

## Akoestische metingen brengen de leidingconditie in beeld

*Ralph Beuken (KWR), Peter Horst (PWN), George Mesman (KWR), Ronald van Eijk (KWR)*

*Het leidingnet in Nederland heeft een totale lengte van ongeveer 117.000 km. De totale vervangingswaarde wordt geschat op 20 tot 30 miljard euro. De prestaties op het gebied van de geleverde waterkwaliteit, het aantal leidingbreuken en het lekverlies zijn beter dan in de ons omringende landen. Het leidingnet kent een grote diversiteit aan leidingmaterialen; van een deel van de leidingen nadert het einde van de levensduur. Om de conditie van het net en de kwaliteit van levering op een aanvaardbaar niveau te houden, zal de komende decennia een deel van de leidingen vervangen worden. De vraag is hierbij: welke leidingen vervangen en op welk moment?*

*Het Canadese bedrijf Echologics heeft een techniek ontwikkeld die waterbedrijven kan ondersteunen bij het beantwoorden van deze vragen. Binnen het Bedrijfstakonderzoek (BTO), dat KWR uitvoert voor de Nederlandse waterbedrijven, is onderzocht in hoeverre deze techniek toegevoegde waarde heeft voor de Nederlandse waterbedrijven.*

De oudste Nederlandse waterleidingen dateren uit het midden van de negentiende eeuw. Tot het midden van de twintigste eeuw waren ze vooral van grijs gietijzer. Vanaf de jaren dertig deed asbestcement (AC) zijn intrede als leidingmateriaal; vooral in de jaren vijftig en zestig is dit veelvuldig toegepast. Tegenwoordig worden vooral pvc-leidingen aangelegd. Het leidingnet bestaat momenteel voor ongeveer 10% uit grijs gietijzer en voor 30% uit asbestcement. Onder gunstige omstandigheden kan een groot deel van deze leidingen nog jaren mee. De komende decennia zal echter een groot deel van de leidingen vervangen worden. Waterbedrijven stellen hiervoor vervangingsbeleid op, dat zich richt op twee aspecten:

- De benodigde investeringsomvang: wat is de omvang van de te vervangen leidingen, welke groepen komen voor vervanging in aanmerking?
- Het saneringsplan: welke specifieke leidingen worden op welk moment vervangen en hoe is in te spelen op ontwikkelingen van derde partijen in de boven- en ondergrond?

### **Methoden van conditiebepaling**

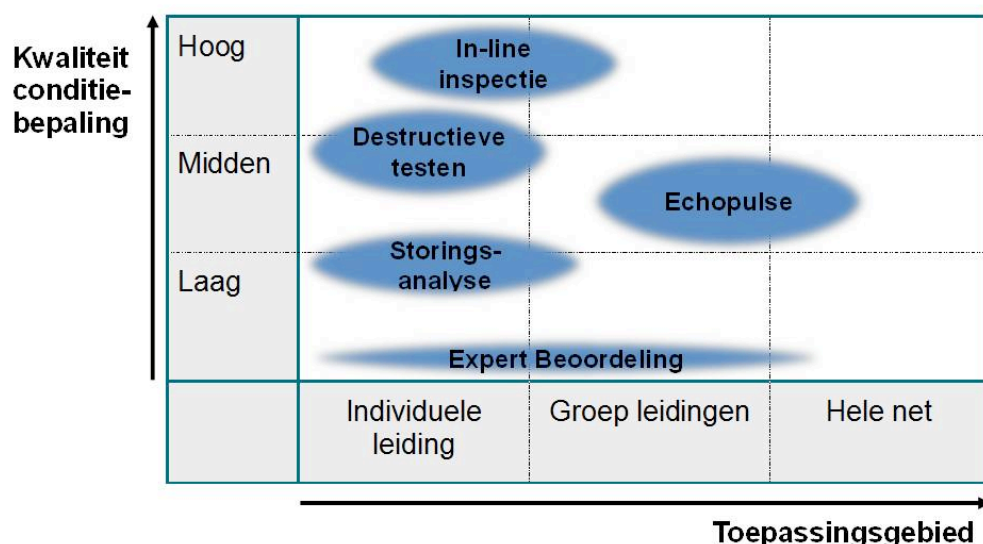
Om de conditie van leidingen vast te stellen zijn meerdere methoden beschikbaar, die verschillen in aanpak, resultaat en kosten. Elke methode kent beperkingen: het beste resultaat is te bereiken als deze methoden complementair worden ingezet. Hierbij zullen waterbedrijven steeds de afweging moeten maken in hoeverre de inspanning voor extra informatie over de conditie leidt tot nauwkeuriger meetresultaten. Op basis van toenemende kosten zijn beschikbare methoden in grote lijnen als volgt in te delen:

- Expertbeoordeling, gebaseerd op lokale ervaringen van betrokkenen of experts met generieke kennis. Deze methode is goedkoop. Belangrijke aandachtspunten zijn de volledigheid en objectiviteit van de oordelen en de wijze van documentatie.
- Analyse van storingen. Door na te gaan hoe vaak leidingen storen (tot lekkage leiden) ontstaat een beeld welke groepen leidingen de meest negatieve impact hebben op de

leveringsprestatie. Centrale data-analyse verschaft informatie over het gedrag van groepen leidingen. Voor dit laatste is door KWR de storingsdatabase USTORE opgezet.

- Destructieve conditiebepalingen, waarbij in geval van storingen of werkzaamheden een buisdeel wordt uitgenomen om de conditie te testen. Hiervoor zijn testen beschikbaar voor pvc (gelering en langzame scheurgroei), AC (fenolftaleïnetest, meting van de wanddikte met constructieve sterkte, oftewel waaruit nog geen kalk is uitgelooft) en gietijzer (stralen van schulpen en meten treksterkte). Deze testen worden destructief genoemd, aangezien er een leidingdeel wordt uitgenomen, en zij geven een betrouwbare conditiebepaling van het specifieke buisdeel. De vraag blijft in hoeverre deze conditie is te vertalen naar groepen leidingen. Bij een focus op storingen is de representativiteit een aandachtspunt, aangezien dan de conditie wordt vastgesteld van leidingen waar een storing heeft plaatsgevonden.
- Innovatieve inline inspectie, die een zeer gedetailleerd beeld van de conditie van leidingen geeft. Er zijn technieken beschikbaar voor het inspecteren van metalen en AC-leidingen groter dan 200 mm. De kosten van deze inspecties zijn hoog. Er dient een toegangspunt voor de meetapparatuur te worden gecreëerd, wat een leveringsonderbreking inhoudt. Bovendien zijn voorzorgsmaatregelen nodig om de waterkwaliteit te waarborgen. Deze technieken zijn alleen inzetbaar bij grotere (transport-) leidingen en leidingen waar een breuk een groot effect heeft op de omgeving.

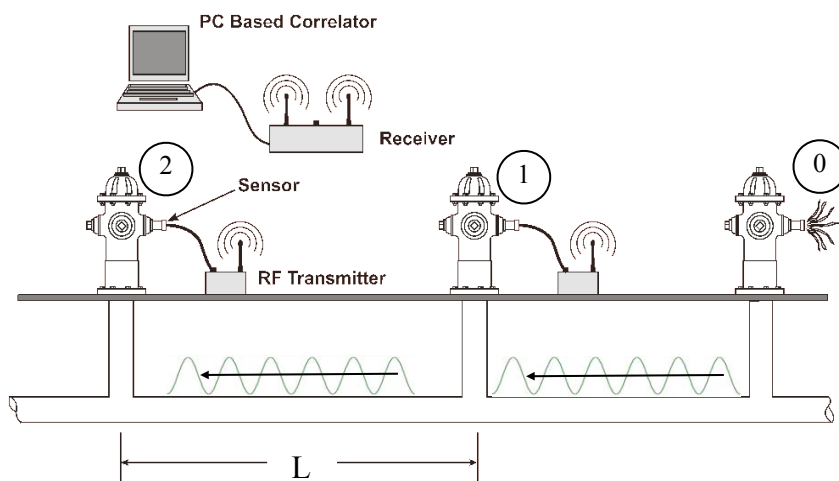
In afbeelding 1 zijn bovenstaande methoden gegroepeerd op basis van toepassingsgebied en betrouwbaarheid. Hierbij geldt dat door analyses kennis over de conditie van individuele leidingen wordt vertaald naar groepen leidingen en het gehele leidingnet.



**Afbeelding 1. Verschillende manieren voor conditiebepaling van leidingen**

## Echopulse metingen

Door het Canadese bedrijf Echologics is een techniek ontwikkeld die een goede aanvulling kan zijn op bovenstaande methoden (afbeelding 1). De techniek, Echopulse genaamd, is een doorontwikkeling van akoestische technieken voor het detecteren van lekken met zogenaamde *leak noise correlators*. Deze correlators detecteren het geluid dat geproduceerd wordt door water dat door een lek stroomt. De voortplanting van geluid is afhankelijk van de stijfheid van de leiding, meer specifiek de elasticiteit van het materiaal, de diameter en de wanddikte. De door Echologics ontwikkelde techniek bepaalt de stijfheid op basis van gemeten karakteristieken van de geluidsgolf. Op de pieken van de geluidsgolven wordt de buis iets opgerekt. Dit oprekken kost energie en dempt daarmee het geluidspatroon. Dit principe wordt weergegeven in afbeelding 2. Geluid wordt opgewekt door het spuien van een brandkraan of door het met een hamer tikken op de buis. Dit geluid wordt opgevangen door twee sensoren, waarbij het verschil in het geluidspatroon wordt geregistreerd. Het verschil wordt omgezet naar de gemiddelde buisstijfheid tussen beide meetpunten. Omdat diameter en leidingmateriaal, en daarmee de elasticiteitsmodulus, bekend horen te zijn, kan de gemiddelde wanddikte worden bepaald. Dit betreft de wanddikte die constructieve sterkte bezit, de effectieve wanddikte genoemd. Voor AC-leidingen is dit de dikte van de niet uitgeloopte buiswand. Voor metalen leidingen is het de dikte van de niet-gecorrodeerde buiswand. Door deze berekende waarden te vergelijken met de oorspronkelijke wanddikte bij aanleg, is de gemiddelde aantasting van het leidingdeel te bepalen. Voor betonnen leidingen kan worden berekend in hoeverre de voorgespannen wapening nog intact is.



**Afbeelding 2. Akoestische meting door Echologics** Bij punt 0 wordt een geluid geproduceerd dat wordt opgevangen bij de punten 1 en 2. Verschillen in het geluidsspectrum van 1 en 2 geven informatie over de gemiddelde stijfheid van buislengte  $L$ . (bron: Echologics).

## Voorwaarden en opzet meting

De Echopulse techniek meet de gemiddelde stijfheid van een leidingtracé. Op basis van de leidingkarakteristieken wordt vervolgens de effectieve wanddikte bepaald voor AC- en metalen leidingen. Voor betonnen leidingen wordt het stijfheidsverlies berekend. Om deze waarden te

berekenen is informatie nodig over de lengte, diameter en wanddikte van de leiding en over eventuele coating (type en dikte). Voor betonnen leidingen is daarnaast informatie nodig over de wapening. Een belangrijk punt is de actuele elasticiteitsmodulus van het leidingmateriaal. Voor uitvoering van de proef wordt een aantal condities gesteld. De meest relevante zijn:

- De sensoren moeten contact maken met de leiding bij afsluiters, brandkranen of bij de bovenkant van de leiding door het graven van een gat van minimaal 30 cm doorsnede.
- Er mag geen lucht aanwezig zijn in de leiding, omdat wordt uitgegaan van een niet-samendrukbaar medium.
- Hoewel er filters zijn voor veel voorkomende achtergrondgeluiden, moet de aanwezigheid van te prominente geluiden zo veel mogelijk worden vermeden. Als maximum stroomsnelheid van het water wordt 1,5 m/s aangehouden. Daarnaast wordt aangeraden geen metingen uit te voeren binnen 200 meter van werkende pompen.
- De minimale afstand tussen meetpunten bedraagt 10 meter en de maximale afstand 150 meter. Er zijn ook specifiek voor dit doel ontwikkelde microfoons die een maximale afstand van 300 meter mogelijk maken.
- De meting is toepasbaar op alle leidingdiameters.

Zo wordt de gemiddelde conditie van de leiding gemeten en kan de locatie van lekken worden gedetecteerd. Volgens opgave van de fabrikant worden lekken vanaf 10 l/min altijd gedetecteerd en is in gunstige omstandigheden tot 2 l/min mogelijk.

### **Metingen in het veld**

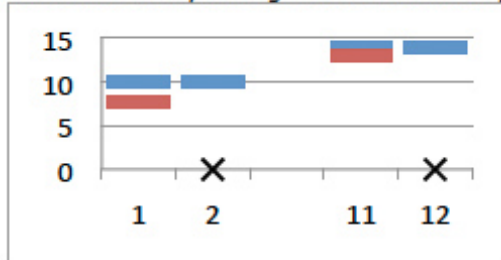
Verschillende waterbedrijven hebben interesse getoond in het testen van de Echopulse techniek. Afbeelding 3 geeft een overzicht van de resultaten van de metingen die plaatsvonden in 2012 aan AC- en grijs gietijzeren leidingen. De berekende wanddikten hebben betrekking op de effectieve wanddikte, dat deel van de leidingwand dat niet is uitgelooft of gecorrodeerd. Naar aanleiding van de meting met de Echopulsetechniek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Waterbedrijven beschouwen de Echopulse techniek als goed uitvoerbaar. De signalen zijn goed uit te lezen en op alle locaties was meting mogelijk.
- Er kan ongeveer 1 kilometer leiding per dag worden geïnspecteerd. De verwachting is dat bij een meer routinematige inzet inspectie van 1,5 kilometer per dag mogelijk is.
- Echologics voert metingen uit, waarna zij de meetresultaten bewerkt en analyseert en een rapportage opstelt. Deze rapportage werd ongeveer binnen een maand aangeleverd.
- In afbeelding 3 is in vijf gevallen geen gemeten waarde aangegeven (waarde is X). Dit betreffen inspecties met een onlogische waarde. In de meeste gevallen bleek het te gaan om een niet in het LIS geregistreerde pvc reparatiebuis, aangebracht na een leidingbreuk. Bij Brabant water ging het om een bekende reparatiebuis die met opzet niet was aangegeven. Echologics geeft aan dat een juiste bepaling van de omliggende AC-leidingen mogelijk is mits de lengte en positie van de reparatiebuis zijn aangegeven.

WML, Meijel: 100 mm AC, L = 913 m



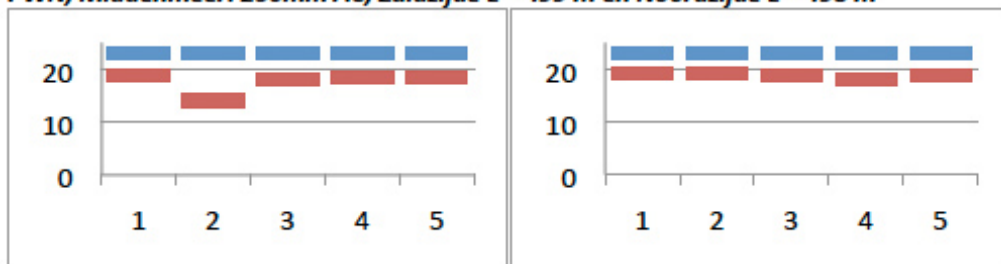
Brabant Water, Moergestel: 100mm AC, L = 226 m en 125mm AC, L = 142 m



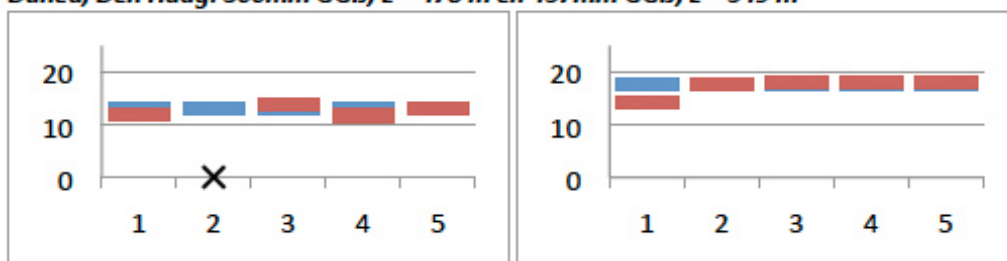
PWN, de Woude: 100mm AC, 682 m



PWN, Middenmeer: 250mm AC, Zuidzijde L = 499 m en Noordzijde L = 498 m



Dunea, Den Haag: 300mm GGIJ, L = 478 m en 457mm GGIJ, L = 549 m

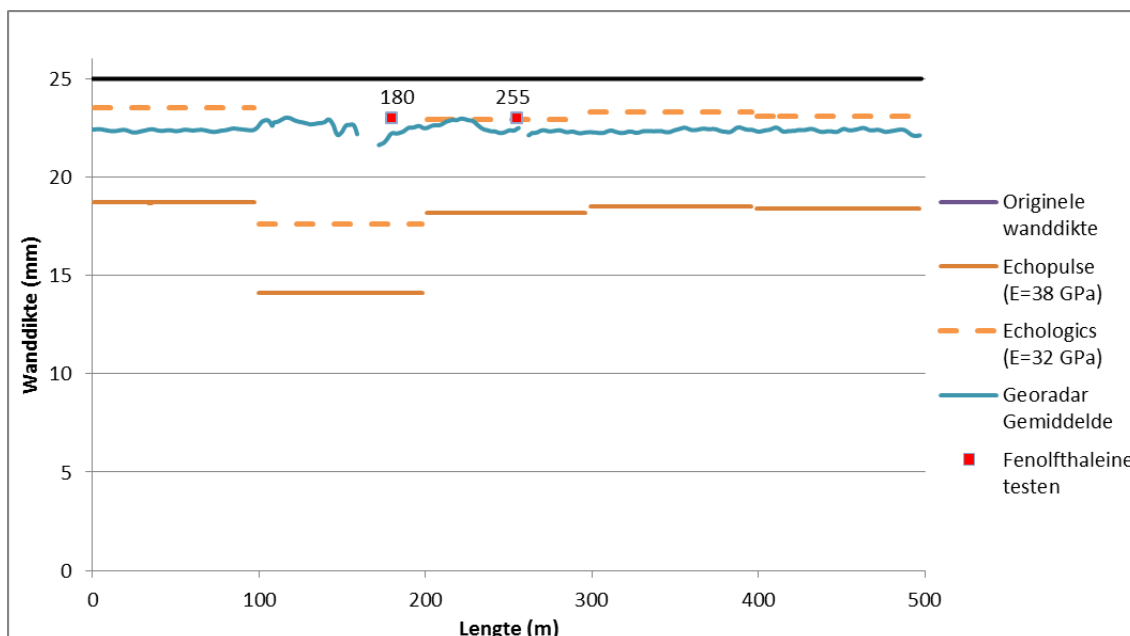


**Afbeelding 3. Resultaten metingen Echologics met de meetlocaties op de x-as**  
De oorspronkelijke wanddikte is aangegeven in blauw, de gemeten wanddikte in bruin.

- Afbeelding 3 laat twaalf gevallen zien van een berekende wanddikte die groter is dan de originele wanddikte (bij zeven metingen in een AC-leiding en bij vijf metingen in gietijzeren leidingen). Voor AC zijn er twee mogelijke verklaringen:
  - Voor de berekening van de effectieve wanddikte wordt gebruik gemaakt van de elasticiteitsmodulus, die voor een elastische vervorming de verhouding aangeeft tussen de spanning en de bijbehorende vervorming. Voor leidingmaterialen is de elasticiteitsmodulus in de praktijk meestal hoger dan de minimaal vereiste. AC-leidingen van Eternit hebben een vereiste elasticiteitsmodulus van 25 GPa. Voor AC geldt dat de elasticiteitsmodulus door uitharding na verloop van tijd nog toeneemt. Echologics geeft aan dat de huidige AC-leidingen uit de Verenigde Staten een elasticiteitsmodulus hebben van circa 38 GPa.
  - Het is ook mogelijk dat de wanddikte van een leiding afwijkt van de waarde in de catalogus. In oude catalogi van AC-buizen worden maattoleranties tot 2 mm vermeld. Dit houdt in dat leidingen vaak een dikkere wand hebben dan aangegeven is in de catalogus.

#### Validatie meetresultaten

Om de betrouwbaarheid van de Echopulsetechniek te toetsen, heeft PWN aanvullende metingen gedaan in Middenmeer (Zuidzijde). Door M.J. Oomen Radartechniek is een inline radar inspectie uitgevoerd en door medewerkers van PWN zijn twee fenolftaleïne testen uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 4.



**Afbeelding 4. Resultaten van metingen van de effectieve wanddikte in Middenmeer (PWN)**

Volgens de (Eternit) catalogus bedraagt de wanddikte van deze leiding 23 mm. De wanddikte is in het veld gemeten met fenolftaleïne-testen en bedroeg op meetpunt 1 (Lengte = 180 m) 24,9 mm en op meetpunt 2 (Lengte = 255 m) 25,4 mm. Voor deze validatie is een wanddikte van 25 mm aangehouden.

- De berekende waarden met de Echopulsetechniek variëren in eerste instantie van 18,2 tot 18,7 mm. De berekening voor locatie 2 geeft een afwijkend resultaat geeft van 14,1 mm. Voor de berekening van de effectieve wanddikte heeft Echologics een elasticiteitsmodulus van 38 GPa aangehouden.
- Voor de inline meting met georadar is toegang nodig tot de buis. Hiervoor is halverwege (Lengte = 260 m) een leidingdeel uitgenomen, waarna naar weerszijden is gemeten. Aan één zijde liep de apparatuur vast (Lengte = 165 m). Hier bleek een niet in LIS geregistreerd pvc reparatiestuk aanwezig te zijn. Dit verklaart de afwijkende meting van 14,1 mm met de Echopulsetechniek. Om toch de hele leiding te kunnen meten is een tweede toegangspunt gecreëerd aan het begin van de leiding (Lengte = 0). De test met georadar bestaat uit drie metingen in de lengterichting van de leiding (klokpositie: 10 uur, 12 uur en 2 uur) met een meetdichtheid van 2 cm. In afbeelding 4 is de gemiddelde waarde van de metingen op drie klokstanden weergegeven. De metingen laten een gelijkmatige waarde van de effectieve wanddikte zien, variërend van 20,8 mm tot 23,5 mm. De gemiddelde wanddikte bedraagt 22,4 mm. Overigens zijn ook de verschillen tussen de drie metingen op de drie klokstanden zeer klein, in 95% van de metingen kleiner dan 0,91 mm.
- De hierboven genoemde fenolftaleïne-testen gaven in beide gevallen een effectieve wanddikte van 23 mm.

De waarden die resulteren uit de metingen met georadar en fenolftaleïne tonen een sterke overeenkomst. Zoals hierboven betoogd speelt bij de Echopulsetechniek de aangenomen elasticiteitsmodulus een grote rol. Achteraf is door Brabant Water en PWN een buisdeel naar Echologics verstuurd, waarvan de elasticiteitsmodulus is bepaald. Metingen wezen uit dat beide buisdelen een elasticiteitsmodulus hadden van ongeveer 32 GPa. In afbeelding 4 is ook de effectieve wanddikte weergegeven op basis van een elasticiteitsmodulus van 32 GPa. Deze komt goed overeen met die waarden afkomstig zijn van de metingen met georadar en de fenolftaleïne-test.

### **Toepassingsmogelijkheden**

Conditiemetingen van leidingen zijn kosteneffectief als de kosten van de meting lager zijn dan het financiële voordeel van verbeterde informatie. Dit voordeel kan vertaald worden in uitstellen van investeringen of voorkómen van leidingbreuken. In het kader op de volgende pagina is een voorbeeld gegeven van een businesscase die waterbedrijven kan helpen hierover uitsluitel te krijgen. In dit voorbeeld wordt de Echopulsetechniek ingezet om een inschatting te krijgen van de leidingconditie. Er worden diverse aannamen gedaan die gebaseerd horen te zijn op bedrijfservaringen en die bij verdere introductie kunnen worden aangepast. In deze vereenvoudigde berekening is het effect van vermeden storingen niet meegewogen. Dit effect speelt vooral een rol bij risicovolle leidingen. De huidige kosten van de inzet van Echologics

bedragen ongeveer € 15 /m. De verwachting is dat de prijs na verdere marktintroductie zal dalen naar circa € 8 /m. In dit voorbeeld worden ook kosten toegekend aan gemeten leidingen in slechte conditie en aan verkeerde metingen. In dit voorbeeld is de inzet van de Echopulsetechniek kosteneffectief.

#### Businesscase inspectie van 100 mm AC-leiding

##### Uitgangspunten:

- Leiding in stedelijk gebied, diameter 100 mm: vervangingskosten € 100 /m
- Uitstel van vervanging met 20 jaar als de meting uitwijst dat de conditie goed is
- Kosten inspectie € 8 /m (op termijn)
- Netto rente 3%
- Inschatting van meeteffect:
  - 75% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie goed is en dat dat in werkelijkheid ook zo is.
  - 5% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie goed is, terwijl deze toch binnen 20 jaar vervangen moet worden. Hier wordt aangenomen dat de leiding na 10 jaar vervangen wordt. De kosten van vervanging zijn daarmee € 74 /m.
  - 5% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie slecht is, terwijl deze in werkelijkheid goed is.
  - 15% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie slecht is en dat dat in werkelijkheid ook zo is.

De contant gemaakte kosten van vervangen over 10 jaar bedragen € 74,- /m.

Inspectie	Conditie	Kans	Kosten inspectie	Kosten verv. huidig	Kosten verv. uitgesteld	Som
goed	goed	75%	€ 8,-		€ 55,-	€ 48,-
goed	slecht	5%	€ 8,-		€ 74,-	€ 4,-
slecht	goed	5%	€ 8,-	€ 100,-		€ 5,-
slecht	slecht	15%	€ 8,-	€ 100,-		€ 16,-
		100%				€ 73,-

*NB: Som = kans \* (Kosten inspectie + Kosten vervangen)*

De berekende totale kosten bij toepassing van de Echopulsetechniek bedragen € 73,- /m.

Dit is lager dan de huidige kosten van vervanging, wat betekent dat het in dit voorbeeld voordelig is om de inspectie uit te voeren.

#### Conclusie

Waterbedrijven zullen de komende jaren geconfronteerd worden met toenemende investeringen voor het op orde houden van het leidingnet. Meer informatie over de conditie van leidingen is een belangrijke ondersteuning bij het beantwoorden van de vraag: welke leiding wanneer te vervangen?. De onlangs geïntroduceerde Echopulsetechniek is een goede aanvulling op bestaande methoden voor het verzamelen van informatie over de conditie van leidingen. Gebleken is dat de proef goed uitvoerbaar is. Een eerste validatie van de meetresultaten gaf aan dat deze betrouwbaar zijn voor AC-leidingen. Een aandachtspunt is



echter dat goede gegevens beschikbaar moeten zijn bij de waterbedrijven over de wanddikte en materiaaleigenschappen van de leidingen. Gebleken is dat de informatie uit in gebruik zijnde informatiesystemen in meerdere gevallen niet correct was (exacte wanddiktes en de aanwezigheid van reparatiestukken). De inzet van de Echopulsetechniek lijkt kosteneffectief te zijn mits door verdere marktintroductie de kosten zullen dalen. De kans hierop stijgt indien de gezamenlijke bedrijven structureel meer leidingen ter inspectie aanbieden.