog).

| Vraag | Score: | Toelichting: |
|-------|--------|---|
| 3 PWN | 1 | Ja er is behoefte. Dit soort metingen zijn relatief het meest eenvoudig en geven een eerste beeld van de toestand van de leiding. Kan wellicht gecombineerd worden met x,y,z-meting. Deze metingen kunnen echter worden uitgevoerd tijdens trajecten van Acquaint, intelligent pig en Prospero. |
| 4 PWN | 1 | Doe eerst maar eens een CCTV-meting, dat is door Arsénio voorbereid in plaats van al weer over te stappen naar iets nieuws. |
| 5 PWN | 5 | Het vastleggen van de nulsituatie is waarschijnlijk het makkelijkst uit te voeren omdat de leiding nog niet in gebruik is genomen en het is dan mogelijk om meetresultaten uit de toekomst tegen af te zetten. |
| 3 BW | 2 | Tja, ook hier niet direct de hoogste prio, wel mogelijk interessant. Ik heb geen idee hoe groot het probleem is bij de drinkwaterbedrijven. Kan dat niet eerst worden vastgesteld? |
| 4 BW | 2 | |
| 5 BW | 2 | |
| 3 Ev | 3 | Er zijn al een aantal technieken beschikbaar waarmee dit gemeten kan worden in leidingen met een wat grotere diameter (>300mm). In leidingen met kleine diameter denk ik dat we meer moeten inzetten op andere, niet-invasieve, technieken. Zoals verbetering grondradar (vanaf maaiveld) en verdere ontwikkeling benadering z-profiel o.b.v. satellietbeelden. |
| 4 Ev | 1 | Wat mij betreft lage prioriteit. |
| 5 Ev | 3 | Op zich wel interessant, maar geen hoge prioriteit. |
| 3 Vit | 5 | Doen we ook allerlei onderzoek naar en pilots mee als Vitens |
| 4 Vit | 1 | Een lasermeting waarbij een bestaande leiding leeg moet zijn, lijkt me zinloos. Dan zijn de risico's veel te groot. Alleen technieken ontwikkelen met zo min mogelijk risico's en impact op klanten (bij voorkeur). |
| 5 Vit | 3 | We gaan uit van een goede aanleg. Daarbij heeft een inspecteur die aan de sleuf staat mogelijk meer effect dan het achteraf controleren. Indien dat echter niet mogelijk is dan zou een inspectie van een nieuwe leiding (direct na aanleg) de moeite waard kunnen zijn. |

C. Langeduur monitoren PVC leiding

6. Hoe wordt het belang ingeschat van het langdurig monitoren van een leiding met oog op hoekverdraaiing? Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog).
7. Hoe wordt de mogelijkheden voor uitvoering van een dergelijke monitoring gezien bij uw bedrijf.

| Vraag | Score: | Toelichting: |
|-------|--------|--|
| 6 PWN | 1 | Bij het Wetsus thema Smart Water Grids moet een project gaan starten getiteld Smart Pipes. Hier zou bij aangesloten moeten worden. |
| 7 PWN | 3 | Vereist medewerker van het team Drinkwater Operatie. Dit is altijd lastig, zeker in combinatie met andere ambitieuze projecten als extra saneringen en druktesten. |
| 6 BW | 3 | Lijkt me goed als we weten hoe groot het probleem is. Ik ben me bewust van het kip-ei verhaal |
| 7 BW | 4 | Er zijn altijd mogelijkheden hiervoor |
| 6 Ev | 2 | Het zal ongetwijfeld tot inzichten leiden. Maar ik heb het gevoel dat zetting (en daarmee hoekverdraaiing) een te lokaal fenomeen is om er vervolgens algemene conclusies aan te kunnen verbinden. |
| 7 Ev | | |
| 6 Vit | 5 | In zettingsgevoelige gebieden kan dit een zeer zinvol experiment zijn. |
| 7 Vit | 5 | Dit initiatief past prima binnen de Vitens project VIP (smart grids) en Restlevensduurbepaling. |

D. Methode om kritische zones te voorspellen

8. Hoe wordt het belang ingeschat van het hebben van een kanskaart voor het identificeren van kritische zones voor hoekverdraaiing? Cijfer 1 (laag) tot 5 (hoog).

| Vraag | Score: | Toelichting: |
|-------|--------|--|
| 8 PWN | 1 | Het belang is weliswaar hoog, maar volgens mij worden deze kaarten al ontwikkeld in het kader van het STOOP project. We moeten opletten dat we de zaken niet dubbel doen. |
| 8 BW | 4 | Maar in hoeverre is hier stoop en cosima al voldoende dekkend? Altijd goed om op een relatief goedkope wijze kritische zones aan te wijzen voor een duurdere meting op locatie |
| 8 Ev | 5 | Voor het distributienet geloof ik dat dit de lijn is die we moeten volgen. |
| 8 Vit | 1 | Dit is corebusiness van een waterbedrijf naar mijn mening en maken we (dus) al zelf. Daarnaast is dit geen wetenschappelijk onderzoek maar het verzamelen van kaartlagen; dus gewoon doen... |

E. Storingsregistratie: verbeterde herkenning hoekverdraaiing

Voor registreren van falen door hoekverdraaiing bij PVC als gevolg van zettingen dienen onderstaande stappen doorlopen te worden:

- Materiaal: PVC
- Getroffen object: Verbinding
- Type verbinding: niet-trekvast steek
- Aard storing: Verbinding scheur: verdraaiing en/of inschuiving
 Verbinding schuif: uitschuiving
- Oorzaak storing: Uitwendige belasting
- Oorzaak uitwendige belasting: zetting

9. Is herkenning van hoekverdraaiing mogelijk volgens bovengenoemde stappen?

10. zijn er andere manieren om falen door hoekverdraaiing te registreren?

| Vraag | Score: | Toelichting: |
|--------|--------|---|
| 9 PWN | Ja/nee | Ja, Als bedrijven deze data registreren voor Ustore, is het uiteraard mogelijk hieruit af te leiden hoe vaak hoekverdraaiing de oorzaak is van falen. |
| 10 PWN | Ja/nee | Ik zou het niet weten. |
| 9 BW | Ja/nee | Gedeeltelijk, er kunnen ook andere factoren van invloed zijn geweest voor de uiteindelijke lekkage |
| 10 BW | Nee | Ik denk dat een monteur dit ook niet kan herleiden in de sleuf, lastig dus |
| 9 Ev | Ja/nee | Lijkt me grotendeels de lading te dekken, maar er zijn ongetwijfeld nog steeds situaties te bedenken waarbij bovenstaande informatie wordt ingevuld en de oorzaak van het falen niet hoekverdraaiing was. |
| 10 Ev | Ja/nee | |
| 9 Vit | Nee | Het is (naar mijn mening) nagenoeg onmogelijk om in het veld vast te stellen dat een storing het gevolg is van een zetting. |
| 10 Vit | Ja | Zie vragen 2 en 3 hierboven |

Bijlage III Weerstandsmoment buizen en verbindingen

De sterkte van een mof is groter dan die van een buis. Optredende spanningen worden voor een groot deel bepaald door het buigend moment (formule 1) en het weerstandsmoment (formule 2). Het weerstandsmoment is voor een buisvormig element is afhankelijk van de diameter en de wanddikte (formule 2). Uit de voorbeeldberekeningen uit Tabel 11-1 blijkt dat het weerstandsmoment van de mof aanzienlijk groter is dan dat van de buis. Overigens treden er naast buigende momenten ook andere mechanische belastingen op, zoals puntlasten.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} \quad \text{formule 1}$$

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 D} \quad \text{formule 2}$$

Waarbij:

- σ_{max} : Maximale spanning (N/m²)
- M: Buigend moment (Nm)
- W: Weerstandsmoment (m³)
- D: Buitendiameter (m)
- d: Binnendiameter (m)

TABEL 11-1 VOORBEELD VAN EEN BEREKENING VAN HET WEERSTANFDSMOMENT VAN BUIZEN EN VERBINDINGEN, DIMENSIES AFKOMSTIG UIT ARSENIO (2013).

| Buistype | 110 PN10 | | 315 PN10 | | |
|------------------|----------|------------|----------|------------|-----------------|
| | Buis | verbinding | Buis | verbinding | |
| Buitendiameter | 110,15 | 131,13 | 315 | 349,5 | mm |
| Wanddikte | 4,2 | 10 | 12,1 | 15 | mm |
| Binnendiameter | 101,75 | 111,13 | 290,8 | 319,5 | mm |
| Weerstandsmoment | 100730 | 184904 | 2357540 | 3257383 | mm ³ |
| Verhouding | | 1,8 | | 1,4 | |

Opgemerkt wordt dat de wanddikte van verbindingen groter is dan die van buisdelen. Er geldt wel dat in verbindingen groeven zijn waar de wanddikte kleiner is.