

Onderzoek naar de restlevensduur en een op risico gebaseerd langetermijnplan voor drinkwaterleidingen

Mathieu Wauters (Deloitte), Bart Jacobs, Eelco Trietsch (Vitens)

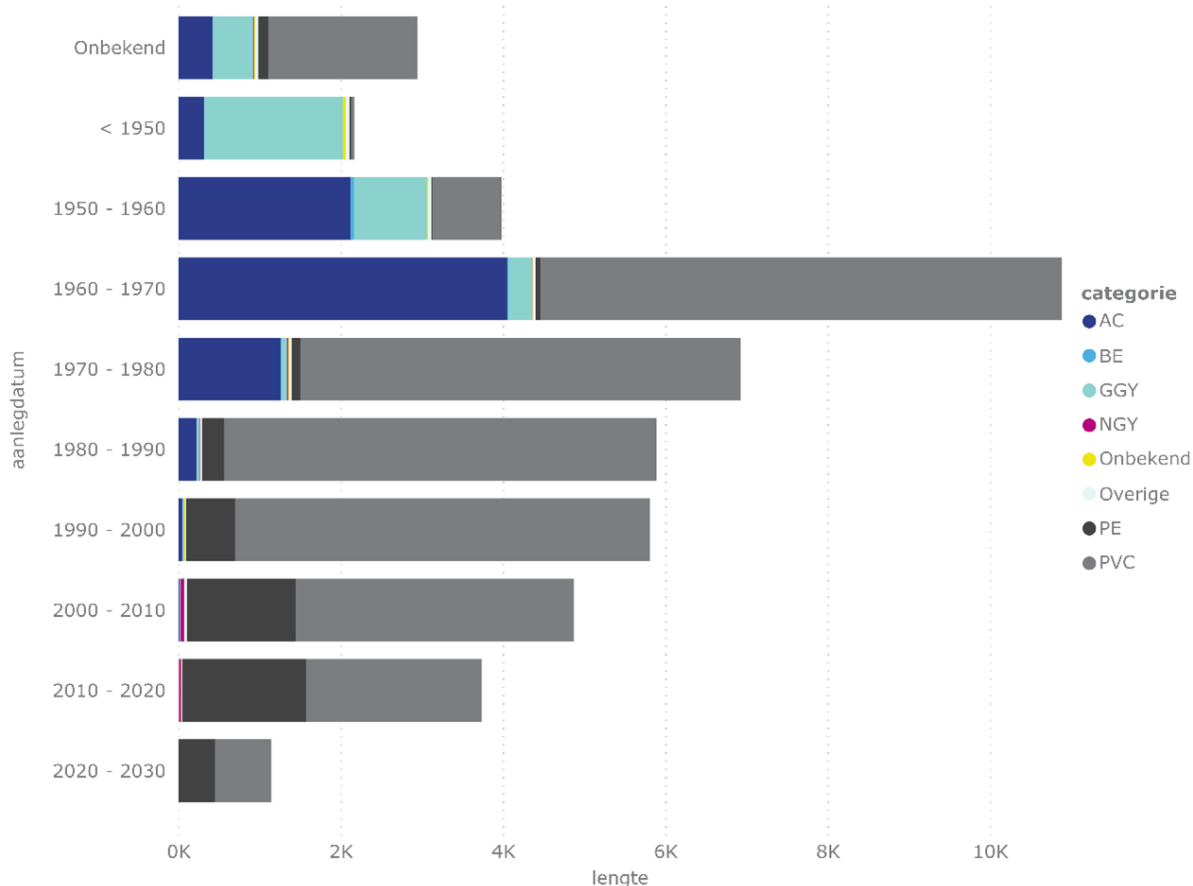
Het voorspellen van de technische restlevensduur maakt het faalrisico van het leidingnet op een datagedreven manier inzichtelijk. Dit risico wordt samen met kosten en prestaties op een correcte manier afgewogen. De beschreven methodiek helpt bij een transparante besluitvorming die zowel intern als extern gecommuniceerd kan worden. Datagedreven onderzoek bevordert onder meer onderbouwde en genuanceerde manier van beslissingen nemen, voor een optimale instandhouding van het leidingnet. Met inzicht in het faalrisico van individuele leidingen kan een budgetniveau bepaald worden, waarmee een prestatieniveau behaald kan worden met een voor Vitens aanvaardbaar risico.

Toegang tot veilig en kwalitatief hoogwaardig drinkwater is een fundamenteel mensenrecht, vastgelegd in artikel 11 van het Internationaal Verdrag inzake Economische, Sociale en Culturele rechten van de Verenigde Naties. Drinkwaterbedrijven hebben de verantwoordelijkheid ervoor te zorgen dat klanten toegang hebben tot deze essentiële basisvoorziening. Voor goede drinkwaterlevering zijn de drinkwaterbedrijven afhankelijk van de conditie van hun netwerk. Dit netwerk bestaat uit transportleidingen die grote volumes water naar de verbruiksgebieden transporteren en vervolgens overgaan in distributieleidingen die via aftakkingen het drinkwater tot bij de klant brengen.

Het leidingnet bestaat uit diverse materiaalsoorten van verschillende kwaliteit, die in verschillende periodes zijn geïnstalleerd. Door veroudering van het leidingnet ontstaat het risico dat storingen steeds vaker, en bovendien tegelijkertijd, optreden. Dit leidt tot een toename in het aantal ongeplande interventies. Om dit te vermijden is het noodzakelijk inzicht te krijgen in de degradatie van het leidingnet, zodat er tijdig ingegrepen kan worden. Met deze inzichten in degradatie is een prognose te maken van de restlevensduur van het leidingnet en kunnen de benodigde investeringen geraamd worden.

Opzet

In dit artikel presenteren Vitens en adviesbureau Deloitte de aanpak en resultaten om te komen tot een op risico gebaseerde langetermijnplanning voor het vervangen van bijna 50.000 kilometer aan leidingen, verdeeld over vijf provincies. Via deze leidingen worden 5,9 miljoen klanten van drinkwater voorzien. Het distributienet kan beschreven worden volgens de indeling naar materiaal en aanlegdatum, zoals te zien is in afbeelding 1. Hierbij wordt opgemerkt dat PVC en PE de meest voorkomende materiaalsoorten zijn en steevast worden gebruikt voor de aanleg van nieuwe leidingen. Bij de oudere leidingen, aangelegd voor 1980, is een groter aandeel van asbestcement en grijs gietijzer te zien.



Afbeelding 1. Verdeling van het distributienet naar materiaal en aanlegjaar

Als eerste wordt beschreven welke uitdagingen op het vlak van data aangepakt moeten worden. Data vormen immers cruciale input om inzichten in het degradatiegedrag van leidingen te verwerven. Vervolgens wordt dieper ingegaan op het onderscheid tussen storingen die zich gedurende de levensduur van een leiding voordoen en ‘falingen’, die een indicatie vormen van een structurele, technische degradatie. Deze definitie van falingen wordt gebruikt in een volgende om in een volgende paragraaf de restlevensduur modelleren. Ook wordt beschreven hoe er wordt overgegaan van een restlevensduur naar een risico per leiding. Dit risico wordt gebruikt om een vervangingsplanning op te maken. Het artikel wordt afgesloten met een aantal conclusies uit dit onderzoek.

Uitdagingen bij het gebruik van data

In dit onderzoek dienden een aantal datagerelateerde uitdagingen aangepakt te worden:

- **Dataregistratie:** hoewel storingen nu rechtstreeks gekoppeld worden aan leidingen, was dit in het verleden niet het geval. Er diende daarom een methodiek ontwikkeld te worden om de juiste storing aan de juiste leiding toe te kennen. Tevens zijn er administratieve ingrepen geweest (bv. het administratief opknippen van leidingen in kleinere segmenten terwijl het fysiek om dezelfde leiding gaat).
- **Ontbrekende data:** het niet bijhouden van historische data is een probleem dat geldt voor zowel het aanlegjaar, dat doorgaans ontbreekt voor oudere leidingen, als verwijderde leidingen waarvan de data niet consistent worden bijgehouden.

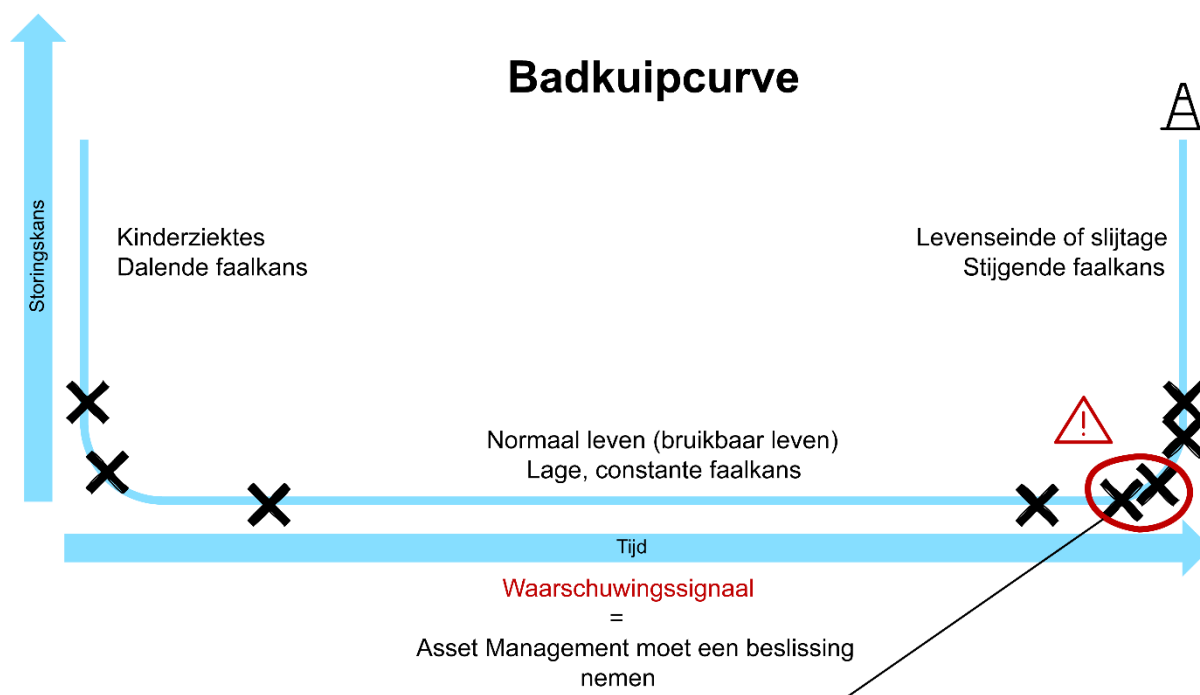
- Externe data: in het publieke domein is een schat aan informatie beschikbaar omtrent externe data en, specifiek, omgevingsfactoren (bodemsom, kalkgraad, vegetatie, etc.). Om de data van de leidingen te verrijken met deze omgevingsfactoren diende ook een methodiek ontwikkeld en toegepast te worden. Deze omgevingsfactoren kunnen immers een belangrijke rol spelen in het degradatiegedrag.

Verderop in dit artikel wordt de datagedreven methode meer in detail toegelicht. Aangezien datagedreven methoden onderworpen zijn aan het 'Garbage In, Garbage Out'-principe, dienen gebruikers van de resultaten op de hoogte te zijn van de kwaliteit van de data en de aannames waarmee is gewerkt. De datakwaliteit is in dit onderzoek gemeten aan de hand van twee dimensies: volledigheid (zijn alle datavelden ingevuld, ongeacht de ingevulde waarde?) en nauwkeurigheid (zijn de juiste waarden ingevuld?).

Van storingen naar falingen

Zoals vermeld in de inleiding, ligt de focus hier op de technische levensduur van een leiding. De technische levensduur kan gezien worden als de levensduur waarbinnen een asset in staat is zijn functie te blijven uitoefenen. Deze dient onderscheiden te worden van bijvoorbeeld de financiële levensduur, die op basis van een afschrijvingstermijn wordt bepaald.

Een veelgebruikte manier om technische levensduur te benaderen is de 'badkuipcurve' (zie afbeelding 2). Deze geeft het verwachte verloop van het aantal storingen tijdens de levensduur weer. Aan het begin van de levensduur van een leiding kunnen al enkele storingen voorkomen (bv. door installatiefouten), waarna een leiding een stabiel verloop kent met slechts sporadisch een storing. Het voorkomen van een storing op zich is echter niet noodzakelijk een teken van degradatie en het naderende einde van de technische levensduur. Als er in korte tijd en op korte afstand van elkaar herhaaldelijke storingen optreden kan dat een indicatie zijn van het naderende einde van de technische levensduur. Op dit punt in de tijd moet er vanuit assetmanagementperspectief een beslissing worden genomen (bv. niets doen, vervangen in functie van combiwerken, etc.). Deze 'early warning' vormt het fundament voor de hier besproken aanpak.



Afbeelding 2. De badkuipcurve met rechts een toename van het storings. Dit is meestal het tijdstip waarop een beslissing ten aanzien van de leiding (bv. vervangen, niets doen) dient te worden genomen

Het herhaaldelijk voorkomen van storingen binnen een kort tijdsbestek en op korte afstand van elkaar noemen we een falingspatroon. In deze studie is gezocht naar een faalpatroon dat aan bovenstaande definitie voldoet. Om dit te doen, wordt afgestapt van het begrip van een individueel leidingsegment en worden asset-eenheden geïntroduceerd. Dit zijn groepen leidingen die fysiek in elkaars verlengde liggen en gemeenschappelijke kenmerken delen, zoals hun status (wel/niet in gebruik), materiaaltype, diameter, installatiejaar, et cetera. Het clusteren van leidingen tot asset-eenheden biedt een antwoord op de eerder besproken uitdaging omtrent het administratief opknippen van leidingen. Door deze clusteringsstap toe te passen wordt het aantal teruggebracht van 692.702 leidingen naar 279.592 asset-eenheden.

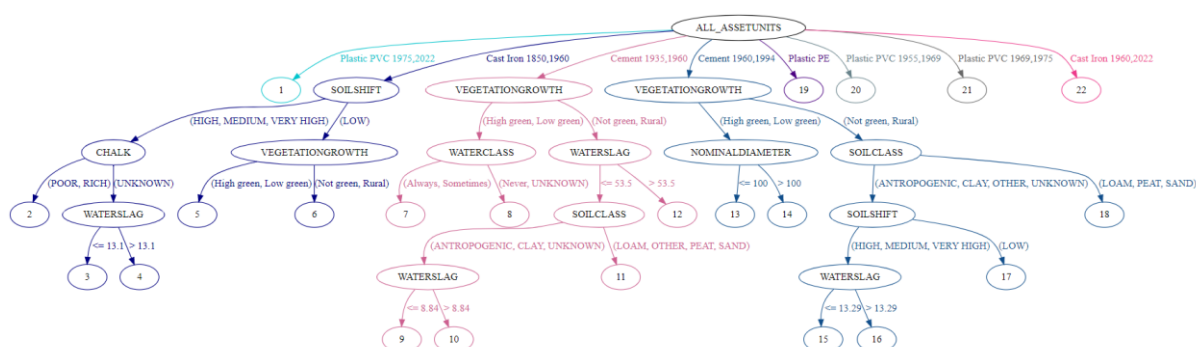
Vervolgens wordt op het niveau van asset-eenheden gezocht naar een passend faalpatroon in lijn met de badkuipcurve. Hiertoe worden enkele aannames gedaan om bijvoorbeeld kinderziekten uit te sluiten. Zo worden storingen binnen vijftien jaar na de installatiedatum niet meegenomen en dienen asset-eenheden drie of meer storingen te bevatten. Verder wordt aangenomen dat storingen een oorzakelijk verband met elkaar houden als ze in elkaars buurt liggen, zowel op vlak van tijd (tijd tussen opeenvolgende storingen) als van ruimte (de afstand waarbinnen storingen zich voordoen in eenzelfde asset-eenheid). De parameters voor tijdsbestek en afstand worden gevarieerd (tot respectievelijk maximaal 6 jaar en 800 meter) en toegepast op elk paar van storingen binnen eenzelfde asset-eenheid. Op basis van deze analyse komt de definitie van een falingspatroon tot stand.

Restlevensduurbepaling

Om over te gaan tot de modellering van de technische levensduur, worden aan de asset-eenheden geografische kenmerken gekoppeld. Op deze manier is na te gaan of, naast technische (zoals materiaalsoort en diameter), ook geografische factoren (zoals de aanwezigheid van vegetatie en kalkgraad in de bodem) een invloed uitoefenen op het faalgedrag.

Voor de modellering is gebruik gemaakt van de techniek die survivalanalyse wordt genoemd, die de verwachte tijdsduur tot het optreden van een falen voorspelt. Gebruikmakend van een Machine Learning-algoritme worden alle asset-eenheden in verschillende groepen gesplitst op basis van de correlatie met het voorkomen van falen. Het splitsen gaat door tot er geen significante relatie tussen de attributen en het faalgedrag voorkomt of tot er te weinig resterende asset-eenheden in een groep zitten. Het resultaat is de indeling van alle asset-eenheden in 22 verschillende groepen, genaamd assetcohorten, die op basis van hun faalgedrag een verschillende levensduur vertegenwoordigen (zie afbeelding 3).

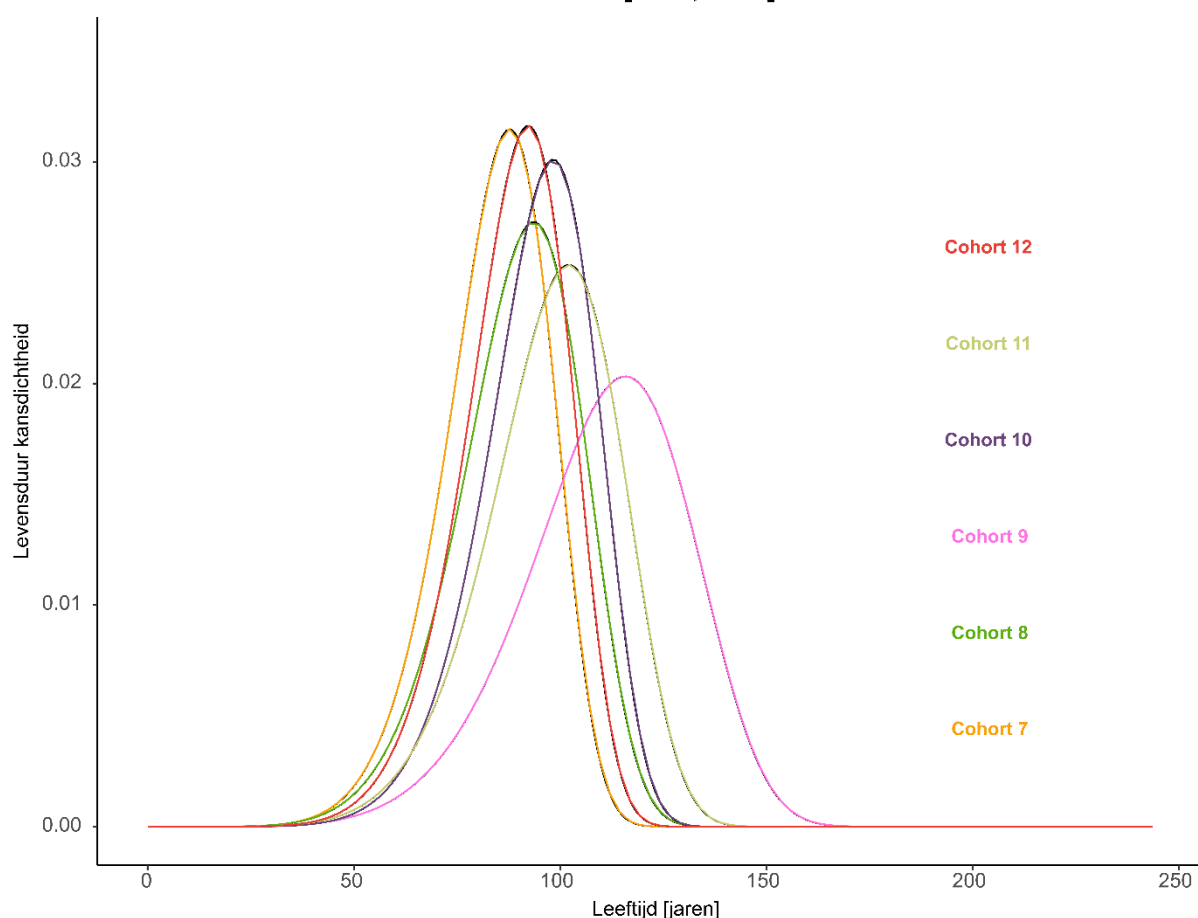
Merk op dat niet alle cohorten verder worden gesplitst. Voor PE wordt bijvoorbeeld geen splitsing gemaakt omdat er te weinig falen zijn waargenomen op deze asset-eenheden. Hierbij wordt momenteel met een standaardwaarde gewerkt op basis van de expertise van Vitens. Met het verouderen van het netwerk zal echter een groter deel van de asset-eenheden falen, waardoor deze tak van de 'boom' zich verder zal ontwikkelen en er een betrouwbare schatting kan worden gemaakt. Hierin schuilt meteen ook de meerwaarde van een zelflerend algoritme dat met bijkomende data rond falen en assets tot verfijnde inzichten komt.



Afbeelding 3. Boomstructuur waarin alle asset-eenheden zijn verdeeld in 22 assetcohorten

Het resultaat van de survivalanalyse kan gevisualiseerd worden met een grafiek die de verwachte technische levensduur uitzet ten opzichte van de kans van voorkomen. Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 4.

Alle cohorten voor het materiaal Cement [1935, 1960]



Afbeelding 4. Kansverdeling voor de specifieke levensduren van de zes assetcohorten

Uit deze grafiek kan niet alleen de gemiddelde levensduur van een cohort worden afgeleid, maar ook de spreiding in de verwachte levensduur. In de grafiek is te zien dat voor het materiaal ‘cement’, aangelegd tussen 1935 en 1960, cohort 7 een gemiddelde levensduur van 84 jaar zou hebben. Dit betekent dat als er vandaag een leiding met de kenmerken van cohort 7 aangelegd wordt, deze leiding gemiddeld 84 jaar meegaat. Bovendien werkt de methodiek op basis van een conditionele probabiliteit: zo zal een asset die reeds 60 jaar oud is, ouder worden dan de gemiddelde leeftijd van 84 jaar, omdat hij al de leeftijd van 60 jaar heeft bereikt. Op die manier kan een betrouwbare uitspraak worden gedaan over de restlevensduur van een asset op verschillende momenten van zijn levensduur. Op deze schatting van de gemiddelde totale levensduur zit een bepaalde onzekerheid, omdat de historische gegevens van Vitens moeten worden geëxtrapoleerd. Specifiek voor cohort 7 bedraagt de graad van onzekerheid ongeveer 13 jaar, waarmee er bijvoorbeeld betrouwbaarheidsintervallen gemaakt kunnen worden of er een afweging gemaakt kan worden als functie van het totale risico van de asset (zie volgende sectie).

Van restlevensduur naar risico

Op basis van het voorgaande kan voor elke asset-eenheid een technische restlevensduur worden bepaald. Een van de dimensies van een assetrisico is de zogenoemde ‘Asset Health’, de waarschijnlijkheid van falen. Deze kan berekend worden door de restlevensduur te delen door de verwachte technische levensduur. De vraag is echter of twee leidingen uit hetzelfde cohort en met dezelfde Asset Health op hetzelfde moment vervangen moeten worden.

Om deze vraag te beantwoorden, moet ook gekeken worden naar de impact van falen (‘Asset Criticality’). Zo kan er gekozen worden om een leiding in grootstedelijk gebied of voor een ziekenhuis eerder te vervangen dan een leiding in landelijk gebied. Met andere woorden: op basis van de *criticality* van een asset, kan ervoor worden gekozen om deze eerder dan gemiddeld, gemiddeld of zelfs later dan gemiddeld te vervangen. Met deze instrumenten kan op verantwoorde wijze voor levensduurverlenging worden gekozen, waarbij voor zeer kritieke leidingen een omgekeerde beslissing mogelijk is. De combinatie van *health* en *criticality* geeft aanleiding tot een risicokleur die een weerspiegeling vormt van de tijdspanne en het soort beslissing dat genomen dient te worden. Dit kan in een risicomatrix worden uitgedrukt, of via een GIS-systeem grafisch worden voorgesteld (zie afbeelding 5).



Afbeelding 5. Kaart van het Vitens-voorzieningsgebied waarin het leidingnet ingekleurd is naar risico

Van risico naar planning

Vitens gebruikt een risicomodel dat de faalkans - én het effect van dat falen - voor alle leidingen berekent, en daarmee een risicoscore per leiding. De resultaten van de restlevensduuranalyse dragen vooral bij aan een meer nauwkeurige faalkansbepaling.

Het risicomodel prioriteert vervolgens de leidingen op basis van deze risicoscore. Deze prioriteit is leidend bij het bepalen van het benodigde vervangingsniveau en ondersteunend bij het nemen van investeringsbeslissingen.

Met het risicomodel kunnen de prestaties van het leidingnet op de lange termijn (100 jaar) op peil worden gehouden en kan een voorspelbaar en evenwichtig investeringsverloop worden verkregen.

Door de verbeterde inzichten uit deze studie is de betrouwbaarheid van het risicomodel verbeterd en is de vervangingsopgave beter onderbouwd.

Conclusies

Het datagedreven onderzoek zoals hiervoor beschreven maakt het mogelijk om op een meer onderbouwde en genuanceerde wijze beslissingen te nemen voor een optimale instandhouding van het leidingnet. De verkregen inzichten bieden de mogelijkheid om verder te gaan dan het sturen op basis van een gemiddelde.

De inzichten in het risico van individuele leidingen maakt het mogelijk om een budgetniveau te bepalen, waarmee een prestatieniveau behaald kan worden, in lijn met een voor Vitens aanvaardbare risicobereidheid. Het zorgt er met andere woorden voor dat risico, kosten en prestaties op een correcte manier worden afgewogen, zowel op het niveau van het totale leidingnet als op het niveau van prioriteitenstelling voor individuele leidingen. De methodiek zorgt voor een transparante besluitvorming die zowel intern als extern gecommuniceerd kan worden.

Tot slot volgen hier nog de voornaamste conclusies uit dit onderzoek:

- Een goede dataregistratie, zowel wat betreft leidingen die in gebruik zijn als verwijderde leidingen, is van cruciaal belang om een datagedreven methodiek te voeden. Het correct kunnen koppelen van storingen aan leidingen vormt het startpunt voor een onderzoek naar de restlevensduur van het leidingnet.
- Externe factoren kunnen een belangrijke rol spelen bij verouderingsgedrag: 2 assets van dezelfde leeftijd en dezelfde technische kenmerken kunnen door hun blootstelling aan omgevingsfactoren een ander faalgedrag vertonen.
- De inzichten uit de gehanteerde methodiek maken het mogelijk om een meer gedifferentieerd en nauwkeuriger vervangingsbeleid uit te stippelen. Dankzij machine learning worden deze inzichten steeds rijker en zal de onzekerheid op de restlevensduurbepaling verder afnemen.
- Risico kan niet als alleenstaand element beschouwd worden, maar moet in evenwicht zijn met de benodigde kosten en het te verwachten prestatieniveau. Een risicoloos net bestaat niet. Wel kan voor elke risicopositie inzicht worden geboden in kosten en de geambieerde prestaties (bv. ondermaatse leveringsminuten).