

BTO 2016.005 | april 2016

BTO rapport

Kennisregels PE
leidingen

BTO

Kennisregels PE leidingen

BTO 2016.005 | April 2016

Opdrachtnummer

400554-038

Projectmanager

Drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

Kwaliteitsborger(s)

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

Auteur(s)

ing. G.A.M. (George) Mesman

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie
ing. George Mesman
T 0306069571
E george.mesman@kwrwater.nl

Keywords:

PE, Polyethen, kennisregels, veroudering, beheer

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 2016.005 | April 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

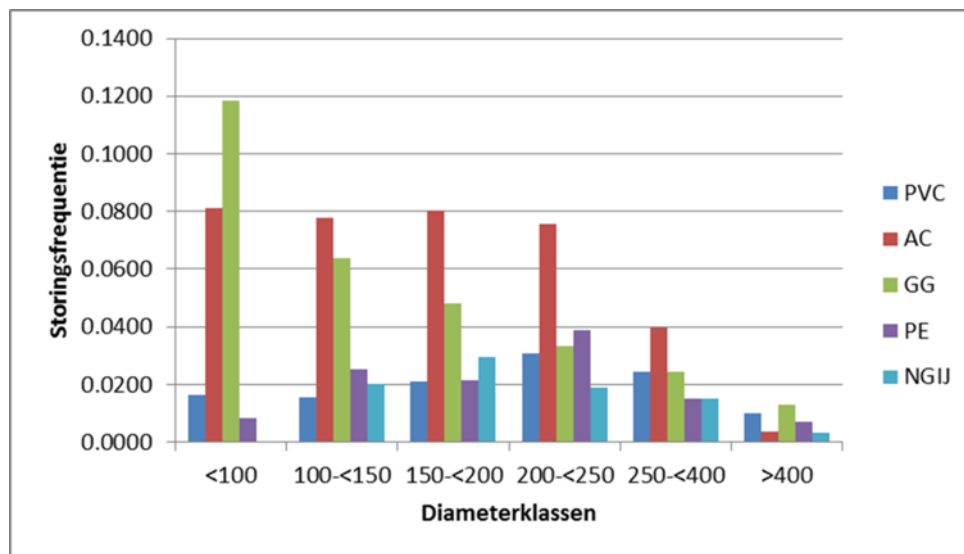
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Kennisregels zijn bruikbaar voor de aanleg en beheer van PE leidingen

Auteur(s) Ing. G.A.M. (George) Mesman

De typische PE eigenschappen (lage elasticiteitsmodulus en hoge kruip) maken het mogelijk om het materiaal toe te passen in een omgeving waar grote vervorming optreedt, zoals in zettingsgevoelige grond waarbij de materiaalspanningen beperkt blijven. Uit de USTORE gegevens van acht waterleidingbedrijven volgt dat het materiaal in de kleine diameters (≤ 100 mm) de laagste storingsfrequenties heeft. Voor de grotere diameters is de storingsfrequentie vergelijkbaar met die van de materialen PVC en NGIJ. Op basis van ervaringen en literatuur zijn kennisregels verzameld voor de toepassing van PE leidingen in het transport- en distributienet voor drinkwaterleidingen waarmee de keuze voor PE gemaakt kan worden. Bij gebruik van PE moet rekening worden gehouden met het mogelijke effect op biologische stabiliteit, de permeatie van apolaire stoffen, de mogelijke noodzakelijke trekvlaste aanleg en de keuze voor desinfectiemiddelen die het materiaal niet aantasten.



Storingsfrequenties van de verschillende materialen per diameterklasse

Belang: keuze voor PE met kennisregels onderbouwen

Het leidingmateriaal polyethen (PE) wordt sinds de jaren 50 van de 20^e eeuw toegepast voor drinkwaterleidingen: tot circa 1970 beperkt, daarna meer. Tussen 2009 en 2014 is 250 – 300 km/jaar aan PE-leidingen voor transport en distributie van drinkwater aangelegd. De materiaaleigenschappen zijn in de loop van de jaren steeds verder ontwikkeld, waardoor verschillende “generaties” PE zijn ontstaan, zoals PE80 sinds 1975, PE100 sinds 1992 en PE100 RC sinds 2001.

PE heeft in het bijzonder goede materiaaleigenschappen voor aanleg van leidingen in

gebieden met een hoge zetting.. De wijze van verwerken van de buisdelen tot een lange leiding vraagt inzicht in het gedrag van de leiding onder dergelijke omstandigheden. De beperkte biologische stabiliteit van PE in het distributienet is een item dat een rol speelt bij de distributie van drinkwater zonder desinfectiemiddel. Desinfectiemiddelen kunnen een grote rol spelen bij de aantasting van PE waarbij in het materiaal ketenbreuk van de moleculen optreedt.

Aanpak: literatuurgegevens en geïnventariseerde ervaringen samengebracht .

Storingsgegevens van de verschillende toegepaste materialen in het drinkwaterleidingnet zijn verzameld in USTORE, Gegevens uit deze database van acht waterbedrijven zijn geanalyseerd. Verder zijn de ervaringen van de waterleidingbedrijven met het materiaal PE geïnventariseerd en is het bezwijkmechanisme van PE betrokken bij de analyse. Ook is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar moleculaire ketenbreuk in PE bij het gebruik van oxidatieve desinfectiemiddelen.

Resultaten: duidelijke kennisregels voor de toepassing van PE

Uit de USTORE gegevens van acht waterbedrijven volgt dat het materiaal in de kleine diameters (≤ 100 mm) de laagste storingsfrequenties heeft. Voor de grotere diameters is storingsfrequentie vergelijkbaar met die van de materialen PVC en NGIJ. PE als leidingmateriaal is goed toepasbaar in zettingsgevoelige grond, de optredende materiaalspanningen blijven beperkt vanwege de hoge kruip en de lage elasticiteitsmodulus. Bij de aanleg van PE leidingen is enige voorzichtigheid noodzakelijk om puntlasten op het materiaal te vermijden. Om het uitschuiven van verbindingen te voorkomen is het aan te bevelen om de verbindingen trekvast uit te voeren.

PE-leidingen worden onder normale omstandigheden niet aangetast vanuit de omgeving. PE kent geen extreme spreiding in sterkte-eigenschappen voor specifieke batches of periodes van fabricage of fabrikanten.

Biologische stabiliteit

De biologische stabiliteit van drinkwater kan beïnvloed worden door de toepassing van PE. De biofilmvorming op het materiaal neemt niet af in de loop van de tijd. Er is wel een grote spreiding in de biofilmvorming op het tot nu toe gebruikte materiaal. Er loopt nog BTO-

onderzoek naar de vorming van biofilm op PE (2016). Daarbij blijken wel grote verschillen te bestaan tussen de verschillende fabrikaten PE .

Desinfectiemiddelen

Het gebruik van desinfectiemiddelen in combinatie met PE kan moleculaire ketenbreuk veroorzaken en de levensduur van het PE sterk verkorten. Gebruik van natriumhypochloriet in lage concentraties als desinfectiemiddel veroorzaakt echter geen moleculaire ketenbreuk.

Apolaire stoffen uit de omgeving

Omdat PE permeabel is voor apolaire stoffen moet in vervuilde grond een buiswand worden toegepast met een barrièrelaag die geen apolaire stoffen doorlaat.

Implementatie: De consequenties van PE in het leidingnet is te bepalen op basis van kennisregels.

Gebruik van de ontwikkelde kennisregels kan waterbedrijven ondersteunen bij een goed onderbouwde en uitgevoerde inzet van PE als leidingmateriaal. Het is aan te raden bij gebruik van PE verbindingen trekvast uit te voeren, rekening te houden verschillende mate van invloed op biofilmvorming en biologische activiteit, desinfectiemiddelen met beleid in te zetten (lage concentraties natriumhypochloriet zijn veilig) en te zorgen voor een barrière die permeatie van apolaire stoffen uit de omgeving voorkomt.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Kennisregels PE leidingen* (BTO-2016.005).

Meer informatie

ing. George Mesman
T 0306069571
E george.mesman@kwrwater.nl

KWR

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

Inhoud

Inhoud	4
1 Inleiding	5
1.1 Onderzoek	5
1.2 Belang van het onderzoek	5
1.3 Rapportstructuur	5
2 Toepassing PE in het drinkwaterleidingnet	6
2.1 Aanwezigheid PE leidingen in het drinkwaterleidingnet	6
2.2 Historie PE	7
2.3 Kwaliteitseisen PE	8
3 Onderzoek	9
3.1 Storingskenmerken PE in het leidingnet	9
3.2 Bezwijkmechanisme PE	10
3.3 Rapid Crack Propagation	11
3.4 Chemische aantasting PE	11
3.5 Invloed ketenbreuk	12
3.6 Permeatiegedrag	12
3.7 Biologische stabiliteit	13
3.8 Verbindingen	13
3.9 Liggingscondities	13
3.10 Lengteverandering	13
4 Kennisregels	15
5 Witte vlekken	17
6 Literatuur	18
Bijlage I Literatuuronderzoek	20
• Aantasting PE door desinfectiemiddelen	20

1 Inleiding

1.1 Onderzoek

In dit rapport wordt de kennis van het uitgevoerde onderzoek verzameld en worden kennisregels voor toepassing gegenereerd op basis van ervaringen in de bedrijfstak en literatuuronderzoek. Het gebruik van polyetheen (PE, vroeger ook polyethyleen genoemd) in het drinkwaterleidingnet van bron tot tap is onderzocht in de afgelopen decennia. Het uitgevoerde onderzoek heeft betrekking gehad op de mechanische eigenschappen van het materiaal, sinds de jaren '70 ook op de fysisch chemische eigenschappen (permeatie) en sinds de jaren '90 op de biologische eigenschappen (nagroei). Sinds eind jaren '90 en het begin van deze eeuw is daar onderzoek naar de weerstand van het materiaal tegen oxidatieve desinfectie bij gekomen.

1.2 Belang van het onderzoek

PE als materiaal voor drinkwaterleidingen is sinds 1950 ontwikkeld en is sinds het eind van de jaren '50 toegepast als materiaal voor aansluitleidingen en distributieleidingen. In de ontwikkeling van het transport- en distributienet speelt het materiaal een beperkte rol: in 2013 bestond het drinkwaternet voor 7,1 % uit PE, dit kwam overeen met 8640 km. In de verzameling aansluitleidingen is het aandeel veel groter. Hiervan zijn minder exacte cijfers bekend maar op basis van het aantal huishoudelijke aansluitingen ($7,5 * 10^6$) met een lengte van 5 – 10 meter en de standaard uitvoering in PE (geschat op 90%) betekent dit dat 35.000 – 65.000 km PE aansluitleidingen aanwezig is. Dit is uitgevoerd in kleine diameter.

PE is in verschillende kwaliteiten op de markt en het gedrag van het materiaal in de ondergrond en in het drinkwaternet hangt samen met deze kwaliteit. Bij het beoordelen van een PE leiding en het toepassen van kennisregels moet rekening gehouden worden met deze kwaliteiten. Dit kan een probleem opleveren als dit niet bekend is uit de leidingadministratie.

1.3 Rapportstructuur

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 kort op de ontwikkeling en historie van het materiaal ingegaan. In hoofdstuk 3 worden een aantal onderzoeken op dit materiaal besproken en in hoofdstuk 4 zijn de kennisregels samengevat.

2 Toepassing PE in het drinkwaterleidingnet

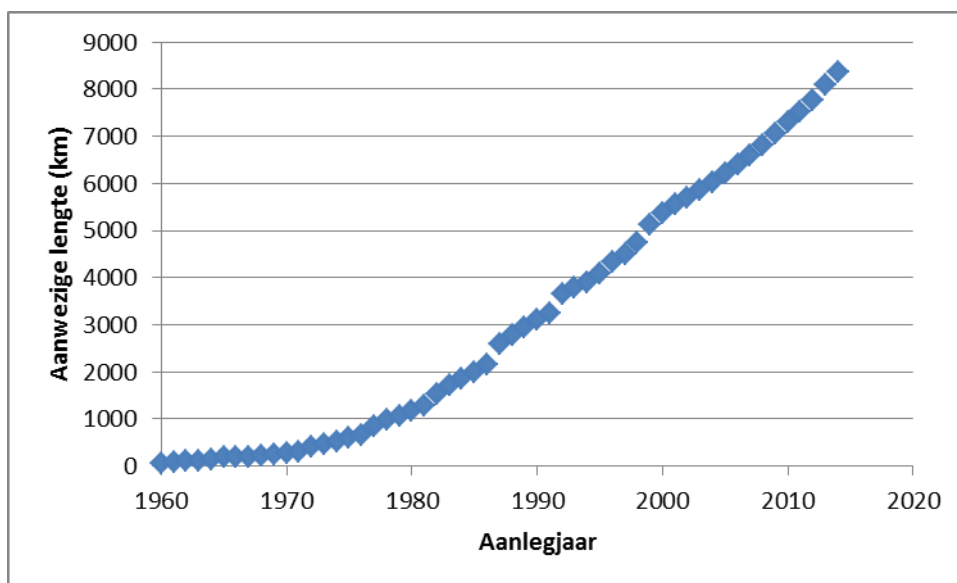
2.1 Aanwezigheid PE leidingen in het drinkwaterleidingnet

Uit de aanlegstatistieken van de verschillende materialen is het aandeel PE slecht te bepalen. Tot het jaar 2000 zijn de hoeveelheden PE en PVC gezamenlijk in de cijfers terecht gekomen onder het kopje "Kunststof". In het jaar 2013 rapporteren de gezamenlijke waterbedrijven een aanwezigheid van 8640 km PE in het leidingnet. Een nadere verdeling in typen PE ontbreekt in de cijfers. Uit het verzamelde LIS van 8 waterbedrijven in de database van USTORE (2015 storingsstatistiek) is de aanwezigheid, de leeftijd en de verdeling over de verschillende diameters te herleiden. In tabel 1 zijn de kenmerken verzameld van de twee bronnen. De 8 bedrijven uit de USTORE database zijn voldoende representatief om de PE-gegevens te extrapoleren naar het volledig drinkwaterleidingnet in Nederland.

TABEL 1 AANWEZIGE PE-GEGEVENS IN USTORE DATABASE

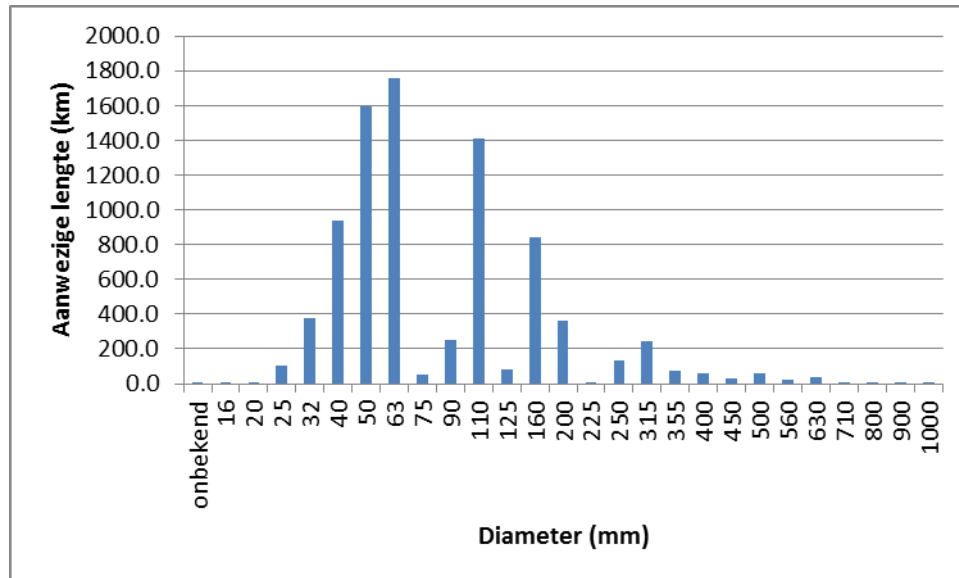
	Lengte leidingnet (km)	Lengte leidingnet(%)	Lengte PE	
			km	%
USTORE (8 wlb)	59518	50,0	4260	50,4
Alle bedrijven (10 wlb)	118945	100	8640	100

In figuur 1 is de voor heel Nederland aanwezige lengte PE leidingen weergegeven voor het distributie- en transportleidingnet (geëxtrapolerd op basis van USTORE-gegevens). Het aandeel PE neemt vanaf 1970 gestaag toe. In de laatste jaren neemt het aandeel PE toe met bijna 300 km per jaar.



FIGUUR 1 AANWEZIGE LENGTE PE LEIDING IN HET DISTRIBUTIE- EN TRANSPORTLEIDINGNET (2015)

In de USTORE database zijn ook aanwezige lengten per diameter aanwezig. Deze zijn per diameter verzameld, geëxtrapoleerd en weergegeven in figuur 2. De diameters 75, 90, 125 en 225 mm worden relatief weinig toegepast in het leidingnet, dit komt overeen met de toepassingen van deze diameters in PVC.



FIGUUR 2 AANWEZIGE PE LENGTEN PER DIAMETER IN HET DISTRIBUTIENET IN NEDERLAND (GEËXTRAPOLEERDE USTORE-GEGEVENS).

Gedetailleerde cijfers van de toepassing van PE in de aansluitleidingen ontbreken. Het overgrote deel van de aansluitleidingen is uitgevoerd in PE in nominale (uitwendige) diameters 25 of 32 mm.

2.2 Historie PE

Sinds het einde van de jaren '50 van de vorige eeuw worden buizen en hulpstukken van PE vervaardigd. Het materiaal is de polymeer van C_2H_4 (etheen, vroeger ook wel ethyleen genoemd) en heeft de structuurformule $(C_2H_4)_n$. Het materiaal wordt in verschillende dichtheden vervaardigd en ook zo benoemd. De termen LDPE, MDPE en HDPE (low, medium en high density) als kwaliteits aanduiding voor de verschillende typen geven dit aan.

In de loop van de tijd zijn verschillende generaties PE ontwikkeld. Deze worden aangeduid met hun MRS waarde maal 10 (MRS is Minimum Required Strength). In de leidingen die in Nederland gebruikt zijn, komen de volgende typen voor:

- 1968 - heden Eerste generatie PE (PE25, PE32 = PE40, PE50 = PE63, ZPE, HPE, LDPE, MDPE, HDPE, Tyleen)¹
- 1975 - heden Tweede generatie PE (PE80)
- 1992 - heden Derde generatie PE (PE100)
- 2001 - heden PE100 RC (crack resistant)

De toelaatbare spanningen in het materiaal bedragen 80% van de MRS waarde. Het materiaal PE80 kan dus op trek belast worden tot 6,4 MPa materiaalspanning, PE100 kan tot 8 MPa belast worden. De drukklasse komt tot stand op basis van de combinatie van de wanddikte en het materiaaltipe. De drukklassen worden aangeduid met het PN getal, een buisdeel PN

¹ De naamgeving van PE uit deze periode is zeer divers en in sommige gevallen triviaal, zoals Tyleen.

10 is geschikt voor een inwendige druk van 1 MPa (10 bar, 100 mwk). De verhouding tussen de uitwendige diameter en wanddikte wordt aangeduid met het SDR getal. In tabel 2 zijn voor een \varnothing 200 mm leiding de relaties tussen de verschillende aanduidingen van een PE buis.

TABEL 2 VOORBEELD VOOR DE RELATEIS TUSSEN DE VERSCHILLENDE AANDUIDINGEN PE LEIDINGEN

Diameter en PE kwaliteit	MRS (MPa)	Toelaatbare materiaalspanning (MPa)	Wanddikte (mm)	toelaatbare inwendige druk (MPa)
\varnothing 200 mm, PE 80, SDR13,6, PN10,0	8	6,4	14,7	1,00
\varnothing 200 mm, PE 80, SDR11, PN12,5	8	6,4	18,2	1,25
\varnothing 200 mm, PE 100, SDR13,6, PN12,5	10	8,0	14,7	1,25
\varnothing 200 mm, PE 100, SDR11, PN16	10	8,0	18,2	1,60

Naast de verschillende PE kwaliteiten zijn er ook constructieve verschillen opgetreden naar aanleiding van het groeiende inzicht in het materiaal. De buis met een aluminium barrière laag om permatie tegen te gaan (de SLA buis), is daar een voorbeeld van.

2.3 Kwaliteitseisen PE

Voor de toepassing van PE geldt BRL K17105 per 12 augustus 2012. Hierin worden de eisen voor het leidingsysteem en het materiaal vastgelegd

De historische kwaliteitseisen zijn:

1965 K48 (gepubliceerd in "Water" 12 augustus 1965)
 19XX K48 eerste herziening
 1974 K48 tweede herziening, 11 oktober 1974

1989 NEN 7116, "Kunststof drinkwaterbuizen van polyetheen", eisen en
 beproevingsmethoden voor PE32 en PE50

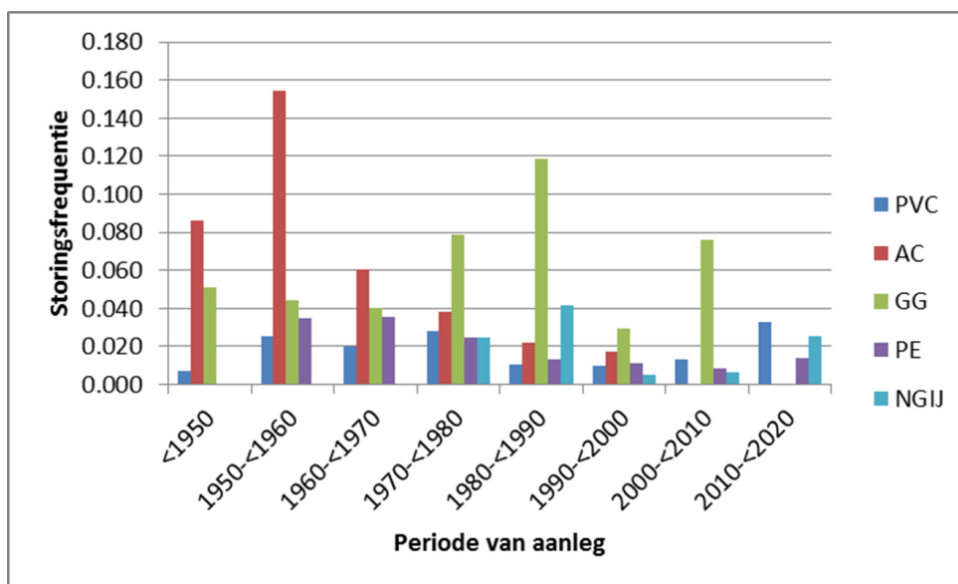
1991 BRL K533/01, voor PE80 en PE100, oktober 1991
 19XX BRL K533/02
 1998 BRL K533/03, voor alle PE, 15 december 1998

De onderlinge verschillen tussen de keuringseisen zijn niet uitgewerkt, dit valt buiten de context van dit onderzoek.

3 Onderzoek

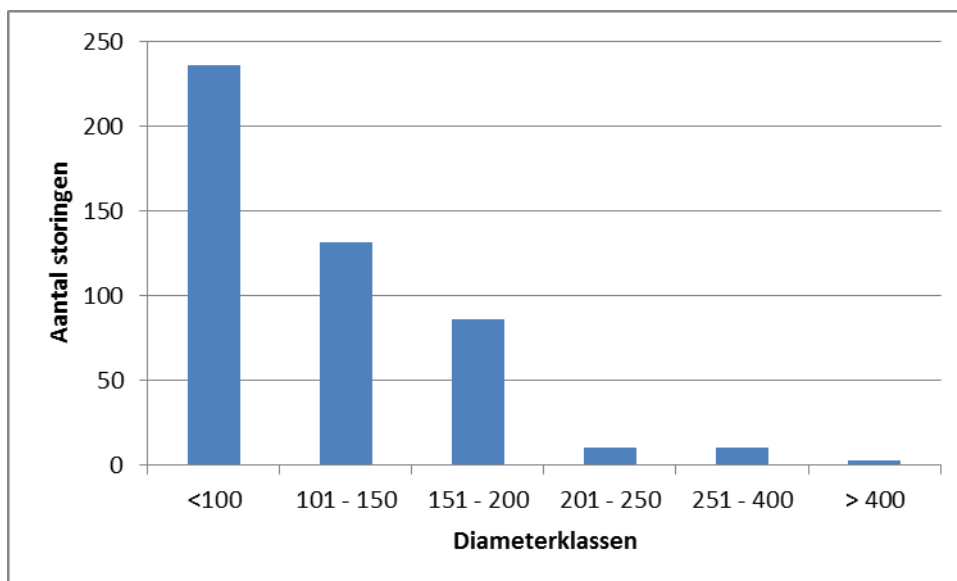
3.1 Storingskenmerken PE in het leidingnet

Uit de USTORE gegevens is de storingsfrequentie van de verschillende materialen bepaald voor de perioden van aanleg (figuur 3) en de diameterklassen (figuur 5). In beide relaties scoort PE laag tot zeer laag in storingsfrequentie. In USTORE wordt onderscheid gemaakt in de PE materialen (PE40, PE80, PE100, PE onbekend), echter in 70% van de storingsmeldingen in PE wordt als PE-soort “-“ of “onbekend” opgegeven. Een relatie tussen de storingen en de materiaalsoort gaat hiermee verloren. Wel kan gesteld worden dat gezien de ontwikkeling van PE80 als standaard materiaal vanaf 1975, het materiaal PE40 in distributieleidingen sinds die tijd minder gebruikt wordt. Voor de uitlopers van het vertakte distributienet (kleine diameters en als reparatiemateriaal voor kleine diameters wordt het materiaal nog gebruikt. PE leidingen aangelegd na 1980 hebben een zeer lage storingsfrequentie.

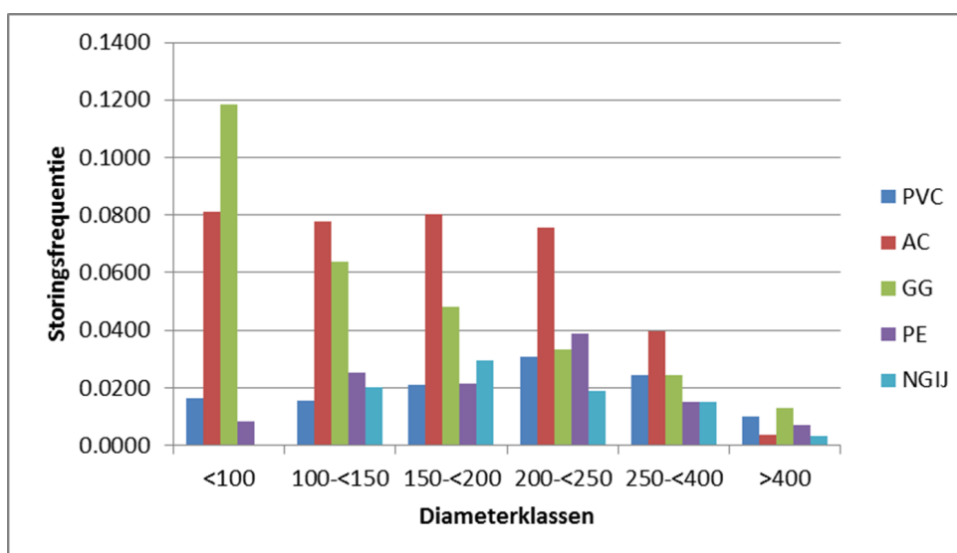


FIGUUR 3 STORINGSFREQUENTIES VAN DE VERSCHILLENDE MATERIALEN OVER DE PERIODEN VAN AANLEG (EXCLUSIEF SCHADE DOOR DERDEN)

Het grootste aantal storingen in PE komt voor in de kleinere diameterklassen, zie figuur 4. De storingsfrequenties in die klassen het laagst, zie figuur 5, omdat in deze klasse de grootste lengte aanwezig is. Het geconcentreerd optreden van schades in PE leidingen dat op een mindere kwaliteit van het materiaal zou duiden of op overbelasting van een leiding komt niet uit de storingsregistratie van de waterleidingbedrijven naar voren. Uit de storingsstatistieken volgt dat de leidingen voldoen aan de verwachte kwaliteit en onder de juiste condities worden toegepast.



FIGUUR 4 AANTAL STORINGEN PER DIAMETERKLASSE IN PE VOLGENS GEGEVENS USTORE



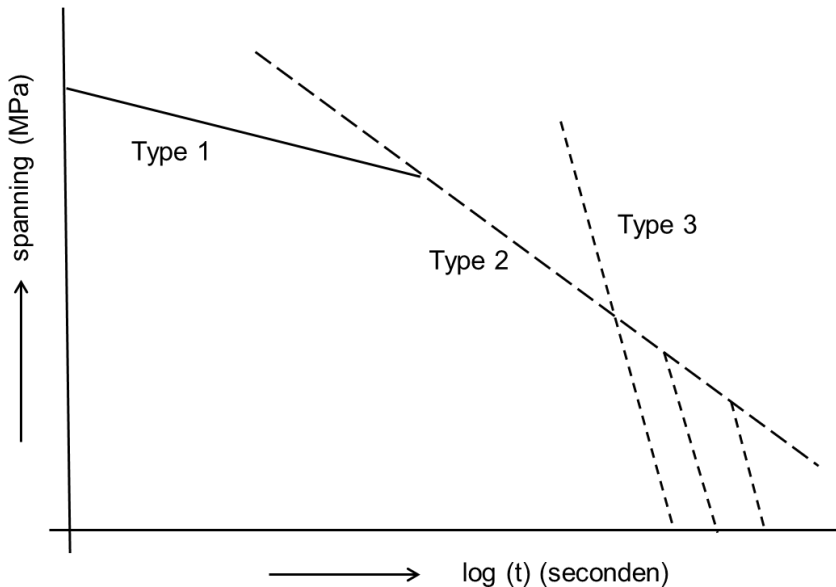
FIGUUR 5 STORINGSFREQUENTIES VAN DE VERSCHILLENDE MATERIALEN PER DIAMETERKLASSE

3.2 Bezwijkmechanisme PE

PE kan op drie manieren bezwijken, in figuur 6 zijn de drie typen weergegeven. Het materiaal bezwijken bij een hoge materiaalspanning volgens type 1 in een betrekkelijk korte tijd. Het materiaal vloeit (plastische vormverandering zonder verandering van spanning) en bezwijken uiteindelijk. Type 1 komt weinig voor, het materiaal PE heeft een relatief lage E-modulus en hoge kruip/relaxatie. Hoge spanning wordt hiermee voorkomen.

Bezwijken volgens type 2 vindt plaats bij een lagere spanning zonder vervorming, dit mechanisme staat bekend als langzame scheurgroei. De tijd tot bezwijken is afhankelijk van de hoogte van de heersende spanning. Omdat het verband tussen de heersende spanning en de tijd dat deze weerstaan kan worden rechtlijnig is op een logaritmische tijdschaal geeft de grafiek ook aan dat de tijd tot bezwijken zeer lang kan zijn zolang de spanning niet al te hoog is. De MRS (minimum required strength) is gegarandeerd voor 50 jaar ($\log(t) = 9,17$). Het mechanisme achter type 3 is combinatie van ketenbreuk (op molecuulniveau) en

materiaalspanning. Ketenbreuk kan veroorzaakt worden door chemische aantasting van het materiaal bij het ontbreken van voldoende stabilisatoren. Het breukmechanisme volgens type 3 is afhankelijk van de bodem en de waterkwaliteit (oxidatoren) en de hierin aanwezige chemicaliën.



FIGUUR 6 DE DRIE MOGELIJKE TYPEN BEZWIJKMECHANISMEN PE

Er wordt weinig PE schademateriaal aangeboden bij KWR. Omdat het overgrote deel van de storingen optreedt in de kleine diameters en het belang van deze leidingen relatief beperkt is, wordt weinig onderzoek uitgevoerd bij schade. In een onderzoek naar de oorzaak van een gecompliceerde leidingbreuk in de drinkwaterleiding (aanlegjaar 1988, onderzoekjaar 2013) tussen Den Helder en Texel [lit 1] zijn geen materiaalfouten als oorzaak naar voren gekomen. De bezwijkmechanismen type 1 en type 2 waren beide aanwezig. De leiding was door lokale omstandigheden zwaar belast. Het bezwijkmechanisme type 3 is niet aangetroffen. Uit het materiaalonderzoek volgt de materiaalkwaliteit PE80 en blijkt dat het onderzochte materiaal nog volledig voldoet aan de eisen die aan PE80 gesteld worden.

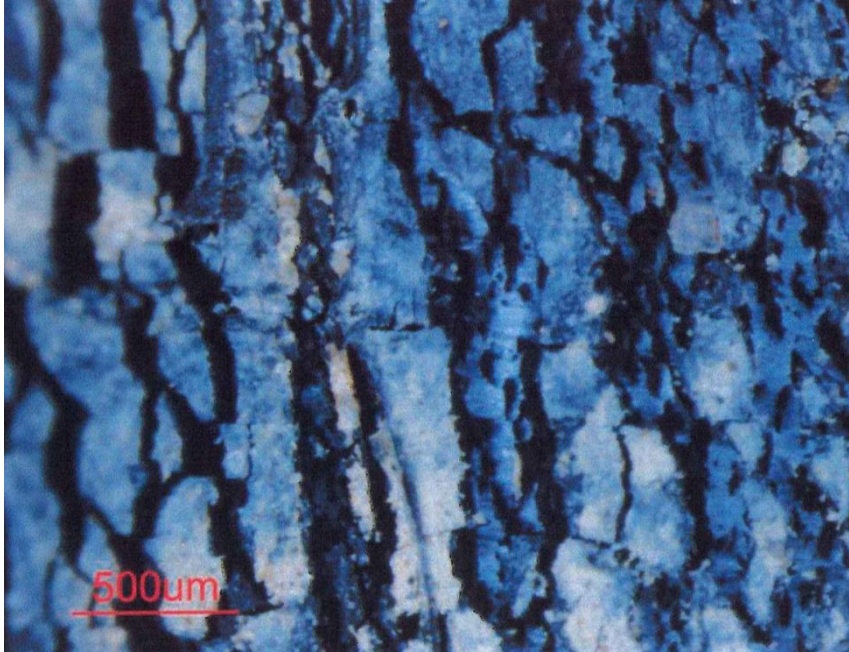
3.3 Rapid Crack Propagation

In kunststoffen bestaat de eigenschap Rapid Crack Propagation (RCP). Dit ontstaat als de snelheid van scheuren hoger is dan de ontlasting van de wandspanning bij scheuren. In de drinkwatertoepassing van PE komt dit niet voor.

3.4 Chemische aantasting PE

PE kan chemisch worden aangetast waarbij ketenbreuk optreedt (bezwijkmechanisme type 3). In de toepassing van PE in drinkwaterleidingen is een uitwendige en een inwendige blootstelling aan chemicaliën mogelijk. De chemicaliën waarbij het PE aangetast wordt, zijn vooral de oxidatoren. Uitwendige blootstelling vindt plaats in vervuilde bodems, in principe wordt PE vanwege het permeatiegevaar niet toegepast in een vervuilde bodem tenzij er een barrièrelaag in de leidingwand is opgenomen (SLA buis). Vanwege de reactiviteit van oxidatoren in een bodemomgeving bestaat op de aanlegdiepte van PE leidingen geen gevaar meer voor uitwendige aantasting onder gematigd vervuilde bodemomstandigheden. Inwendig kan PE worden blootgesteld aan oxidatoren vanuit desinfectiemiddelen in het drinkwater. Een literatuuronderzoek, zie Bijlage I, naar de aantasting van PE door deze middelen levert op dat de aanwezigheid van natriumhypochloriet geen problemen oplevert.

De aanwezigheid van chloordioxide levert al in beperkte concentraties aantasting van het oppervlak op, zie figuur 7. De aanwezigheid van ozon en waterstofperoxide wordt niet genoemd maar deze chemicaliën zijn sterke oxidatoren en kunnen daarmee ketenbreuk veroorzaken.



FIGUUR 7 AANGETAST OPPERVLAK PE DOOR OXIDATOR [LIT. 2]

3.5 Invloed ketenbreuk

In de geëvalueerde onderzoeken komt de wandspanning in het materiaal naar voren als factor voor bezwijken. Het mechanisme hierachter is het fenomeen 'langzame scheurgroei (bezwijktype 2) na initiatie'. Zolang de scheur niet is geïnitieerd, treedt het verschijnsel niet op. Met het beschadigen van het oppervlak door oxidatie treedt de initiatie op. Bij een hoge materiaalspanning ontstaat er rond het initiatiepunt een spanningspiek die de bezwijkspanning overschrijdt, waardoor het materiaal verder scheurt. Dit proces stopt niet als de wandspanning hoog blijft.

Ketenbreuk veroorzaakt een afname van de opneembare spanningen en dit initieert scheurvorming. Rond de optredende scheuren treedt spanningsverhoging op en dit leidt tot verdere scheurvorming tot uiteindelijk de buiswand bezwijkt. Dit proces is langzame scheurgroei geïnitieerd door ketenbreuk. Met een hoeveelheid geïnitieerde scheuren zoals in figuur 7 is langzame scheurgroei niet te vermijden.

3.6 Permeatiegedrag

Het materiaal PE is permeabel voor a-polaire stoffen waardoor deze stoffen door de buiswand van een PE drinkwaterleiding kunnen dringen en in het drinkwater terecht kunnen komen. Dit verschijnsel is sinds de jaren '70 van de vorige eeuw als probleem aan het licht gekomen. Voor de toepassing van PE leidingen in de drinkwaterindustrie betekent dit dat PE als materiaal niet geschikt is voor toepassing in een door a-polaire stoffen verontreinigde grond. Hiervoor is een PE-buis ontwikkeld waar in de buiswand een barrièrelaag is opgenomen waardoor permeatie tot in het drinkwater niet meer op kan treden.

3.7 Biologische stabiliteit

De biologische stabiliteit van drinkwater kan worden beïnvloed bij het doorstromen van PE leidingen. De biofilmvormingsnelheid² van het materiaal verschilt tussen de verschillende fabrikaten. Omdat de fabrikant van bestaande leidingen vaak niet bekend is, is een uitspraak over een bestaande leiding niet mogelijk. Uit onderzoek is gebleken dat de biofilmvormingsnelheid niet afneemt in de loop van de liggingstijd [lit 3]. De biofilmvormingsnelheid van nieuw PE materiaal is een onderwerp van onderzoek. Uit de resultaten blijken verschillen te bestaan tussen de fabrikaten en de biofilmvorming in PE hoger te zijn dan in PVC [Lit 4].

3.8 Verbindingen

In PE leidingsystemen worden verschillende verbindingstechnieken gebruikt. Demontabele of losneembare verbindingen als flensverbinding en knelverbindingen en de niet losneembare verbindingen als spiegellassen en electrolassen. Voor de losneembare technieken moet rekening gehouden worden met de hoge kruip van het materiaal waardoor de verbinding los kan komen. Steunbussen kunnen dan onontbeerlijk zijn. De spiegellassen en de electrolassen vormen één geheel met het buismateriaal (na versmelting). De uitvoering van deze lassen vergt specifiek gereedschap en een gecontroleerde uitvoering.

In storingsregistratie (exclusief schade derden) wordt onderscheid gemaakt tussen het falen van de verbindingen (135/234 = 58%) en buisdelen (99/234 = 42%) maar niet tussen de verschillende verbindingstechnieken. Voor drinkwaterleidingen zijn hier geen uitspraken over mogelijk. In de gasindustrie is uit het onderzoek naar het lange duur gedrag van verbindingen naar voren gekomen dat electrolassen een grotere kans hebben op falen vertonen dan verwacht [lit.5].

3.9 Liggingscondities

Hoewel in PE vanwege de lage elasticiteitsmodulus en hoge kruip bij vormverandering lage spanningen ontstaan en het materiaal hierdoor een grote tolerantie heeft voor slechte liggingscondities, zijn er situaties die vermeden moeten worden. Puntlasten op de leiding door stenen in de grond, beschadigingen door het schuren over randen, beschadigingen door graafmaterieel, leiden tot spanningsconcentraties die ten grondslag kunnen liggen aan scheurgroei in het materiaal. Dit kan optreden lang nadat de beschadiging is aangebracht en is niet altijd meer te relateren aan een gebeurtenis.

Op plaatsen waar materiaalovergangen gemaakt worden, kunnen hoge spanningen ontstaan door de verschillen in stijfheid tussen constructies en materialen. Om de hoge spanningen te beperken is aandacht voor de overgangsconstructies noodzakelijk.

3.10 Lengteverandering

Lengteverandering van PE onder invloed van temperatuurverandering en/of materiaalspanning speelt een rol vanwege de volgende eigenschappen en toepassingen:

- hoge lineaire uitzettingscoëfficiënt, $13 \cdot 10^{-5} - 20 \cdot 10^{-5}$ (PVC $6 \cdot 10^{-5}$, gietijzer $9 \cdot 10^{-6}$);
- Poisson constante³ = 0,3 (dwarscontractiecoëfficiënt);
- grote lengten aan een stuk.

² Een biofilm is de laag op binnenkant van de waterleidingbuis die bestaat uit bacteriën die daar hun voedsel vinden, hogere organismen die van deze bacteriën leven, afgestorven materiaal, uitscheiding van het aanwezige leven en sediment dat in deze laag vastgelegd wordt. De hoeveelheid biofilm, de snelheid van groeien en de samenstelling hangt af van het leidingmateriaal en de waterkwaliteit.

³ De Poisson constante is de constante die de verhouding weergeeft tussen de lengteverandering over twee assen terwijl er in één richting krachten worden uitgeoefend. Een staaf waar aan getrokken wordt wordt langer maar ook dunner, een leiding die onder druk gezet wordt krijgt een grotere diameter en wordt korter.

Een PE leiding kan tot een grote lengte aan één stuk worden gelast. In een opensleuf of in een mantelbuis wordt de leiding per graad Celsius per honderd meter 13 – 20 mm korter bij dalende temperatuur. Bij 10 graden verschil ontstaat een lengteverandering van 130 – 200 mm. Hier moet bij de aanleg rekening mee worden gehouden op de verbindingen. Deze moeten een grote insteeklengte hebben of voldoende verankerd zijn om de optredende krachten te kunnen weerstaan.

Bij het onder druk brengen van de leiding wordt de leiding korter. Bij de optredende tangentiële wandspanning ontstaat er in de lengterichting een lengteverandering die hoort bij een spanning ter grootte van de optredende materiaalspanning in de krachtrichting vermenigvuldigt met de constante van Poisson. Voor PE 100 onder de maximale tangentiële wandspanning van 8 MPa ontstaat er een spanning in de lengte richting van $0,3 * 8 = 2,4$ MPa. De optredende lengteverandering in een vrij liggende leiding bedraagt dan 0,24 meter voor een lengte van 100 meter voor de korte termijn ($E = 1000$ MPa) en 1,2 meter voor de lange termijn ($E=200$ MPa).

4 Kennisregels

Op basis van de beschikbare informatie over het storingsgedrag van de PE en de toepassingen van dit materiaal in de Nederlandse drinkwaterindustrie kunnen een aantal kennisregels afgeleid worden.

- Er is op basis van de storingsregistratie geen relatie aantoonbaar tussen het jaar van productie / aanleg en de storingsfrequentie of tussen de diameter en de storingsfrequentie. De storingsfrequentie komt overeen met die van PVC;
- Op basis van de materiaaleigenschappen (lage E-modulus, hoge kruip) blijven de materiaalspanning bij vervorming beperkt.
- Voorkom puntlasten op de leiding.
- Rapid Crack Propagation (RCP) komt in PE drinkwaterleidingen niet voor;
- Onder invloed van oxiderende desinfectiemiddelen kan ketenbreuk in het polymeer optreden. Bij natriumhypochloriet in een lage concentratie wordt dit niet aangetroffen. Bij chloordioxide treedt dit verschijnsel bij lage concentraties wel op; ozon, waterstofperoxide zijn verdacht van het veroorzaken van ketenbreuk. Kettenbreuk kan leiden tot scheurgroei in de leiding in een beperkte tijd;
- PE is permeabel voor a-polaire stoffen en de toepassing in een vervuilde bodemzonder beschermende constructie (aanwezigheid barrièrelaag) moet vermeden worden.
- De biofilmvormingsnelheid van PE voor bestaande leidingen neemt niet af in de loop van de jaren.
- PE vertoont een hogere biofilmvormingsnelheid dan andere materialen. Voor nieuwe aangepaste PE's geldt dat deze eigenschap in mindere mate (lagere biofilmvormingsnelheid) aanwezig is.

Criteria voor een vergelijking tussen PE en andere materialen zijn de volgende:

- **Mechanisch**
Het materiaal PE gedraagt zich vanwege de grote kruip anders dan de stuggere materialen PVC of NGIJ. De materiaalspanningen blijven beperkt bij vervorming van de ondergrond. Het materiaal is zeer geschikt voor toepassing in zettingsgevoelige gronden.
Omdat het materiaal een lage elasticiteitsmodulus heeft is het zaak om verbindingen trekvast uit te voeren om het uitschuiven van verbindingen die onder spanning liggen te voorkomen. Omdat het aantal verbindingen in een PE leiding lager is dan in andere materialen, zijn de mogelijke verplaatsingen per verbinding groter dan bij andere materialen.
- **Techniek**
Het materiaal is met één voorbehoud bruikbaar in het drinkwaterleidingnet. In het te transporteren drinkwater mag alleen het natriumhypochloriet gebruikt worden voor langdurige desinfectie. Ander oxiderende middelen kunnen ketenbreuk in het materiaal veroorzaken.
- **Hydraulisch**
Als de aanwezige inwendige rillen bij het spiegellassen verwijderd worden, bestaat er geen verschil met andere gladde leidingsystemen als PVC of gecementeerd NGIJ.

- Biologisch
Voor de nieuwe typen PE kan de biofilmvorming lager zijn dan oudere typen en in de buurt komen van PVC.

5 Witte vlekken

Er bestaat nog een aantal “witte vlekken” in de kennis van PE in het Nederlandse drinkwaternet. Dit betreft:

- Aansluitleidingen;
Het aandeel aansluitleidingen in de totale hoeveelheid PE drinkwaterleidingen is veel groter dan in het distributienet. Van deze leidingen wordt nog geen centrale storingsregistratie bijgehouden. Onderzoek in DPWE verband uit 2015 geeft aan dat de kennis van dit deel summier is.
- Verbindingen;
In de centrale storingsregistratie USTORE wordt geen onderscheid gemaakt tussen het type verbinding in PE, elektrolas of spiegellas. In het cohort PE komen in de verbindingen meer storingen voor dan in de buisdelen. Uit de storingsregistratie van het gasnet blijken de elektrolassen een lagere betrouwbaarheid te hebben dan verwacht. In hoeverre dit in het waternet aanwezig is en een probleem vormt, kan alleen achterhaald worden als het type verbinding in PE in USTORE bijgehouden gaat worden.
- Biofilmvorming door permeatie van bodemmethaan.
Biofilmvorming in PE drinkwaterleidingen is van oudsher hoger dan in andere materialen in het drinkwaternet. De fabrikanten brengen nu PE's op de markt waarin de biofilmvorming lager is dan voorheen. De aanwezigheid van methaan in de bodem kan via permeatie mogelijk aanleiding geven tot biofilmvorming in het leidingnet die tot nu toe onopgemerkt is gebleven vanwege de PE-eigen biofilmvorming. Nader onderzoek kan dit aandeel kwantificeren.

6 Literatuur

- [1] George Mesman (KWR), Ilse Dingerdis (PWN), Piet Beers (PWN), Breuk drinkwatertransportleiding naar Texel, zomer 2013, H2O 10 juli 2014
- [2] Engineering Systems Inc. (2009): 'Oxidative Degradation of High Density Polyethylene Pipes from Exposure to Drinking Water Disinfectants', onderdeel 'Impact of Polyethylene Pipe Oxidative Degradation on Pipeline Performance: a Literature Review – Section I', Aurora, Illinois, USA
- [3] Berschenko Ludmila A., BTO 2013.037 Effect van leeftijd op de groeibevorderende eigenschappen van PVC-U en PE in contact met drinkwater, 2013
- [4] Wielen, Paul van der, Berschenko Ludmila A., BTO 2016.022 Rol van leidingmateriaal bij groei van micro-organismen en opportunistische pathogenen (concept), 2016
- [5] <http://www.kiwatraining.nl/infomiddag-NTA8828/>
Bezocht op 12 januari 2016
- [6] Castagnetti, D., Dragoni, E., Scirè Mammano, G., Fontani, N., Nuccini, I., en Sartori, V. (2007(?)): 'Effect of sodium hypochlorite on the structural integrity of polyethylene pipes for potable water conveyance', Academia, www.academia.edu
- [7] Whelton, A.J., en Dietrich, A.M. (2009): 'Critical considerations for the accelerated aging of high-density polyethylene potable water materials', Polymer Degradation and Stability, nummer 94, pagina 1163 – 1175
- [8] Colin, X., Audouin, L., Verdu, J., Rozental-Evesque, M., Rabaud, B., Martin, F., en Bourguine, F. (2009): 'Aging of Polyethylene Pipes Transporting Drinking Water Disinfected by Chlorine Dioxide. I. Chemical Aspects', Polymer Engineering and Science, pagina 1429 – 1437
- [9] Colin, X., Audouin, L., Verdu, J., Rozental-Evesque, M., Rabaud, B., Martin, F., en Bourguine, F. (2009): 'Aging of Polyethylene Pipes Transporting Drinking Water Disinfected by Chlorine Dioxide. Part II – Lifetime Prediction', Polymer Engineering and Science, pagina 1642 – 1652
- [10] Castagnetti, D., Scirè Mammano, G., en Dragoni, E. (2011): 'Effect of chlorinated water on the oxidative resistance and the mechanical strength of polyethylene pipes', Polymer Testing, nummer 30, pagina 277 – 285
- [11] Whelton, A.J., Dietrich, A.M., Gallagher, D.L. (2011): 'Impact of Chlorinated Water Exposure on Contaminant Transport and Surface and Bulk Properties of High-Density Polyethylene and Cross-Linked Polyethylene Potable Water Pipes', Journal of Environmental Engineering, juli 2011, American Society of Civil Engineers, pagina 559 – 568
- [12] Castillo Montes, J., Cadoux, D., Creus, J., Touzain, S., Gaudichet-Maurin, E., en Correct, O. (2012): 'Aging of polyethylene at raised temperature in contact with chlorinated sanitary hot water. Part I – Chemical aspects', Polymer Degradation and Stability, nummer 97, pagina 149 – 157

[13] Mitroka, S.M., Smiley, T.D., Tanko, J.M., en Dietrich, A.M. (2013): 'Reaction mechanism for oxidation and degradation of high density polyethylene in chlorinated water', Polymer Degradation and Stability, nummer 98, pagina 1396 - 1377

[14] Technical Memorandum, Carolla, Austin, Texas, August 2008
Evaluating the compatibility of chemical disinfectants with plastic pipe materials use for potable water distribution

Bijlage I Literatuuronderzoek

Aantasting PE door desinfectiemiddelen

In het navolgende wordt voor iedere 'bruikbare' literatuurbron in het kort weergegeven wat het gepubliceerde onderzoek omvatte met de bevindingen. Soms is daarbij gebruik gemaakt van citaten.

Castagnetti *et al.*, 2007, lit [6]

Dit betreft een onderzoek naar het effect van een tweetal chloorhoudende desinfectiemiddelen (natriumhypochloriet en chloordioxide) op HDPE. Het effect van natriumhypochloriet op PE100 is onderzocht bij een concentratie van 2,5 ppm. Onder meer het volgende wordt geconcludeerd: *'The monotonic tensile tests up to failure and OIT tests highlight that there is no substantial influence on the mechanical behaviour of PE and a slight antioxidants consumption.'*

Technical Memorandum, Carolla, Austin, Texas, August 2008, lit [14]

Dit betreft een desktop studie die de aanwezige kennis en onderzoek, normen en richtlijnen evalueert op het gebied van PE en desinfectiemiddelen.

Premature Stage 3 "end of life failure" (chain scission) is possible in PE pipelines in the presence of chlorine, chlorine dioxide, and chloramine disinfectants. Research indicates that chlorine dioxide is the most aggressive disinfectant followed by chlorine and then chloramines:

Whelton en Dietrich, 2009, lit [7]

De publicatie gaat in op versnelde verouderingscondities van HDPE met gechloord water gedurende 20 weken. *'Water sorption was not detected in most of the 23 and 37 °C HDPE pipe ageing conditions with the exception of the 250 ppm as Cl₂ at 37 °C.'*

Colin *et al.*, 2009a, lit [8]

In deze publicatie gaat het om de veroudering van PE en dan met name de polymeerchemische aspecten als gevolg van de toepassing van chloordioxide.

Colin *et al.*, 2009b, lit [9]

Onder invloed van het aanwezige desinfectiemiddel breken de polymeren ketens in de grenslaag op het grensvlak kunststof/water, waardoor verbrossing van het materiaal optreedt.

De combinatie van 0,15 ppm chloordioxide en een hoge wandspanning kan leiden tot een reductie van de levensduur met 80%.

Engineering Systems Inc., 2009, lit [2]

Het oppervlak verbrost onder invloed van oxidatie, waarbij crack initiatie optreedt. Bij hoge spanningen in het materiaal komt het proces van langzame scheurgroei op gang, waarbij het materiaal in relatief korte tijd bezwijkt.

Castagnetti et al., 2011, lit [10]

In dit onderzoek is het effect van desinfectiemiddelen op de mechanische en chemische weerstand van HDPE leidingen (PE100) onderzocht, waaronder 2,5 ppm natriumhypochloriet. *'....., in the case of sodium hypochlorite, the monotonic tensile tests up to failure highlighted no substantial influence on the mechanical behaviour of PE.'*
'Chlorine dioxide appeared to be the most aggressive disinfectant since it lead to a drastic reduction in elongation at failure

Castillo Montes et al., 2012, lit [12]

Deze publicatie betreft een onderzoek naar het effect van natriumhypochloriet (0, 1, 25 en 100 ppm) op PE-RT⁴ bij 70 °C. *'1 and 0 ppm ageing are difficult to discern. The addition of 1 ppm sodium hypochlorite did not increase the degradation rate under test conditions, compared to 0 ppm. Sodium hypochlorite addition accelerates PERT degradation only for 25 and 100 ppm concentrations. PERT degradation is confined to the immediate inner surface (less than 200 µm thick).'*

Mitroka et al., 2013, lit [13]

Deze publicatie gaat met name in op de chemische aspecten van de veroudering van HDPE onder invloed van natriumhypochloriet door middel van onderzoek bij 37 °C met 50, 250 en 500 ppm vrij chloor. Er worden carbonyl groepen gevormd, die een direct gevolg zijn van de oxidatie van PE en geen omgezet antioxidant betreffen.

Samenvatting

Op grond van verschillende literatuurbronnen kan worden gesteld dat er geen substantieel effect van relatief lage concentraties natriumhypochloriet in water en bij relatief lage temperaturen op de mechanische eigenschappen van PE zal optreden. Bij de onderzoeken waarop dit is gebaseerd, ging het doorgaans om een betrekkelijk beperkte blootstellingsduur: één of enkele jaren.

⁴ Het betreft PE 'Resistant Temperature'. Chemisch gezien is dat hetzelfde als PE100, maar fysisch gezien (kristallijne polymere structuur) zijn de materialen verschillend.