35 jaar PVC-waterleiding in Nederland

Samenvatting
De kwaliteit van in gebruik geweest zijnde PVC-waterleidingbuis is onderzocht door laboratoriummetingen. De analyses zijn uitgevoerd aan opgegraven buizen variërend in leeftijd van 10 tot 35 jaar. Naast de gebruiksduur is ook de invloed van de grondsoort als variabele nagegaan.
Uit het onderzoek blijkt dat drukbelasting, grondsoort en tijd vrijwel geen invloed op de mechanische of de polymeer-eigenschappen van de PVC-buis hebben gehad. De kwaliteit van een 35 jaar oude buis benadert die van een nieuwe. De nu nog gehanteerde levensduurverwachting van 50 jaar kan daarom naar boven worden bijgesteld.


J. GONS
BV Wavin R&D


A. J. NAAKTGEBOREN
BV Wavin R&D


L. R. HOLLOWAY
B.V. Wavin R&D


W. KLINKENBERG
RU Leiden


R. LOUW
RU Leiden

Inleiding
In Nederland wordt PVC sinds het midden van de jaren vijftig toegepast als materiaal voor waterleidingbuizen. In die tijd was er nog maar weinig bekend over de kunststof PVC. Echter de voordelen van dit nieuwe materiaal ten opzichte van traditionele materialen als koper en gietijzer, zoals een goede corrosiebestendigheid, waren duidelijk. Dit is een van de redenen dat al vanaf het allereerste moment dat in Nederland PVC-buizen zijn geproduceerd ze ook zijn toegepast voor het transport van drinkwater.

In de beginfase is veel inspanning verricht om de levensduur van PVC-buis te kunnen voorspellen. Hiervoor zijn laboratoriumtesten ontwikkeld bij drukken en temperaturen die veel hoger zijn dan de normale condities waaronder een drinkwaterleiding wordt gebruikt.
Op deze manier was het mogelijk om een extrapolatietechniek te ontwikkelen die uiteindelijk een betrouwbare voorspelling van de levensduur mogelijk maakt.
Sinds de jaren tachtig wordt internationaal een standaard extrapolatiemethode (SEM) gebruikt voor de bepaling van de levensduurverwachting [1]. Voor traditionele materialen zoals gietijzer, asbestcement en koper wordt vaak met een levensduur tot 50 jaar gerekend. Voor het ontwerp van PVC-drukbuizen is daarom ook uitgegaan van een minimale levensduurverwachting van 50 jaar.

Vanuit de voorspelde vijftigjaars-sterkte van het materiaal is het dan mogelijk de ontwerpspanning te berekenen.
Rekening houdend met een veiligheidsfactor van twee is de maximaal toelaatbare werkdruk te bepalen.
Gezien het ontbreken van historische gegevens was het noodzakelijk om de extrapolatie te baseren op laboratoriumgegevens. De omstandigheden in de praktijk kunnen echter van die van het laboratorium verschillen in negatieve zin. Bij de installatie kunnen krassen op de buis komen, door een minder goede inbedding kunnen plaatselijke vervormingen optreden en door de aanwezigheid van stenen kunnen spanningsconcentraties ontstaan. Naast deze mogelijke mechanische beschadigingen is er ook nog de kans op chemische aantasting door de aanwezigheid van bodemverontreiniging. Een hypothese die vooral voor Nederland met zijn groot aantal bodemverontreinigingen van belang is.

In het algemeen wordt PVC beschouwd als een materiaal dat zeer resistent is ten opzichte van organische verbindingen die men normaliter in de bodem aantreft.
Ook voor biologische aantasting wordt het PVC als inert verondersteld, echter er zijn weinig wetenschappelijk onderbouwde gegevens op dit gebied voorhanden.
Om deze reden is aan de Rijksuniversiteit Leiden door de Projectgroep Chemie en Milieu onder leiding van prof. R. Louw onderzoek gestart naar het milieuchemisch gedrag van PVC. Dit project maakt deel uit van een al langer lopend programma naar de vorming en omzetting van organohalogeen-verbindingen, waaronder de verwerking van chemisch afval.

In de provincie Overijssel begon de Overijsselse Waterleidingmaatschappij (WMO) al in 1955 met het gebruik van PVC-drukbuizen voor watertransport. De oudste buizen in het waterleidingnet van de WMO zijn nu meer dan 35 jaar in gebruik. Toen van Wavin het verzoek kwam om mee te werken aan een onderzoek aan drukbuis die in de praktijk langdurig is gebruikt, toonde WMO zich bereid om aan dit onderzoek een belangrijke bijdrage te leveren. Buismonsters van nog in bedrijf zijnde leidingen met een bekende geschiedenis met gebruiksjaren tot 35 jaar en met verschillende grondsoortinbedding zijn opgegraven. De buismonsters zijn bij de Universiteit in Leiden onderzocht op de materiaal-(polymeer)-eigenschappen, terwijl bij Wavin R&D de fysische/mechanische eigenschappen zijn onderzocht. In deze studie zijn voorts de barstdrukmetingen verwerkt die zijn uitgevoerd aan 37 jaar oude buizen afkomstig van de Flevolandse Drinkwater Maatschappij (FDM).
De uitkomst van dit onderzoek geeft voor het eerst inzicht in het actuele kwaliteit van PVC-buizen in de praktijk na een lange gebruiksperiode.

Uitvoering van het onderzoek
De buizen zijn opgegraven in het verzorgingsgebied van de WMO eind 1990. Met behulp van dossiers, zijn de op te graven buizen geselecteerd op legdatum en grondsoort. Van iedere lokatie is een buislengte van twee meter uit het bestaande net verwijderd en vervangen door een nieuwe buis. Ook zijn uit de directe omgeving van de buis grondmonsters genomen voor het microbiologische onderzoek.
De fysische/mechanische metingen zijn uitgevoerd door BV Wavin R&D dat een door Sterlab gecertificeerd laboratorium heeft. Met één uitzondering zijn de metingen uitgevoerd volgens ISO- of DIN-normen.

De volgende bepalingen zijn uitgevoerd:
- treksterkte en rek bij breuk [ISO R527]

- korte-duur-stijfheid (STIS) [ISO/DP9969]
- lange-duur-stijfheid (STES) [ISO/DP9967]
- E-modulus (drie puntsbuigproef) [ISO/178]
- trekslagvastheid [DIN 53448]
- barstdrukbeproeving [ISO 1167]
- geleergraadmeting via MC test [Wavinorm 42]
via DSC [ref.1,2]
- reststabiliteit [ISO 182]
- loodextractie [ISO 3114] en [KIWA 49]

Theorie van de kwaliteit van een PVC-waterleidingbuis

Een belangrijke eigenschap van een PVC-waterleidingbuis is het lange-duur gedrag onder druk. Een eigenschap van kunststoffen is dat ze kunnen vervormen. Het is daarom van groot belang dat een goede kennis bestaat van het gedrag met de tijd onder belasting. Belangrijk is dat een buis niet boven de vloeispanning wordt belast omdat er dan vloei optreedt, waardoor de buis bezwijkt. In de praktijk wordt een buis daarom maar tot 50% van de vloeispanning of minder belast. Voor de levensduurverwachting wordt daarom ook een geëxtrapoleerde vijftigjaars sterkte berekend op basis van het verloop van de bezwijkspanning met de tijd, waarbij een taaibreukgedrag wordt verondersteld. PVC-buizen die onder goede verwerkingscondities zijn gemaakt hebben een dergelijk taaibreukgedrag.

Daarnaast hebben bij kunststoffen nog andere factoren invloed op de lange-duur sterkte. Voor PVC is dit vooral de homogeniteit van het tijdens het verwerkingsproces opgebouwde netwerk, de zogenaamde geleringsgraad. In de loop der jaren is gebleken dat de geleringsgraad aan een bepaalde minimale waarde moet voldoen om een goede lange-duur sterkte te krijgen.

Om het fenomeen van de gelering te kunnen begrijpen moeten we teruggaan naar de structuur van de PVC-korrel zoals die tijdens het polymerisatie-proces wordt gevormd. In de PVC-korrel van circa 150 micron zijn primaire deeltjes aanwezig van circa 1 micron, die door coagulatie tot 150 micron zijn aangegroeid. De 1 micron-deeltjes bezitten een kristallijne substructuur en deze kristallieten zijn zeer belangrijk voor de uiteindelijke eigenschappen van de PVC-buis. Bij het verwerken van PVC smelten de korrels tot en met de 1 micron deeltjes onder invloed van warmte en afschuifkracht, bij temperaturen tussen de 190 en 200 °C, maar de kleine kristallieten blijven intact. Deze smelten eerst bij veel hogere temperaturen (240-250 °C), maar bij die temperaturen vindt een sterke degradatie van het PVC plaats. In het uiteindelijke PVC-produkt worden de kristallieten verbonden door zogenaamde tie-moleculen, waarbij de kristallieten voor sterkte en de tie-moleculen voor elasticiteit zorgen. Op die manier is het mogelijk dat er een materiaal wordt gevormd met zeer goede eigenschappen. Echter er is een kritische balans tussen kristallieten en tie-moleculen die tijdens het verwerkingsproces wordt ingesteld. Bij te lage temperaturen en/of afschuifkracht worden de primaire deeltjes niet opgesmolten en krijgen we een inhomogeen netwerk waarin de kristallieten onderling onvoldoende met elkaar verbonden zijn (onvoldoende gelering). Bij te hoge temperaturen en/of afschuiving ontstaat er een homogeen netwerk waarin ook de tie-moleculen gedeeltelijk ingeroosterd worden (overgelering). Er ontstaat hierdoor een sterk PVC dat echter een lage elasticiteit heeft (slechte impact). Bovendien is er een verhoogde kans op degradatie waardoor de ketensterkte terugloopt.

Samengevat komt het er op neer dat de verwerking van PVC aandacht en vakmanschap vereist. De geleergraad mag niet te laag maar ook niet te hoog zijn. Dit begrip van hoe een goede PVC-buis gemaakt moet worden en welke proces- en receptuur-variabelen invloed op deze kwaliteit hebben, heeft zich in de loop der jaren gevormd.

materiaaleigenschappen hebben deze variaties geen invloed.

Over de periode van 1955 tot 1990 zijn er belangrijke veranderingen opgetreden in de fabricage-technologie van PVC. Naast de veranderingen in het PVC zelf zijn er ook veel veranderingen in de additieven (glijmiddelen en stabilisatoren) geweest.

Een aantal malen is de receptuur voor PVC-buizen ingrijpend veranderd, maar eigenlijk hebben er continu kleine veranderingen plaatsgevonden. Maar ook in de verwerkingsapparatuur en procescondities zijn aanzienlijke veranderingen opgetreden. Al deze veranderingen zijn erop gericht om de kwaliteit van het produkt te verbeteren en de kosten te verminderen.

Enige belangrijke veranderingen die over de laatste 35 jaar hebben plaatsgevonden zijn:
- de overgang van emulsie- naar suspensie-PVC (rond 1965)
- de overgang van granulaat naar poeder (rond 1971)
- de verhoging van de K-waarde (molecuulgewicht) van het PVC
- de ontwikkeling van effectieve one-pack stabilisatorsystemen
- de ontwikkeling van hoge-output-extruders
- de kennisgeneratie over het geleringsproces van PVC (zie theorie- gedeelte)

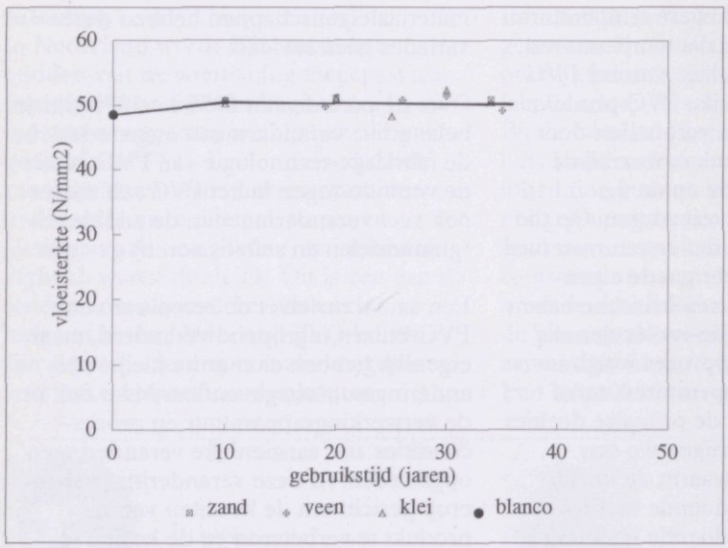
TABEL I – *Overzicht van beproefde buismonsters.*

Buiscode	Afmetingen (mm)	Jaar van installatie	Gebruiksduur (jaren)	Grondsoort
WMO-01	107 x 100	1956	34	zand
WMO-02	85 x 80	1960	30	zand
WMO-03	107 x 101.4	1965	25	zand
WMO-04	107 x 101.4	1970	20	zand
WMO-05	110 x 104.6	1980	10	zand
WMO-06	54 x 50	1955	35	veen
WMO-07	125 x 117.6	1960	30	veen
WMO-08	107 x 101.4	1964	26	veen
WMO-09	107 x 101.4	1971	19	veen
WMO-10	110 x 104.6	1980	10	zand
WMO-11	107 x 101.4	1956	34	klei
WMO-12	107 x 100.8	1960	30	klei
WMO-13	107 x 101.4	1965	25	klei
WMO-14	107 x 101.4	1970	20	klei
WMO-15	110 x 104.6	1980	10	klei
FDM	106.5 x 101.7	1955	37	klei

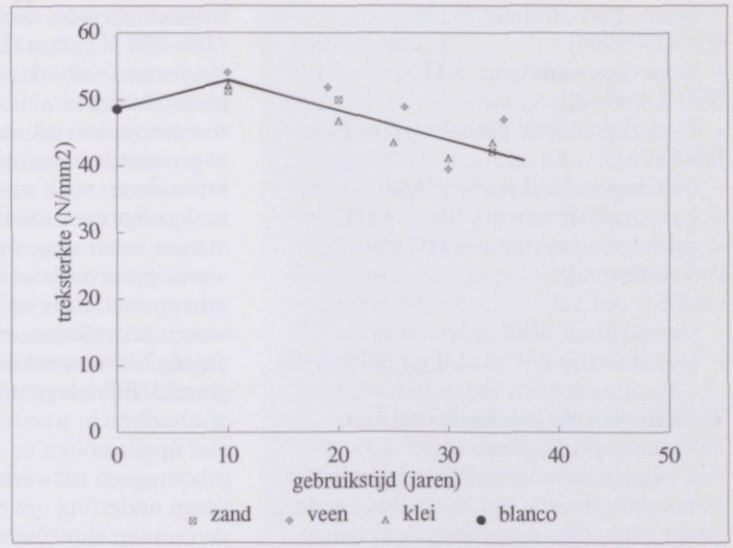
Resultaten en discussie

In tabel I is een overzicht gegeven van de opgegraven buismonsters, waarbij de afmetingen, installatiedatum en het grondtype zijn vermeld. Daar waar mogelijk is steeds voor buitendiameter van 110 mm gekozen. Als dit niet mogelijk was is een diameter genomen die daar zo dicht mogelijk bij in de buurt ligt. Kleine variaties in binnen- en buitendiameter en wanddikte komen voor. Op de gevonden

Bij de evaluatie van de kwaliteit van de gebruikte buizen wordt gerefereerd aan de kwaliteit van nieuwe buis zoals ze tegenwoordig wordt geproduceerd. Dit houdt in dat eventuele kwaliteitsverschillen veroorzaakt kunnen worden zowel door het verschil in leeftijd/gebruiksduur als door verschillen in kwaliteit van de oorspronkelijke uitgangsmaterialen.

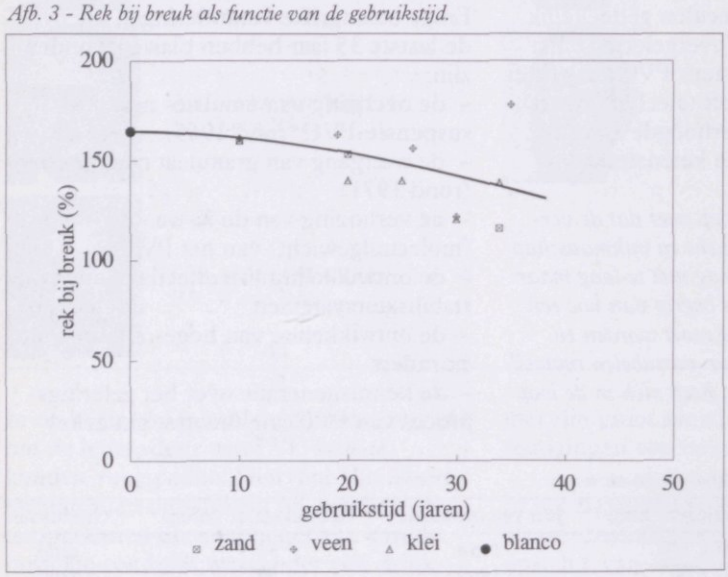


Afb. 1 - Vloeistofsterkte als functie van de gebruikstijd.

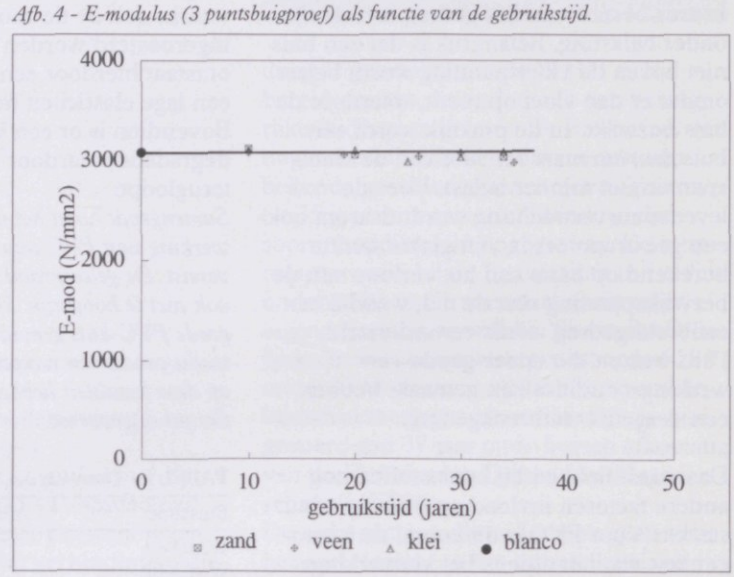


Afb. 2 - Treksterkte bij breuk als functie van de gebruikstijd.

Afb. 3 - Rek bij breuk als functie van de gebruikstijd.



Afb. 4 - E-modulus (3 puntsbuigproef) als functie van de gebruikstijd.



Vloeisterkte, treksterkte en rek bij breuk

Het verloop van de vloeisterkte, treksterkte en rek bij breuk met de gebruiksduur is weergegeven in de afbeeldingen 1, 2 en 3. De gevonden waarden voor vloei- en breuksterkte vertonen weinig of geen verloop met de gebruiksduur. Opvallend is dat ten opzichte van nieuw buismateriaal de vloeisterkte van de gebruikte buis met een gebruiksduur langer dan 10 jaar 1-2 N/mm^2 hoger ligt. Dit is een klein maar significant verschil, dat veroorzaakt kan zijn door het fysisch verouderingsproces [4]

De treksterkte gaat aanvankelijk omhoog van 48,6 N/mm^2 voor nieuw materiaal naar 52,4 N/mm^2 voor een (10 jaar) gebruikte buis. Daarna treedt een daling in, waarvan de oorzaak niet bekend is. Bij het uitvoeren van de trekproeven is vastgesteld dat als in het proefstaafje een duidelijke kras aanwezig was, een lagere treksterkte wordt gevonden, waarschijnlijk veroorzaakt door kerfwerking. Omdat we in dit onderzoek primair geïnteresseerd zijn in materiaaleigenschappen, zijn de metingen waar duidelijk is vastgesteld dat zich in het breukvlak een kras bevond, zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten.

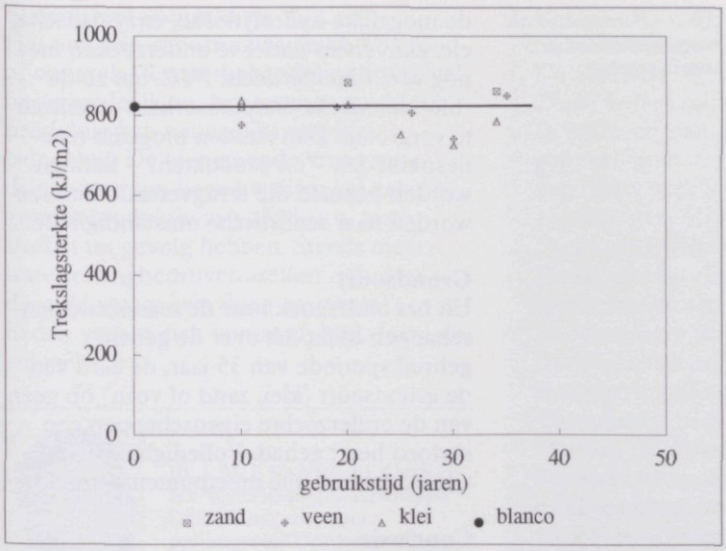
Ook op de rek bij breuk kunnen krassen een negatieve invloed hebben en hier is ook geprobeerd de invloed van de krassen buiten beschouwing te laten. In afbeelding 3 zien we dat de rek bij breuk een geleidelijke kleine teruggang vertoont met de gebruiksduur. Naast het fysisch verouderingseffect houden we hier de aanwezigheid van krassen voor verantwoordelijk. Het is natuurlijk niet uitgesloten dat de eerder vermelde veranderingen die in de loop der jaren in de PVC- en buisproduktie hebben plaatsgevonden ook een invloed op de resultaten hebben.

E-modulus

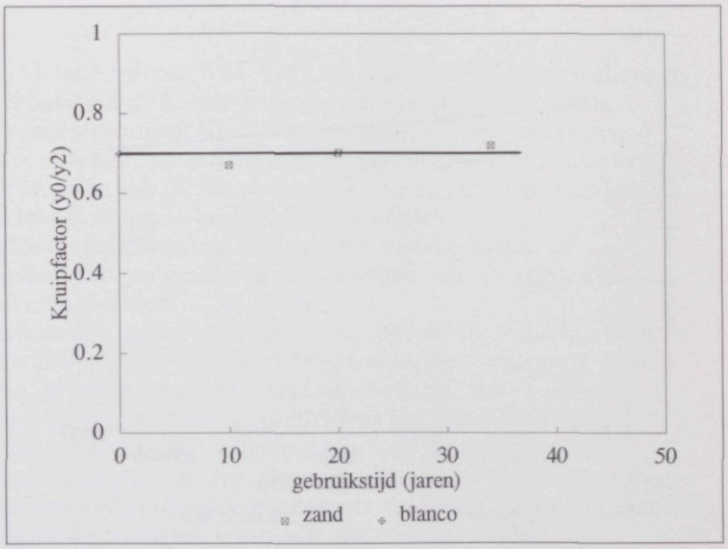
De E-modulus is bepaald met behulp van de drie-punts buigproef en de gevonden waarden zijn in afbeelding 4 vermeld. Zo te zien is er geen significante invloed van de gebruikstijd op de E-modulus opgetreden.

Slagvastheid

De verlaging van de rek bij breuk kan een indicatie zijn, dat veroudering de overgang van taai- naar bros-breukgedrag beïnvloedt. Als we echter de resultaten van de trekslag-experimenten beschouwen dan is een dergelijk effect niet zichtbaar (zie afb. 5). Voor het bepalen van de impacteigenschappen is gekozen voor het meten van de trekslagsterkte aan ongekerfde proefstaven omdat met deze bepaling kwantitatief de meest betrouwbare waarden worden gevonden. Het is duidelijk dat er geen systematische invloed van de gebruiksduur valt waar te



Afb. 5 - Trekslagsterkte als functie van de gebruikstijd.



Afb. 6 - Kruipfactor (y0/y2) als functie van de gebruikstijd.

nemen. De trekslagsterkte van de 35 jaar oude buis is vergelijkbaar met die van een nieuwe.

Kruip

In een al langer lopende discussie, waarin eigenschappen van traditionele materialen worden vergeleken met die van kunststoffen, is een van de meest besproken onderwerpen de deformatie van thermoplastische kunststoffen.
Door de kunststofindustrie wordt de deformatie als een belangrijke plus gezien, omdat optredende spanningen kunnen relaxeren. Echter vanuit de traditionele materialen bekeken is er steeds de verdenking geweest dat de plastische deformatie (kruip) uiteindelijk moet leiden tot het bezwijken onder belasting.
Afbeelding 6 laat zien dat de kruipfactor constant is over de gebruikstijd. De kruipfactor is gedefinieerd als het quotiënt van de initiële vervorming (y0) en de vervorming na twee jaar (y2) en daardoor gerelateerd aan de verhouding tussen de initiële stijfheid en de geëxtrapoleerde tweejaars-stijfheid. In dit opzicht gedraagt een 35 jaar in gebruik geweest zijnde buis zich dus als een nieuwe.

Geleergraadmetingen/reststabiliteit/ loodafgifte

Geleergraadmetingen zijn uitgevoerd met behulp van de methyleenchloride-test, die inzicht geeft in de gelering over zowel de gehele wanddikte als over de gehele omtrek. Daarnaast is de geleergraad ook bepaald met behulp van DSC-metingen, waarbij de verkregen informatie zeer lokaal is, maar wel kwantitatief. In tabel II zijn de gegevens van de geleergraadmetingen en de reststabiliteit vermeld.
We zien dat de geleergraad gemeten met de DSC varieert tussen de 80 en 95%. De resultaten van de DSC komen goed overeen met die van de methyleenchloride-test, met uitzondering van buismonster WMO 12, waar in de MC geen enkele aantasting zichtbaar is.
De geleergraad van WMO 14 is naar de huidige inzichten aan de hoge kant en die van WMO 15 aan de lage kant.
De reststabiliteit is goed en vergelijkbaar met nieuwe buis met uitzondering van monster WMO 12 waar de reststabilteit aan de lage kant is. Dat betekent dat er voor de herverwerking van oude buis in dit opzicht geen problemen zijn, wat overeenstemt met de huidige praktijk.

Aan de oude buismonsters zijn loodafgifte-metingen gedaan en alle monsters geven waarden beneden de detectiegrens van de gehanteerde analysemethode (0,1 mg/l).

Drukresistentie

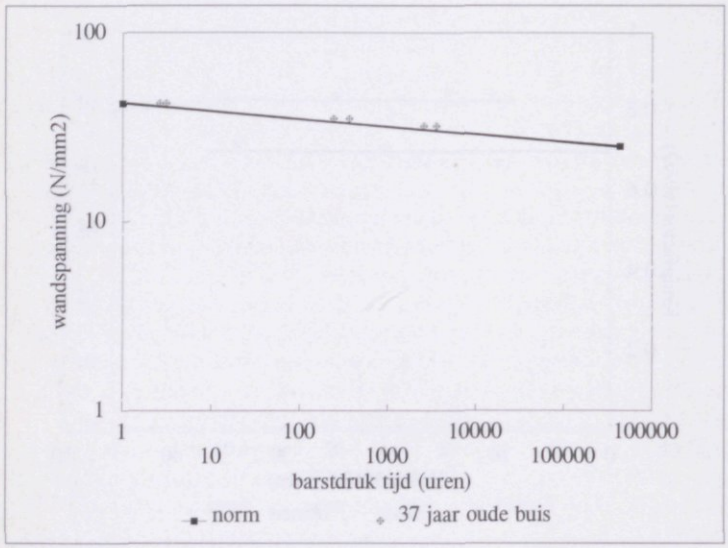
Voor waterleidingbuizen is de belangrijkste eigenschap de druk resistentie. In dit onderzoek was het door de beperkte beschikbaarheid van monsters slechts mogelijk indicatieve informatie te krijgen over de barstdruk-resistentie van de gebruikte buis. Barstdruk-beproevingen zijn alleen uitgevoerd aan de buis die in 1992 is opgegraven uit de grond van één van de oorspronkelijke werkeilanden van de Flevopolder.
In afbeelding 7 zijn de bij drie wandspanningen gemeten waarden aangegeven, terwijl ter vergelijking de lijn is aangegeven die de Kiwa-eisen van α 42 en α 35 MPa en de verwachte 50 jaarsterkte verbindt. Het blijkt dat deze 37 jaar in gebruik geweest zijnde buis nog ruimschoots aan de huidige barstdrukeisen voor nieuwe buis voldoet.

Het Leidse onderzoek

In het kader van dit artikel is een aantal analyses van belang aan de 'toestand' van het eigenlijke polymeer in de gebruikte buizen.
De monsters zijn ook weer vergeleken met nieuwe PVC-kunststofmonsters.
Door Gel Permeatie Chromatografie kan de verdeling van het molecuulgewicht (de polymerisatiegraad en de spreiding daarin) in het basismateriaal worden gemeten. Chemische – of biologische – aantasting zou vrijwel zeker tot kortere (lichtere) brokstukken, of misschien ook wel tot zwaardere moleculen, aanleiding geven; dat is bijvoorbeeld het geval bij te sterk verwarmen (thermische degradatie).
Met GPC kan ook worden aangetoond dat het molecuulgewicht van nieuw materiaal maar dan van 30, 40 jaar geleden een grotere spreiding had dan moderne produkten: de polymerisatie-techniek wordt nu beter beheerst. Onderzocht zijn de monsters WM-01, 05, 06 en 11 (zie tabel I). Van de buitenkant werd een

TABEL II – *Geleergraad-metingen en reststabiliteit.*

Monster	Reststabiliteit (min)	Geleergraad DSC (%)	MC test-15 °C
WMO-11	23	90	geen aantasting
WMO-12	15	82	geen aantasting
WMO-13	20	92	geen aantasting
WMO-14	30	95	geen aantasting
WMO-15	28	80	lichte aantasting



Afb. 7 - Barstdruktijd als functie van de wandspanning.

TABEL III - *Analyseresultaten Gel Permeatie Chromatografie.*

Monster[1]	App.[2]	M_n[3]	M_w[3]	Ddisp.[3]
WMO-05/o	I	64.000	161.800	2,5
WMO-05/m	I	69.000	166.500	2,4
WMO-05/b	I	68.900	165.600	2,4
WMO-06/o	I	72.700	222.100	3,0
WMO-06/o[4]	I	81.100	222.100	2,7
WMO-06/m	I	90.900	227.400	2,5
WMO-06/b	I	81.000	226.800	2,8
Nieuw PVC[5]	I	86.000	180.000	2,1
id., verhit[6]	I	84.000	226.000	2,7
id. 2 mnd UV	I	36.000	133.000	3,7
WMO-01/o	II	52.600	197.400	3,8
WMO-01/m	II	51.900	278.600	5,3
WMO-01/b	II	46.200	203.800	4,4
WMO-11/o	II	49.800	197.300	4,0
WMO-11/b	II	52.800	226.200	4,3
WMO-06/o[7]	II	55.600	307.900	5,5
WMO-06/m	II	51.800	311.300	6,0
WMO-06/b	II	52.100	342.700	6,6

[1] zie tabel I; 0 = oppervlak, buitenkant, 50 μ; m = midden, b = binnenkant buis.
[2] er zijn twee verschillende GPC-opstellingen gebruikt; resultaten kunnen verschillen, vergelijk daarom alleen getallen verkregen op hetzelfde apparaat.
[3] M_n = getalsgemiddelde molgewicht van het PVC, M_w = gewichtsgemiddelde, disp. = dispersiteit = M_w/M_n.
[4] apart monster genomen van oneffenheden aan het oppervlak.
[5] poedervormig 'virgin' PVC, Rovin S70-16.
[6] 90 min, 190 °C, onder stikstof.
[7] schraapsel, van laagdikte < 50 μ.

laagje ter dikte van 50 micron afgefreesd (zie tabel III).

Deze monsters zijn vergeleken met materiaal afkomstig uit het midden van de wanddikte en van de binnenkant van de buizen. De oorspronkelijke crème W-06 was van buiten zwart-bruin verkleurd (door de veengrond); daarvan is een extra monster schraapsel (minder dan 50 micron dik) genomen.

In geen van de monsters is een duidelijke verandering van de 'kwaliteit' van het polymere materiaal opgetreden; de waarden voor de buitenkant, uit het midden en voor de binnenkant van de onderscheiden buizen waren ook goed vergelijkbaar.

Toch wijst die verkleuring natuurlijk wel op een vorm van aantasting; maar dan gaat het óf om een wel heel erg dun laagje of om heel weinig van een zeer sterk gekleurd produkt. Dat is dan waarschijnlijk de loodhoudende stabilisator geweest, die onder anaërobe omstandigheden zwart loodsulfide heeft gevormd.
Voor de duidelijkheid zij nog eens opgemerkt dat het onderzoek alleen betrekking heeft op het bulk polymeer, niet op de vulstoffen, stabilisatoren, enz.

Heel kort over andere proeven, nu uitgevoerd met *fijnverdeeld* PVC (poeder), opgenomen in grondmonsters en ook biofilter-materiaal: op termijn van een paar maanden treedt dan geen meetbare degradatie op. Het ligt in de bedoeling om de mogelijke hydrolytische, enzymatische, etc. conversies nader te onderzoeken met nog veel fijnerverdeeld PVC, om zo de (bio)chemische 'bereikbaarheid' drastisch te vergroten. Dan zouden mogelijk reactiesnelheden - en produkten? - kunnen worden bepaald die terugvertaald kunnen worden naar realistische omstandigheden.

Grondsoort

Uit het onderzoek naar de materiaaleigenschappen blijkt dat over de gehele gebruiksperiode van 35 jaar, de aard van de grondsoort (klei, zand of veen) op geen van de onderzochte eigenschappen een invloed heeft gehad. Volledigheidshalve zijn echter wel alle meetpunten vermeld.

Conclusie

Ons onderzoek heeft aangetoond dat de materiaaleigenschappen van in gebruik geweest zijnde PVC-drukbuis voor watertransport na meer dan 35 jaar nog uitstekend zijn. De gevonden resultaten geven aan dat er voor de belangrijke eigenschappen geen of een geringe teruggang is gevonden met de gebruikstijd. Er is in dit onderzoek geen invloed van de grondsoort op de buiskwaliteit gevonden.

Opmerkelijk is dat de materiaaleigenschappen van buizen met verschillende leeftijden zeer dicht bij elkaar liggen. Dit ondanks grote verschillen in de uitgangswaarden en omstandigheden, waaronder ze destijds geproduceerd zijn, zoals PVC-type, K-waarde, receptuur, extruders en procescondities.

Op grond van nu voorliggende gegevens lijkt voor PVC-drukbuis een veel langere levensduurverwachting dan de nu nog gehanteerde 50 jaar zeer gerechtvaardigd.

Literatuur

1. Standard extrapolation method-ISO DTR 9080.2
2. Gilbert, M. Vyvoda, J. C. (1981). Polymer, (22),1134
3. Teh, J. W. *et al*, (1989). J. of Vinyl Techn., (11,1), 33
4. Struik, L. C. E. (1990). *Internal stresses, dimensional instabilities and molecular orientation.* J. Wiley, New York.

● ● ●