

regenwater voor toiletspoeling in principe drie mogelijkheden bestaan:

- een algeheel verbod van de circa 50 collectieve regenwatersystemen in Nederland;
- toelating zonder analyseplicht (hoewel bekend is dat de norm regelmatig wordt overschreden). In dit geval dient het waterleidingbedrijf alleen te controleren of het systeem afdoende gescheiden is van het drinkwaternet. De personele inspanning is gering, gezien het geringe aantal systemen;
- toelating met analyseplicht. Dit vergt veel personele inspanning van VROM Inspectie en leidt tot analysekosten van circa 1500 euro per eigenaar per jaar. Ook in geval van analyseplicht dient het waterleidingbedrijf te controleren of het systeem afdoende gescheiden is van het drinkwaternet.

Het beleidsstandpunt van het Ministerie van VROM wordt aan het einde van deze zomer verwacht.



PVC waterleidingen: hoe lang gaan ze mee?

N. SLAATS, KIWA WATER RESEARCH

J. VREEBURG, KIWA WATER RESEARCH

A. BOERSMA, TNO INDUSTRIE

J. BREEN, TNO INDUSTRIE

Het Nederlandse waterleidingnet bestaat momenteel voor ongeveer de helft uit PVC-leidingen. Over het verouderingsgedrag van PVC-buizen was tot voor kort echter weinig bekend. Daar is nu verandering ingekomen na onderzoek, dat deel uitmaakt van het bedrijfstakonderzoek voor de waterbedrijven. De voorlopige conclusie van het onderzoek, met de titel 'Conditiebepalingsmethoden PVC', luidt dat de levensduur van PVC-buizen afhangt van zowel materiaaleigenschappen als de belastingen die de buis ondervindt. Aangenomen wordt dat de conditie van PVC-buizen de eerste 100 jaar niet vermindert door chemische degradatie. Het uiteindelijke doel van het onderzoek is methoden te ontwikkelen om de restlevensduur van in gebruik zijnde PVC-leidingen te bepalen.

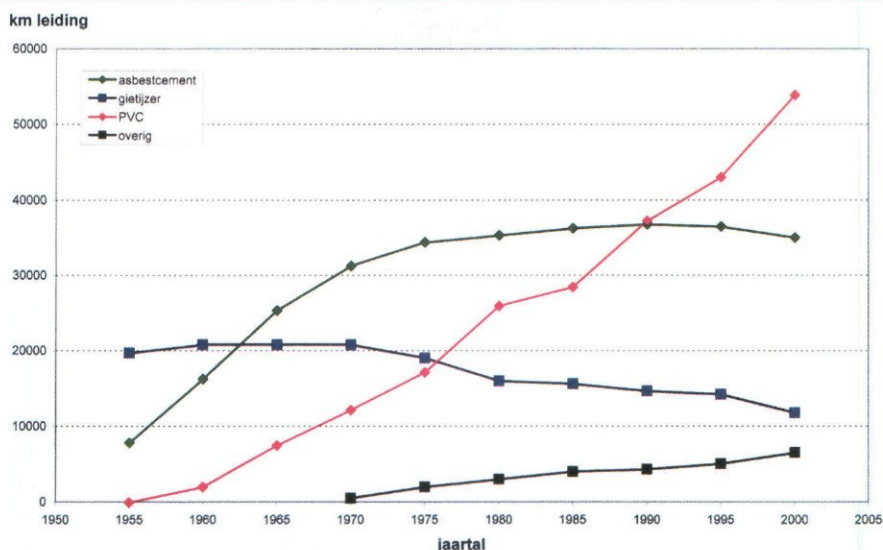
Het Nederlandse waterleidingnet verouderd. Het zal onderhouden moeten worden om aan de huidige en toekomstige eisen te blijven voldoen. De Nederlandse waterbedrijven onderkennen dit en werken in het bedrijfstakonderzoek (BTO) aan het beschikbaar maken van de kennis en de instrumenten die nodig zijn om het waterleidingnet in conditie te houden. Anno 2003 bestaat het Nederlandse waterleidingnet voor circa de helft uit PVC-leidingen (afbeelding 1). Het is bovendien het meest gebruikte materiaal wanneer leidingen

aangelegd of vervangen moeten worden. Ondanks de grootschalige toepassing is het verouderingsgedrag voorsnog een 'black box'. Met beschikbare technieken kan alleen iets gezegd worden over enkele materiaaleigenschappen die niet in de tijd veranderen. Andere technieken die wel informatie geven over het gedrag van PVC-leidingen op de lange termijn, zijn dermate bewerkelijk en kostbaar dat ze niet in aanmerking komen voor grootschalige inzet. Gezien het belang van PVC-leidingen in het Nederlandse leidingnet en het

LITERATUUR

- 1) Oosterholt F. (2003). Beleidsonderbouwende monitoring huishoudwater. Hoofdrapport met vier bijlagen. Kiwa Water Research. KWR 02.095.
- 2) Brief van de Minister van VROM aan de Voorzitter van de Tweede Kamer, "Toepassing huishoudwater". Tweede Kamer, vergaderjaar 1998 - 1999, 26 484 nr. 1.
- 3) Versteegh J. (1997). Gezondheidsrisico's en normstelling voor huishoudwater. RIVM-rapport 289202019.
- 4) Medema G-J. (1999). Microbiologische veiligheid van huishoudwater. Voor toepassing van toilet, wassen kleding en buitenkraan. Kiwa Water Research. SWE 99.010.
- 5) GG&GD Utrecht (2002). Resultaten van het onderzoek naar de gezondheidseffecten van de vermenging van drinkwater met huishoudwater in Parkwijk, Leidsche Rijn.

Afb. 1: Ontwikkeling van het waterleidingnet in Nederland sinds 1955.



gebrekkige inzicht in de veroudering ervan is de beschikbaarheid van effectieve en efficiënte conditiebepalingstechnieken dringend gewenst. Sinds april 2002 voert Kiwa hiernaar onderzoek uit. Dat gebeurt in een samenwerkingsverband met TNO, Gastec, PVC-leidingfabrikanten en -grondstoffenleveranciers, met TNO als trekker van het project. Eind vorig jaar kwamen de eerste resultaten van het onderzoek beschikbaar.

Historie

PVC is relatief jong als leidingmateriaal en heeft door de jaren heen een behoorlijke ontwikkeling doorgemaakt. Door de grondstoffenleveranciers, PVC-leidingfabrikanten en onderzoeksinstituten is in de zestiger, zeventiger en tachtiger jaren veel onderzoek verricht naar de kwaliteit van PVC-buizen voor verschillende toepassingen. Tot halverwege de jaren zeventig zijn door de leidingfabrikanten diverse recepturen gehanteerd voor de samenstelling en productie, die leidde tot een wisselende kwaliteit. Bekend zijn, in negatieve zin, de 'oliecrisisbuizen' van begin jaren zeventig. Daar staat tegenover dat het overgrote deel van de PVC-leidingen uit de beginperiode nog prima functioneert. Vanaf circa 1975 is de kwaliteit van de productie van PVC-leidingen op een constant hoog niveau terechtgekomen. Deze ontwikkelingen resulteerden in procedures en testen die beschreven staan in de Kiwa BRL K502. Als een recent geproduceerde PVC-buis voldoet aan alle gestelde eisen, dan wordt verondersteld dat zo'n buis een minimale technische levensduur heeft van tenminste 50 jaar, mits gebruikt onder normale gebruiksomstandigheden en geen buitengewone externe factoren meespelen. Ervaringen in de praktijk geven aan dat in PVC relatief weinig storingen voorkomen. Afbeelding 2 geeft de resultaten weer van een inventarisatie naar storingen in waterleidingen tussen 1993 en



Aanleg van een PVC-leiding voor de distributie van drinkwater.

1997. De landelijk gemiddelde storingsfrequentie bedroeg in deze periode 0,083 per kilometer leiding per jaar, van PVC-leidingen lag deze op 0,03⁵⁾.

Hypothese verouderingsmechanisme

Voor PVC bestaat voornamelijk nog geen duidelijkheid over het verouderingsmechanisme. Het meest waarschijnlijke is dat microscheurtjes kunnen ontstaan door inwendige materiaalspanningen, die zich met name concentreren rond onvolkomenheden in een buis (verontreinigingen, beschadigingen). Onder invloed van belasting en belastingwisselingen kunnen microscheurtjes uitgroeien en aanleiding geven tot het bezwijken van de buis. Daadwerkelijke verandering (veroudering) van het materiaal is onder normale omstandigheden nog niet aangetoond. Wel is bekend dat PVC aangetast kan worden door bepaalde typen bodemverontreiniging en als gevolg van

blootstelling aan zonlicht. Voor ondergrondse leidingen is dit laatste niet relevant.

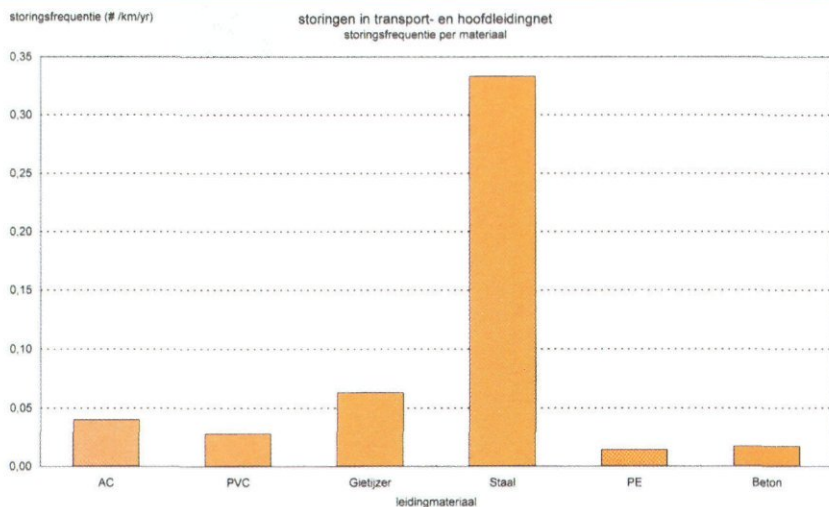
Huidige methoden voor conditiebepaling

Het opstellen van een genormeerde prognose van het gedrag van PVC-leidingen op de lange termijn is slechts mogelijk via meerdere bepalingen van de weerstand tegen inwendige waterdruk volgens een barstdrukproef. Bepaling van deze regressielijnen kost echter veel geld en tijd en vereist een aanzienlijke hoeveelheid leidingmateriaal. Voor het verkrijgen van een snelle indruk van één van de dominerende factoren van de uitgangsconditie van een PVC-leiding tegen beperkte kosten is vooral de dichloormethaan-test geschikt. Hiermee wordt de geleergraad kwalitatief bepaald. De geleergraad is een maat voor de homogeniteit van het tijdens het verwerkingsproces opgebouwde netwerk. Deze parameter verandert niet of nauwelijks tijdens de levensduur en geeft informatie over de uitgangsconditie van de PVC-buis. Daarnaast is bij storingen een goede storingsanalyse een belangrijke bron van informatie. Bij storingen dient ook aandacht te worden besteed aan eventuele beschadigingen aan en verontreinigingen in het PVC-materiaal.

Conditiebepalingsonderzoek Literatuuronderzoek

In het kader van de eerste fase van het onderzoek naar conditiebepalingmethoden voor PVC-leidingen heeft TNO een omvangrijke literatuurstudie uitgevoerd. Het doel hiervan was de belangrijkste parameters vast te stellen voor het conditieverloop van PVC-waterleidingsystemen¹⁾. Uit deze studie bleek dat de eigenschappen van PVC in de eerste 40 jaar sowieso niet verslechteren. Dit betekent dat de slagsterkte en trek-eigenschappen boven

Afb. 2: Gemiddelde storingfrequentie in verschillende waterleidingmaterialen tussen 1993 en 1997.





Overlast na een breuk in een $\varnothing 500$ mm PVC-leiding.

de normen blijven zoals die vanaf 1976 aan PVC-buizen gesteld worden. Daarnaast werden ook geen veranderingen gemeten in het molecuulgewicht en het geleringsniveau. Het gehalte aan stabilisatoren in de PVC-buizen is voldoende om het polymeer voor tenminste 50 jaar te beschermen. Experimenteel bewijs hiervoor ontbreekt echter, zodat de chemische stabiliteit van de PVC-buizen alsnog moet worden aangetoond.

Een PVC-buis zal onder constante interne waterdruk kruip vertonen. De tangentiële wandspanning zal toenemen als gevolg van toenemende buisdiameter en afnemende wanddikte. Wanneer de tangentiële wandspanning de vloeispanning overschrijdt, zal de buis taai falen. Het is echter meer waarschijnlijk dat een buis bros faalt bij een lagere wandspanning door scheurvorming, geïnitieerd door (oppervlakte-)inhomogeniteiten. Buizen met een leeftijd tot 40 jaar vertonen in het

algemeen nog geen bros faalgedrag. Fysische veroudering resulteert in een verschuiving van het optreden van een brosse breuk naar kortere tijden, mits in de buiswand een relatief hoge spanning heerst, met als gevolg dat de levensduur onder deze omstandigheden wordt gereduceerd. Daarnaast neemt ook de slagsterkte af met fysische veroudering. Bij de aanleg van waterleidingbuizen zorgt het zetten van teruggestorte grond voor enige spanningsrelaxatie in de buizen, waardoor de kruipsnelheid van de buis afneemt. Deze vertraging van de kruip heeft een langere levensduur tot gevolg ten opzichte van niet ondersteunde buizen.

Chemische degradatie

Chemische degradatie of veroudering van PVC kan plaatsvinden door afsplitsing van waterstofchloride (zoutzuur) bij verwarming. Het vrijgekomen waterstofchloride fungeert

als katalysator voor verdere degradatie van het materiaal. Na afsplitsing van een eerste waterstofchloridemolecuul in een kunststofketen zal de aangrenzende vinylchloride-eenheid ook waterstofchloride afsplitsen, hetgeen leidt tot een minder stabiele structuur. Om dit te voorkomen wordt bij het productieproces van PVC-buizen loodstabilisator toegevoegd ter neutralisatie van het vrijgekomen waterstofchloride. Internationaal is slechts weinig onderzoek gedaan naar chemische degradatie van PVC bij de temperaturen zoals die voorkomen tijdens het gebruik als waterleidingbuis. Wel is relatief veel onderzoek gepubliceerd over hoge temperatuurdegradatie. Het blijkt mogelijk de gepubliceerde gegevens over hoge temperatuurdegradatie te vertalen naar degradatiesnelheden bij lage temperatuur. Daartoe heeft TNO een algemeen degradatiemodel opgesteld dat de kenmerken van de verschillende mechanismen combineert. Het modelleren van het degradatiemechanisme leidde tot onder meer de veronderstelling dat bij een gebruikstijd van 100 jaar bij lage temperatuur (10°C) de chemische degradatie van PVC-buizen geen rol speelt²⁾. Bij metingen aan het stabilisatorgehalte in 40 jaar oude PVC-buizen is deze veronderstelling bevestigd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in de praktijk chemische degradatie van PVC-buizen geen invloed heeft op de conditie bij een gebruikstijd tot 100 jaar.

Mechanische degradatie

De mechanische eigenschappen van PVC buizen worden bepaald door de kwaliteit van de grondstof, het smelten en geleren tijdens de extrusie en de condities waaronder de buis uiteindelijk wordt vervaardigd³⁾. Het gedrag van PVC-buizen op de lange duur is onderzocht door onder andere Shell, Wavin en TNO. Het onderzoek laat twee belangrijke aspecten zien, namelijk verbrossing door fysische veroudering en weerstand van een PVC-matrix om spanningsconcentraties rondom inhomogeniteiten, defecten en aanwezige deeltjes te kunnen weerstaan. De matrixsterkte moet voldoende zijn om die spanningsconcentratie te weerstaan tijdens de aanleg, de verdichting van de grond, de aanboring van nieuwe aansluitingen, mogelijke waterslag en de optredende waterdruk bij omgevingstemperatuur. In de voorspelling van de reststerkte van oude PVC-buizen dient naast fysische veroudering ook de onthechting van deeltjes in het PVC en spanningsrelaxatie worden meegenomen.

Vervolg

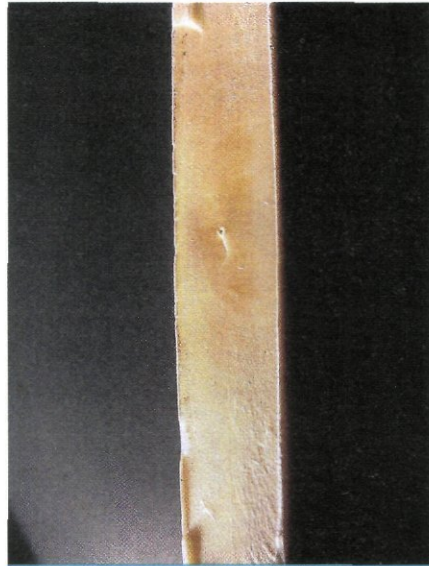
Binnen het BTO-onderzoek worden de komende tijd testen ontwikkeld om de restlevensduur van oude PVC-buizen te voorspellen. Hierbij worden buizen gebruikt die door de waterbedrijven zijn aangeleverd. De testen

worden ontwikkeld op basis van metingen aan initiatie, groei en stabiliteit van haarscheurtjes onder verschillende belastingen samen met stootbelastingen. Verder worden aanvullende metingen verricht, zoals de bepaling van de geleergraad en de verdeling van (toegevoegde) deeltjes. De ontwikkelde procedures worden gevalideerd met buizen in de praktijk. Uiteindelijk zal dit leiden tot een voorspelmodel, gevalideerd aan conditiebepalingsmethoden, voor de te verwachten levensduur van PVC-buizen in het waterleidingnet.

Betekenis voor storingen in PVC-leidingen

Naast het onderzoek in BTO-verband onderzoekt Kiwa incidenteel schadegevallen uit de praktijk. Tot nu toe werd aan ieder schadegeval een afzonderlijke oorzaak toegekend. Als oorzaak van een breuk werd in een aantal gevallen de aanwezigheid van een vuilinsluitel genoemd. Aan de hand van de resultaten uit het conditiebepalingsonderzoek en analyse van een aantal schadegevallen lijkt het mogelijk om de breuken in PVC-leidingen van de afzonderlijke oorzaken terug te brengen naar een algemenere oorzaak.

Op moleculaire schaal bevat PVC een aantal fysische knooppunten in een spaghettiachtige brei van lange polymeerketens. Tussen de knooppunten bevinden zich kronkelige ketendelen die spanningen in PVC kunnen afvoeren. Bij het afvoeren van de spanningen strekken de ketens zich en dragen de spanningen over naar het volgende fysisch knooppunt. De opbouw van het netwerk van fysische knooppunten hangt af van de gelering van PVC. Een hoge geleergraad is gunstig, omdat hierbij een betere spanningsafbouw om de onvolkomenheden in de PVC-buiswand optreedt. Bij slecht gelegeerd PVC liggen de fysische knooppunten ver uit elkaar. Hierdoor kunnen spanningen moeilijk afgevoerd worden. Bij de productie van PVC worden altijd glasachtige deeltjes, kristallijne deeltjes of 'hot spots' gevormd. Het aantal van deze onregelmatigheden ligt in de orde van tien per kubieke millimeter. Het ontstaan van deze deeltjes is inherent aan de productie van PVC en het voorkomen van deze deeltjes is derhalve niet te verhinderen. Een agglomeratie van deze deeltjes lijkt de oorzaak van het getoonde breukvlak in de linker foto op deze pagina. Ook kunnen in PVC deeltjes voorkomen die afkomstig zijn uit het fabricageproces, zoals bijvoorbeeld ijzerdeeltjes (zie foto rechts). De aanwezigheid van deze deeltjes of vuilinsluitel is te voorkomen door een zorgvuldige bewaking van het productieproces. Onregelmatigheden vormen vaak het begin van haarscheurtjes in PVC. De vraag is in hoeverre deze tot breuk zullen leiden. De haarscheurtjes



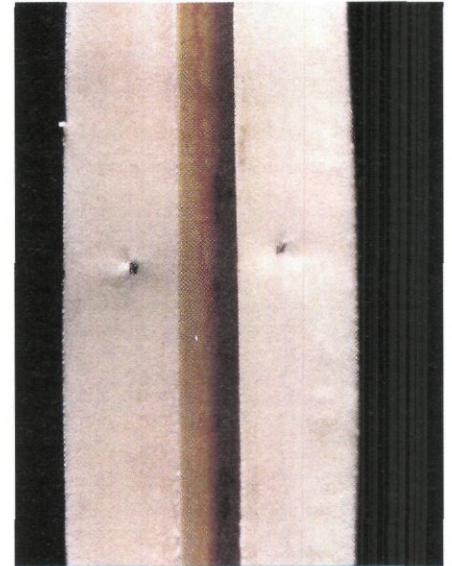
Kristallijn PVC deeltje in een PVC-leidingwand.

groeien namelijk niet of heel langzaam als PVC onder constante spanning wordt gehouden. Onder invloed van wisselende spanningen of zogeheten impactspanningen (slag of stoot) zullen haarscheurtjes makkelijker kunnen groeien, mits de optredende belastingspieken voldoende hoog zijn. Uiteindelijk kan dit leiden tot een breuk van een PVC-leiding. Over de grootte van de belasting waarbij scheurtjes gaan groeien, is nog geen kwantitatieve uitspraak mogelijk.

Analyse van schadegevallen levert inzicht in de oorzaak van een breuk in een PVC-leiding. Het blijkt nu mogelijk om de oorzaak iets meer te differentiëren. Indien op het breukvlak vuilinsluitels worden aangetroffen, dan kan worden aangenomen dat de breuk een incident is, omdat een vuilinsluitel een relatief zwakke plaats in de buis tot gevolg heeft. Indien op het breukvlak kristallijne deeltjes te zien zijn, dan kan dit een aanwijzing zijn voor een ongunstige belasting. Dit kan op den duur leiden tot meer storingen in het betreffende leidingdeel.

Conclusies

Recent geproduceerde PVC-buizen hebben een minimale technische levensduur van tenminste 50 jaar, mits deze toegepast worden onder normale gebruiksomstandigheden. In het onderzoek 'Conditiebepalingsmethoden PVC' worden methoden ontwikkeld om de restlevensduur van in gebruik zijnde PVC-leidingen te bepalen. Op basis van de literatuur worden mogelijke degradatiemechanismen vastgesteld, die getoetst worden op basis van onderzoek aan PVC-buizen uit de praktijk. Begin 2004 worden de definitieve resultaten verwacht. Een voorlopige conclusie is dat de levensduur van PVC-buizen afhankelijk is van een combinatie van materiaaleigenschappen



Vuilinsluitel in een PVC-leidingwand.

en de belastingen die de buis ondervindt. Aangenomen wordt dat de conditie van PVC-buizen niet wordt beïnvloed door chemische degradatieprocessen bij gebruikstijden tot 100 jaar. ◀

LITERATUUR

- 1) Boersma A. (2002). Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems. Literature study on relevant parameters. TNO-rapport 43/02.002983-2/sec (vertrouwelijk).
- 2) Boersma A. (2003). Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems. Chemical aging. TNO-rapport 43/03.006180 (vertrouwelijk).
- 3) Breen J. (2003). Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems. Physical properties of aged PVC. TNO-rapport 43/03.006387/sec (vertrouwelijk).
- 4) Kiwa-beoordelingsrichtlijn BRL K502 'Waterleidingbuizen van PVC-U'
- 5) Rosenthal L. (1997). Leidingnetbeheer. Kiwa-rapport SWE97.010.