

BTO 2016.094 | December 2016

BTO rapport

Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML

Fase 2: Nadere analyse

BTO

Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML

BTO 2016.094 | December 2016

Opdrachtnummer

400829

Projectmanager

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

Opdrachtgever

BTO - Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger(s)

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

Auteur(s)

Ir. R.H.S. (Ralph) Beuken

Verzonden aan

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

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie

Ir R.H.S. Beuken
T 06-25032599
E ralph.beuken@kwrwater.nl

Keywords

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 2016.094 | December 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

Vervang de oudste AC leidingen en stop met exitbeoordelingen met thymolftaleïne

Auteur Ir. R.H.S. (Ralph) Beuken

WML voert op uitgenomen buisdelen thymolftaleïnetesten uit om meer kennis te verkrijgen over de toestand van AC-leidingen. Uit onderzoek van 250 testen blijkt dat de uitloging in het algemeen het grootst is bij oudere leidingen. WML wordt geadviseerd de vervangingen te concentreren op leidingen die zijn aangelegd voor 1962. Tevens blijkt dat de variatie van de mate van uitloging binnen een buis of een leiding zeer groot is. Dit betekent dat het resultaat van één thymolftaleïnetest niet representatief is voor een gehele buis of leiding. Ook zijn er vanwege de grote variatie vraagtekens bij de waarde van metingen van de gemiddelde wanddikte.



AC buisdelen gebruikt in dit onderzoek. Links, een scherf nadat een breuk optrad bij een persproef. Rechts, vier uitgeknipte delen waarvan het breukvlak nader is onderzocht. Op alle breukvlakken is thymolftaleïne aangebracht.

Belang: betere onderbouwing van vervangingsbeslissingen

WML gaat de komende decennia een groot aandeel van haar asbestcement (AC) leidingen vervangen. Daarnaast vinden er veel vervangingswerken plaats van ondergrondse infrastructuur van andere beheerders. Om toekomstige beslissingen over vervangen beter te onderbouwen, wil WML kennis opbouwen over de conditie van AC leidingen. Met deze kennis kunnen gericht leidingen worden vervangen. Dit leidt tot het uitstellen van bepaalde investeringen en het voorkomen van storingen. Voor het vergaren van kennis over de toestand worden bij vervanging van leidingen

(exitbeoordeling) of bij reparaties, thymolftaleïnetesten uitgevoerd om de effectieve wanddikte te bepalen. Thymolftaleïne is een pH-indicator die blauw kleurt op die plekken waar de buis niet uitgeloozd is. WML wil weten hoe betrouwbaar en representatief de toestandsmeting met thymolftaleïne is.

Aanpak: analyse van 250 thymolftaleïnetesten en van de variatie in een leiding

WML heeft op uniforme wijze 250 thymolftaleïnetesten uitgevoerd en gerapporteerd. De vastgestelde inwendige en uitwendige uitloging is gerelateerd aan gegevens over de leiding en de

omgeving. Hiermee is het mogelijk na te gaan onder welke omstandigheden meer uitloging optreedt. Daarnaast heeft WML in Leunen een persproef uitgevoerd op een leiding, waarna op 14 locaties thymolftaleïnetesten zijn uitgevoerd. De uitloging is daarbij gefotografeerd en nauwkeurig vastgesteld.

Resultaten: oudere leidingen zijn het meest uitgelopen, thymolftaleïne onbetrouwbaar

De analyse van 250 buisdelen resulteert in een indeling in drie klassen met afnemende inwendige en uitwendige uitloging, namelijk buisdelen:

1. aangelegd tussen 1950 en 1961;
2. aangelegd tussen 1962 en 1970 of met een drukklasse 'Onbekend';
3. aangelegd na 1970.

Overige omstandigheden spelen een veel minder dominante rol. Zo is de uitloging groter in leidingen in bepaalde voorzieningsgebieden. Deze relatie is echter niet onafhankelijk, omdat deze gebieden juist meer oudere leidingen hebben.

De vaststelling op basis van thymolftaleïnetesten dat oudere leidingen meer zijn uitgelopen, is op grond van de omvang van de steekproef voldoende betrouwbaar. Dit ondanks de tekortkomingen van deze test, die zijn geconstateerd in dit onderzoek.

Bij de meting in Leunen blijkt dat de variatie van de inwendige en uitwendige uitloging over enkele tientallen meters leidinglengte groot is. Dit betekent dat thymolftaleïnemetingen uitgevoerd op één uitgenomen buisdeel niet representatief zijn voor het vaststellen van de maatgevende effectieve wanddikte van grotere leidinglengtes. Daarnaast blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de meting van de uitloging in het veld en het meer nauwkeurig meten met behulp van foto's. Omdat bij de meting in Leunen de uitloging over de 14 locaties sterk varieert en omdat ook de totale

wanddikte sterk varieert over de lengte van een leiding, is er meer kennis nodig over de interpretatie van metingen die een gemiddelde wanddikte voorspellen, zoals de metingen met e-Pulse. In de leiding in Leunen blijkt immers dat de gemiddelde wanddikte 11,3 mm is. De maatgevende wanddikte is de wanddikte waarbij tijdens het afpersen de breuk optrad. Deze bedroeg 4,4 mm.

Bij de metingen in Leunen is getest of de toestand van AC leidingen ook non-destructief met een hardheidshamer kan worden vastgesteld. Dit is niet het geval.

Implementatie: vooral oudere AC leidingen vervangen

Dit Speerpuntonderzoek laat duidelijk zien dat vooral oudere leidingen een grotere uitloging hebben. WML krijgt het daarom het advies om het vervangingsprogramma te richten op leidingen uit de periode 1950 –1961. Vanwege de beperkte betrouwbaarheid van thymolftaleïnetesten wordt aanbevolen deze testen niet meer uit te voeren bij het uitnemen van buisdelen.

WML voert ook toestandsbepalingen uit met e-Pulse, waarbij de gemiddelde wanddikte wordt bepaald. Er is nader overleg noodzakelijk over hoe de resultaten van e-Pulse kunnen bijdragen aan het vaststellen van de maatgevende effectieve wanddikte van AC leidingen. Aanbevolen wordt na te gaan of het uitvoeren van exitbeoordelingen met georadar, zoals nu plaatsvindt bij Brabant Water, wel tot betrouwbare toestandsbepalingen zal leiden.

Rapport

Dit Speerpuntonderzoek voor WML is beschreven in het rapport *Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML* (BTO-2016.094).

Inhoud

Inhoud	2
1 Inleiding	4
2 Analyse exitbeoordelingen	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Geregistreerde uitlogging	6
2.3 Geografische spreiding van uitlogging	12
2.4 Onderscheidende factoren voor uitlogging	16
2.5 Resumé verklarende factoren voor uitlogging	26
3 Vergelijking resultaten met exitbeoordelingen uit 2000	28
3.1 Inleiding	28
3.2 PS Pey	28
3.3 PS Schinveld	30
3.4 PS Waterval	30
3.5 Discussie van resultaten	31
4 Historische SI als verklarende factor voor AC exitbeoordelingen	32
5 Drukproef en representativiteit thymolftaleïnetesten	35
5.1 Inleiding meting bij Leunen	35
5.2 Resultaten drukproef	35
5.3 Thymolftaleïnetesten	37
5.4 Interpretatie ten behoeve van e-Pulse metingen	51
5.5 Interpretatie ten behoeve van het aantal benodigde puntmetingen	52
5.6 Vergelijking veldmetingen en foto's	53
6 De inzet van hardheidsmetingen	55
6.1 Inleiding	55
6.2 Meting met een hardheidshamer	55
7 Discussie over de toepassing van thymolftaleïnetesten	59
7.1 Inleiding	59
7.2 Variatie van meetresultaten	59
7.3 Verklarende factoren voor degradatie	60
7.4 Exitbeoordelingen en hoe verder	61
8 Conclusies en aanbevelingen	63
8.1 Conclusies	63
8.2 Aanbevelingen	64

9	Literatuur	65
	Bijlage I Protocol metingen Leunen en verbeterpunten	66
	Bijlage II Wanddiktebepaling	69
	Bijlage III Meetresultaten thymolftaleinetesten Leunen	70

1 Inleiding

Een groot aantal AC leidingen komt binnenkort aan het eind van hun levensduur. Om te blijven voldoen aan de huidige kwaliteit van levering, vervangt WML de komende jaren een groot aandeel van de AC leidingen. Om de sanering van deze zogenaamde saneringsbult betaalbarer en planmatiger aan te pakken is WML in 2013 begonnen met het Programma Sanering Infra. In dit kader verzamelt WML gericht kennis om op het juiste moment te saneren (niet te vroeg en niet te laat) en met een goede spreiding over de jaren. De resultaten van de opgestelde streefstructuur, gegevens over leeftijd en materiaal van leidingen en toestandsbepalingen, worden verzameld in een kennismodel. Experts bepalen daarmee het theoretische vervangingsjaar van leidingen. WML spreekt hierbij over een lerend model, waarin voortdurend wordt gecontroleerd of eerdere aannames kloppen, en er meer grip komt op de saneringsbult. Voor het voorspellen van het saneringsmoment maakt WML gebruik van de rekensystematiek TRANSPARANT, waar de AC leidingen zijn ingedeeld in acht cohorten.

Een belangrijk kennishiaat bij het opstellen van het kennismodel, is de huidige toestand en de bijbehorende degradatie van leidingen. Om hierover gericht kennis te verzamelen heeft WML in 2014 onder meer exitbeoordelingen uitgevoerd. In het kader van het BTO Speerpuntonderzoek heeft KWR ondersteuning gegeven bij de opzet van deze beoordelingen, de locatiebepaling en de analyse, zie BTO2015.037 *Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML, toepassing, analyse en toekomstige inzet*. In dit rapport (fase 1) is een analyse beschreven van de 37 exitbeoordelingen die eind november 2014 beschikbaar waren. De conclusie in dit rapport is dat bij WML in het algemeen de interne uitloging groter is dan de uitwendige uitloging en dat het mogelijk is AC leidingen te verdelen in cohorten op basis van verklarende factoren voor uitloging. Voor een betere onderbouwing van deze analyse was het noodzakelijk een grotere steekproef te onderzoeken.

In voorliggend rapport (fase 2) is bovenstaand onderzoek onderbouwd met meer metingen, waarbij tevens aandacht is gegeven aan de variatie van uitloging door het uitvoeren van meerdere beoordelingen op dezelfde leiding en op het relateren van de inwendige uitloging aan de waterkwaliteit. In het projectplan voor dit speerpuntonderzoek zijn de volgende opbrengsten beschreven:

1. Een overzicht van invloedsfactoren voor uitloging op basis van een eenvoudige statistische analyse naar telkens één verklarende factor, gebaseerd op de door WML uitgevoerde exitbeoordelingen.
2. Inzicht in de variatie van uitloging van AC-buisdelen bij WML en vertaling hiervan naar AC leidingen van andere bedrijven, ondersteunend aan opbrengst 1.
3. De bevestiging of het mogelijk is een quick-scan toestandsbepaling uit te voeren op AC-buisdelen met een hardheidshamer, of een soortgelijk meetinstrument, of door het registreren van waarnemingen bij knippen.
4. Een overleg met verslaglegging tussen WML, Aging Centre van de TU-Delft en KWR over degradatie van AC leidingen.

Het overleg tussen WML, Aging Centre van de TU-Delft en KWR heeft plaatsgevonden op 5 januari 2016. Naar aanleiding hiervan is door het Aging Centre een voorstel voor nader onderzoek uitgewerkt. Dit voorstel is door KWR van commentaar voorzien, zie mail 8

februari 2016. Deze opbrengst is in dit rapport niet nader beschreven. Deze contacten hebben echter geleid tot het BTO project 'Sterkteonderzoek AC buizen' waarin door middel van sterkteproeven inzicht wordt verkregen in mechanische eigenschappen van AC buizen.

In Hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een analyse gegeven van de 250 exitbeoordelingen die WML heeft uitgevoerd en waar mogelijke verklarende factoren voor uitloging worden onderzocht. In Hoofdstuk 3 wordt nagegaan of er een relatie is tussen de resultaten van deze exitbeoordelingen en beoordelingen die eerder in het jaar 2000 zijn uitgevoerd. In Hoofdstuk 4 wordt een vergelijking gemaakt tussen de inwendige uitloging en de waterkwaliteitsgegevens die beschikbaar zijn over de periode 1990 - 2002. In Hoofdstuk 5 zijn metingen beschreven in Leunen, waarbij door het uitvoeren van meerdere exitbeoordelingen inzicht wordt verkregen in de variatie van de uitloging. Tevens zijn in dit hoofdstuk de resultaten beschreven van een persproef. In Hoofdstuk 6 wordt nagegaan of het mogelijk is om met een hardheidshamer voorspellingen te doen over de effectieve wanddikte van AC leidingen. In hoofdstuk 7 worden de bevindingen bediscussieerd. In Hoofdstuk 8 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2 Analyse exitbeoordelingen

2.1 Inleiding

In de periode september 2014 tot en met juli 2016 heeft WML 250 exitbeoordelingen uitgevoerd op AC buisdelen. Deze beoordelingen zijn uitgevoerd met thymolftaleïne. Een beschrijving van de werkwijze en resultaten van de eerste 37 beoordelingen zijn beschreven in Beuken (2015). Dit hoofdstuk bevat een actualisatie van alle tot nu toe uitgevoerde beoordelingen.

In Figuur 2-1 zijn twee foto's weergegeven van exitbeoordelingen met thymolftaleïne. De geregistreeerde uitwendige en inwendige uitloging betreft de maximaal gemeten uitloging. Voor informatie over hoe de meting is uitgevoerd, zie Beuken (2015). Vanwege de leesbaarheid wordt in dit hoofdstuk de term 'maximale' niet gehanteerd. Waar in het vervolg sprake is van bijvoorbeeld de gemiddelde uitwendige uitloging moet dit gelezen worden als de gemiddelde maximale uitwendige uitloging.



FIGUUR 2-1 TWEE VOORBEELDEN VAN EEN THYMOFLTALÉINEMETING. DE GRIJZE KLEUR GEEFT UITGELOOGD MATERIAAL WEER, IN DE BLAUWE DELEN IS NOG CALCIUM EN DAARMEE STERKTE AANWEZIG. LINKS BETREFT EEN BEOORDELING BIJ EEN SANERINGSWERK (BURGEMEESTER GERARDSTRAAT 3, POSTERHOLT), RECHTS BETREFT EEN STORING (Lollebeekstraat 75, Castenray).

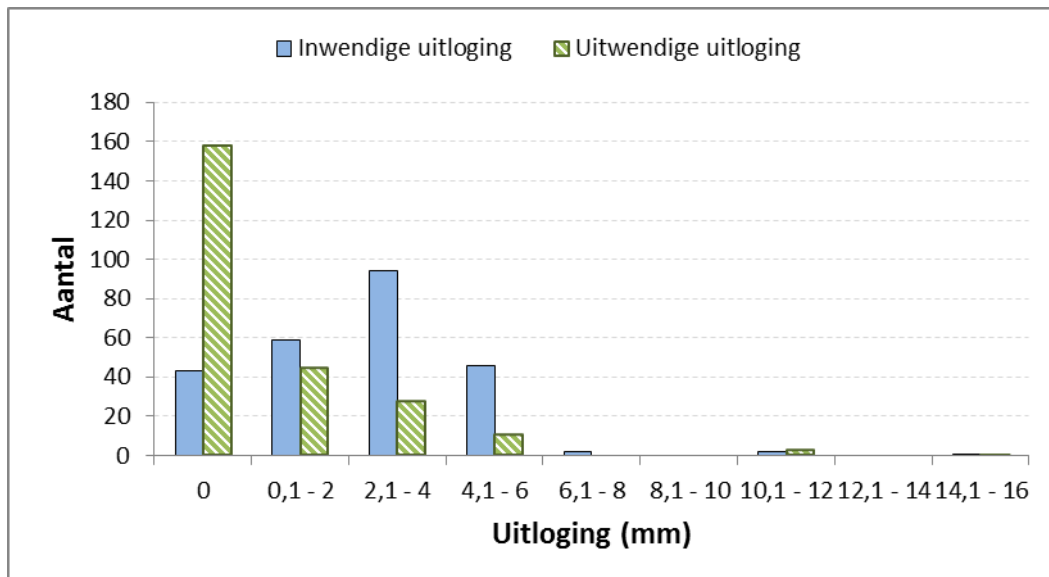
2.2 Geregistreeerde uitloging

Tabel 2-1 geeft een overzicht van de 250 beoordelingen naar diameter en periode van aanleg. De diameter is gemeten bij 232 buisdelen en de periode van aanleg is bekend van 249 buisdelen. Uit Tabel 2-1 blijkt dat de meeste beoordelingen (63%) betrekking hebben op buisdelen met een nominale diameter van 100 mm, gevolgd door buisdelen van 150 mm (16%). Als op het formulier de externe diameter en de wanddikte niet zijn ingevuld of een onlogische waarde bevat, is de nominale diameter als 'onbekend' aangegeven. Dit geldt voor 7% van de beoordelingen. De vier meest voorkomende aanlegperiodes zijn: 1970-1974 (24%), 1960-1964 (22%), 1955-1959 (13%) en 1975-1979 (13%).

TABEL 2-1 OVERZICHT VAN NOMINALE DIAMETER EN AANLEGPERIODE VAN DE EXITBEOORDELINGEN. COMBINATIES MET 15 OF MEER BEOORDELINGEN ZIJN OMKADERD.

Nom. diameter	<100	100	125	150	200	250	500	onbekend	Som	
Aanlegperiode										
<1954	-	2	2	-	-	2	-	-	6	2,4%
55-59	1	25	1	4	1	-	-	-	32	12,9%
60-64	1	33	6	7	-	3	-	5	55	22,1%
65-69	-	17	1	3	1	-	-	2	24	9,6%
70-74	-	37	4	11	3	3	-	3	61	24,5%
75-79	1	18	-	8	1	-	1	3	32	12,9%
80-84	-	10	-	6	3	-	-	1	20	8,0%
85-89	-	10	-	1	-	-	-	2	13	5,2%
90-94	-	5	-	-	-	-	-	1	6	2,4%
Som	3	157	14	40	9	8	1	17	232/249	
	1,2%	63,1%	5,6%	16,1%	3,6%	3,2%	0,4%	6,8%		

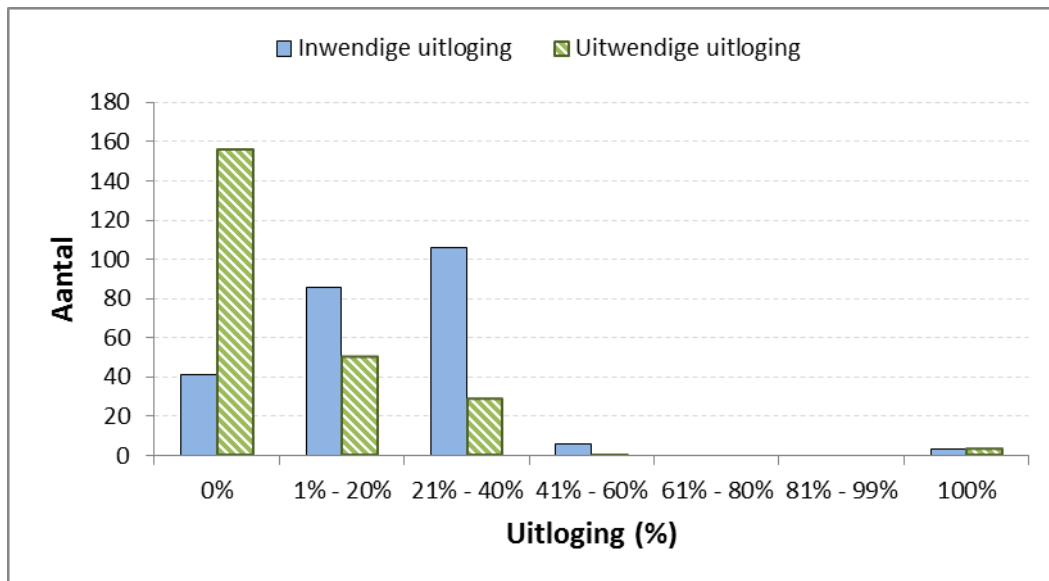
De inwendige uitloging is bepaald voor 247 beoordelingen en de uitwendige uitloging voor 242 beoordelingen. De gemiddelde inwendige uitloging bedraagt 2,9 mm en de gemiddelde uitwendige uitloging bedraagt 1,0 mm. De verdeling van de uitloging is weergegeven in Figuur 2-2. Er blijkt dat 43 beoordelingen (18%) geen uitwendige uitloging hebben en 158 beoordelingen (64%) geen inwendige uitloging.



FIGUUR 2-2 VERDELING VAN DE INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING OP BASIS VAN RESPECTIEVELIJK 247 EN 242 BEOORDELINGEN MET THYMOLFTALEÏNE OP AC BUISDELEN BIJ WML.

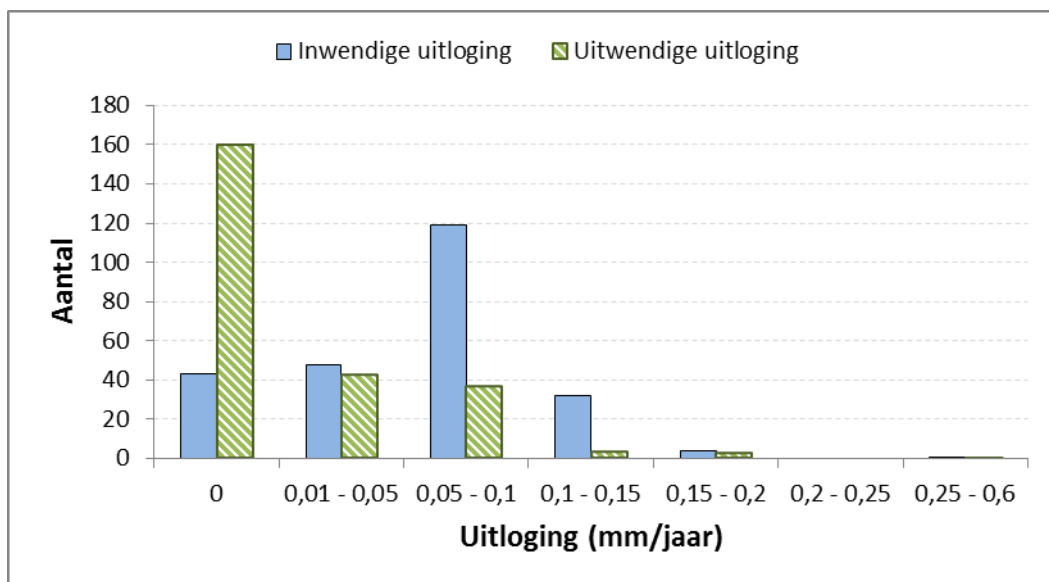
De verdeling van de maximale uitloging als percentage van de oorspronkelijke wanddikte is weergegeven in Figuur 2-3. De gemiddelde inwendige uitloging bedraagt 20% van de oorspronkelijke wanddikte en de gemiddelde uitwendige uitloging bedraagt 7% van de

oorspronkelijke wanddikte. Voor drie beoordelingen geldt dat de buisdelen volledig zijn uitgelopen.



FIGUUR 2-3 VERDELING VAN DE INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING ALS PERCENTAGE VAN DE OORSPRONKELIJKE WANDDIKTE.

De gemiddelde inwendige uitlogingsnelheid bedraagt 0,06 mm/jr en de gemiddelde uitwendige uitlogingsnelheid bedraagt 0,02 mm/jr. De verdeling van de uitlogingsnelheid is weergegeven in Figuur 2-4.

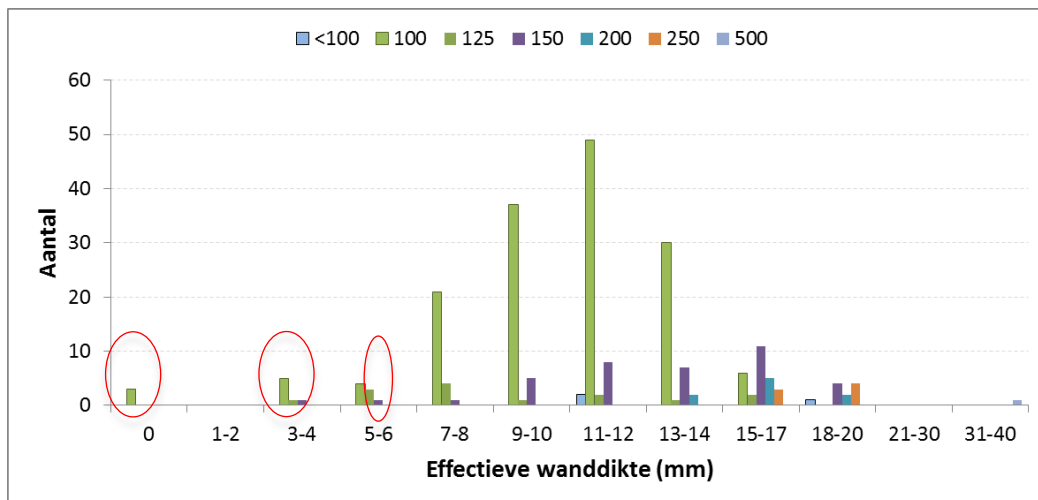


FIGUUR 2-4 VERDELING VAN DE UITWENDIGE EN INWENDIGE UITLOGINGSNELHEID.

Uit bovenstaande figuren blijkt dat bij de geïnspecteerde buisdelen de inwendige uitloging aanmerkelijk groter is dan de uitwendige uitloging. Deze constatering komt niet overeen met de registraties van WML in USTORE, waarin voor AC leidingen uitwendige aantasting vaker als storingsoorzaak wordt aangewezen dan inwendige aantasting, namelijk respectievelijk 14%

en 2%. Opgemerkt wordt dat de storingsoorzaak in USTORE door monteurs niet objectief waarneembaar is (Vertommen en Beuken, 2015).

De effectieve wanddikte is de wanddikte die niet is uitgelopen en waar nog sterkte aanwezig is. De effectieve wanddikte is te berekenen door de totale wanddikte te verminderen met de inwendige en de uitwendige uitloging. Hiermee wordt er vanuit gegaan dat de positie op het breukvlak waar de maximale inwendige uitloging zich bevindt, dezelfde is als waar de uitwendige uitloging zich bevindt. De verdeling van de effectieve wanddikte is in Figuur 2-5 voor verschillende diameterklassen weergegeven. In Slaats en Mesman (2004) zijn benodigde wanddikten berekend voor verschillende belastingsituaties. Voor een leiding met een diameter van 100 mm bedraagt de minimaal benodigde wanddikte ca. 5 mm, bij een verkeersklasse tot en met 30 (regulier verkeer), een bodem van zand of klei en een inwendige waterdruk van 0,6 MPa. Voor dezelfde belastingsituaties bedraagt de minimum benodigde wanddikte 7 mm voor een leiding met een diameter van 150 mm en 9 mm voor een diameter van 200 mm. Voor 14 beoordelingen (6%) geldt dat de effectieve wanddikte kleiner is dan de berekende benodigde wanddikte. Deze beoordelingen zijn in Figuur 2-5 rood omcirkeld.



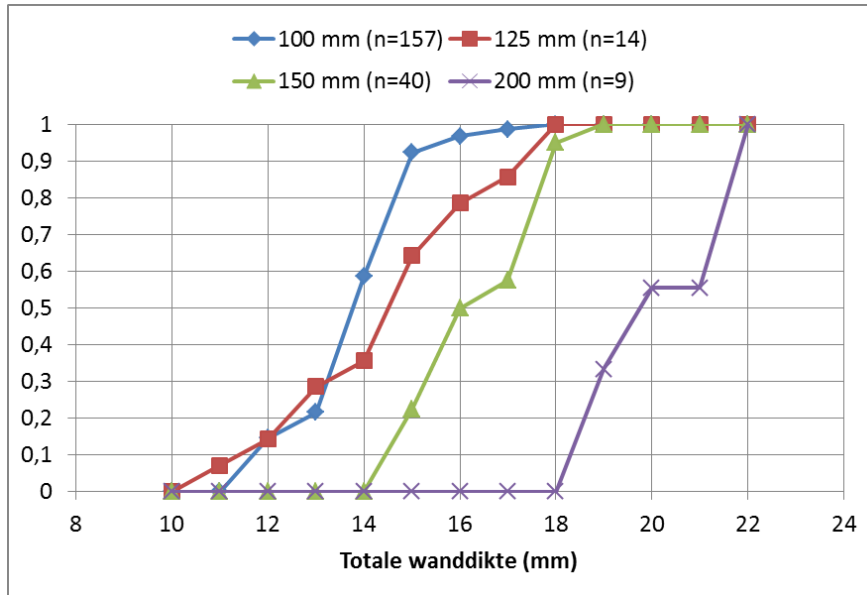
FIGUUR 2-5 VERDELING VAN DE EFFECTIEVE WANDDIKTE VOOR VERSCHILLENDE DIAMETERKLASSEN. DE ROOD OMCIRKELDE WAARDEN HEBBEN EEN EFFECTIEVE WANDDIKTE DIE KLEINER IS DAN DE MINIMAAL BENODIGDE WANDDIKTE.

In het verleden zijn buizen aangelegd met verschillende wanddikten ten gevolge van het toepassen van verschillende drukklassen. Daarnaast blijkt dat de meeste buizen grotere wanddikten hebben dan aangegeven in catalogi. Fabrikanten hanteerden bij de fabricage een minimum gegarandeerde wanddikte die in de praktijk vaak groter was. Bij de exitbeoordelingen zijn ook de wanddikten gemeten. Voor de meest voorkomende diameters zijn hiervan in Figuur 2-6 de cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven. In deze figuur blijkt de grote variatie in aangelegde wanddikte van AC buisdelen.

Omdat deze spreiding groot is, zal met de onzekerheid van de wanddikte rekening gehouden moeten worden. Dit dient te geschieden op basis van:

- een hoge te verwachte wanddikte (bijvoorbeeld het 95-percentiel) als de effectieve wanddikte wordt gemeten met bijvoorbeeld e-Pulse. Bij schatting van een te lage totale wanddikte vindt een onderschatting van de totale uitlogingssnelheid plaats.

- een lage te verwachte wanddikte (bijvoorbeeld het 5-percentiel) als voor sterkteberekeningen een effectieve wanddikte wordt bepaald op basis van een aangenomen totale uitlogingsnelheid.



FIGUUR 2-6 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE TOTALE GEMETEN WANDDIKTE VOOR DE MEEST VOORKOMENDE DIAMETERKLASSEN ZOALS GEMETEN MET EXITBEOORDELINGEN.

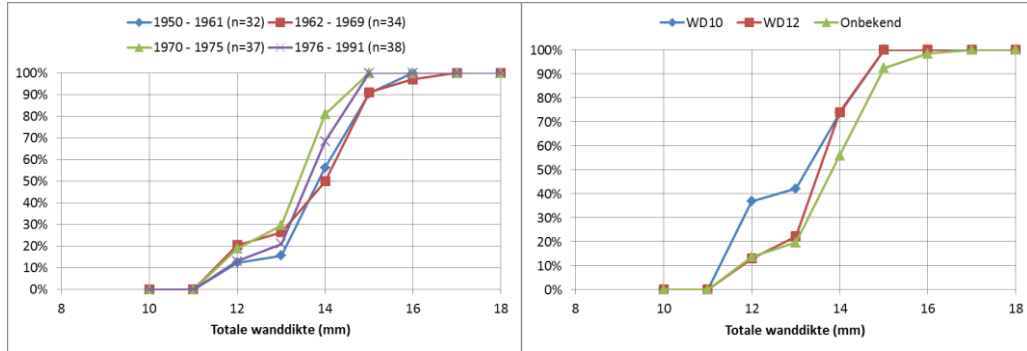
De gemeten totale wanddikten zijn tevens weergegeven in Tabel 2-2. De meest voorkomende diameter is 100 mm en hiervan kan de wanddikte variëren tussen 12 en 18 mm, met een gemiddelde waarde van 14,2 mm. De 5-percentiel waarde bedraagt 12,0 mm en de 95-percentiel waarde 16,0 mm. In deze tabel zijn tevens de cataloguswaarden opgenomen voor Eternit buizen van 1,0 MPa (Eternit, ca. 1980). Voor alle beoordelingen blijkt dat er maar één beoordeling een totale diameter heeft die kleiner is dan de cataloguswaarde. Dit betreft waarschijnlijk een fout in de registratie. Uit deze analyse blijkt dat de waarden uit de Eternit catalogus gezien moeten worden als minimumwaarden en dat de daadwerkelijke wanddikten gemiddeld ca. 2 mm hoger zijn dan deze cataloguswaarden.

TABEL 2-2 GEMETEN TOTALE WANDDIKTEN

Diam.	aantal	minimum waarde (mm)	maximum waarde (mm)	gemiddelde (mm)	standaard-deviatie (mm)	P05 (mm)	P95 (mm)	Eternit P1.0 Mpa (mm)	Lager dan catalogus	Verschil gemiddelde en catalogus (mm)
100 mm	157	12	18	14,2	1,2	12,0	16,0	12	0	2,2
125 mm	14	11	18	14,8	2,1	11,7	17,7	12	1	2,8
150 mm	40	15	19	16,7	1,3	15,0	18,0	15	0	1,7
200 mm	9	19	22	20,6	1,4	19,0	22,0	18	0	2,6

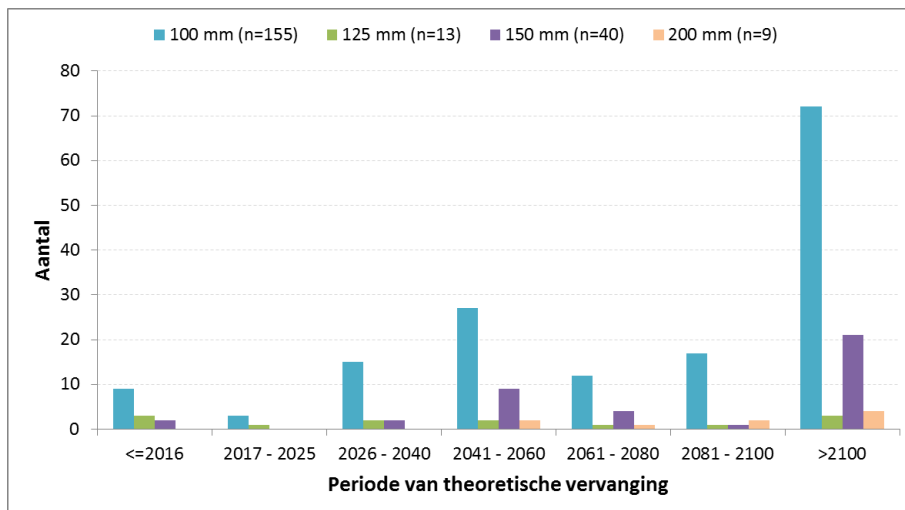
Bij de registratie van de thymolfaleinetest wordt onder andere het jaar van aanleg en de drukklasse aangegeven. De drukklasse is een notatie uit het leidinginformatiesysteem. De meest voorkomende categorieën zijn: 'WD10', 'WD12' en 'Onbekend'. WD betekent hier werkdruk van 10 of 12 bar. In Figuur 2-7 zijn cumulatieve frequentieberekeningen

weergegeven voor een vergelijking van de wanddikte voor vier perioden van aanleg en de drukklasse. De periode van aanleg blijkt nauwelijks onderscheidend te zijn voor de totale wanddikte. Voor de drukklassen geldt dat buisdelen met de drukklasse 'Onbekend' een iets grotere wanddikte hebben.



FIGUUR 2-7 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELINGEN VAN DE TOTALE WANDDIKTE VOOR DIAMETERS VAN 100 MM, IN RELATIE TOT DE PERIODE VAN AANLEG (LINKS) EN DE DRUKLASSE (RECHTS).

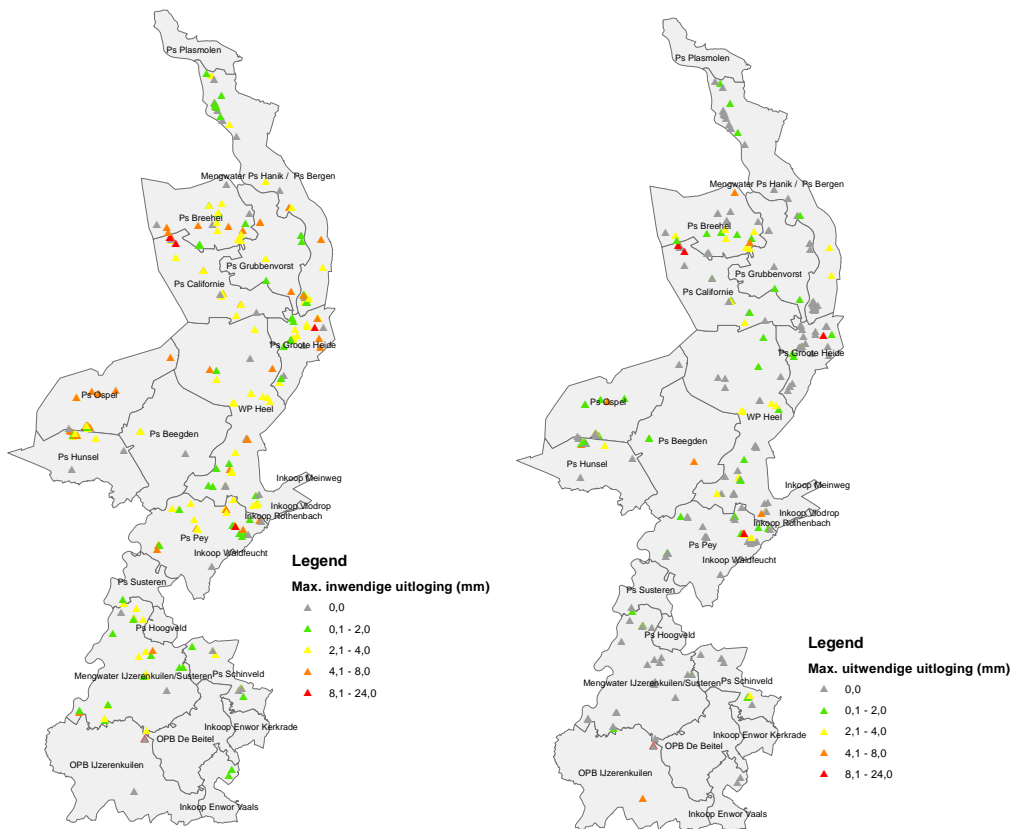
Met behulp van de totale wanddikte en de uitlogingsnelheid kan berekend worden wat de levensduur is van het betreffende buisdeel. Dit is die leeftijd waarbij de effectieve wanddikte gelijk is aan de benodigde wanddikte. In Figuur 2-8 is een overzicht gegeven van het op de levensduur en aanlegjaar gebaseerde vervangingsjaar. Deze bepaling is uitgevoerd voor 216 beoordelingen. Voor 14 beoordelingen (6%) geldt dat de effectieve wanddikte kleiner is dan de benodigde wanddikte en dat deze op basis van deze theoretische bepaling vervangen hadden moeten zijn. Dit zijn dezelfde buisdelen als rood omcirkeld in Figuur 2-5. Voor 4 beoordelingen (2%) geldt dat deze voor 2025 vervangen zouden moeten zijn. Voor het overgrote deel van de beoordelingen geldt echter dat op basis van de gemeten uitloging vervanging nog lang niet noodzakelijk is.



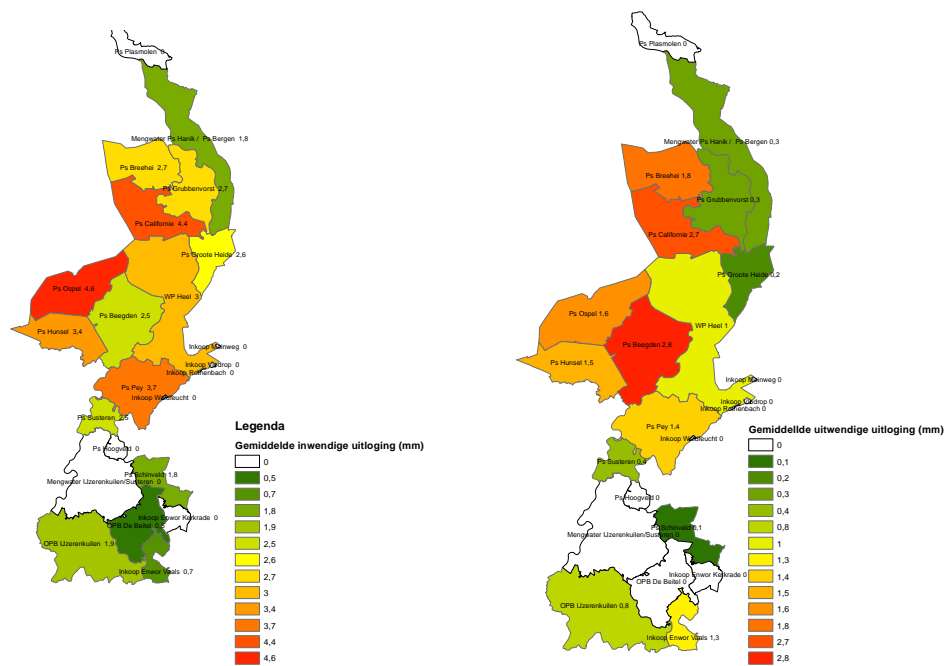
FIGUUR 2-8 VOORSPELDE THEORETISCHE PERIODE VAN VERVANGING OP BASIS VAN DE GEMETEN UITLOGING VOOR DE MEEST VOORKOMENDE DIAMETERS.

2.3 Geografische spreiding van uitlogging

In Figuur 2-9 zijn de resultaten van alle inspecties voor wat betreft de inwendige en uitwendige uitlogging geografisch weergegeven in vijf klassen. Voor de inwendige en uitwendige uitlogging geldt dat de hogere klassen meer in noordelijk gelegen voorzieningsgebieden voorkomen. In Figuur 2-10 zijn de gemiddelde inwendige en uitwendige uitlogging weergegeven per voorzieningsgebied. De gemiddelde inwendige uitlogging is het hoogst in de voorzieningsgebieden PS Ospel, PS Pey, WP Heel, PS Hunsel, PS Hanik, namelijk respectievelijk 4,6, 3,7, 3,4, 3,4 en 3,2 mm. De gemiddelde uitwendige uitlogging is het hoogst in de voorzieningsgebieden PS Beegden, PS Breehei, PS Ospel, WP Heel en PS Hunsel, namelijk respectievelijk 2,8, 1,8, 1,6, 1,5 en 1,5 mm.

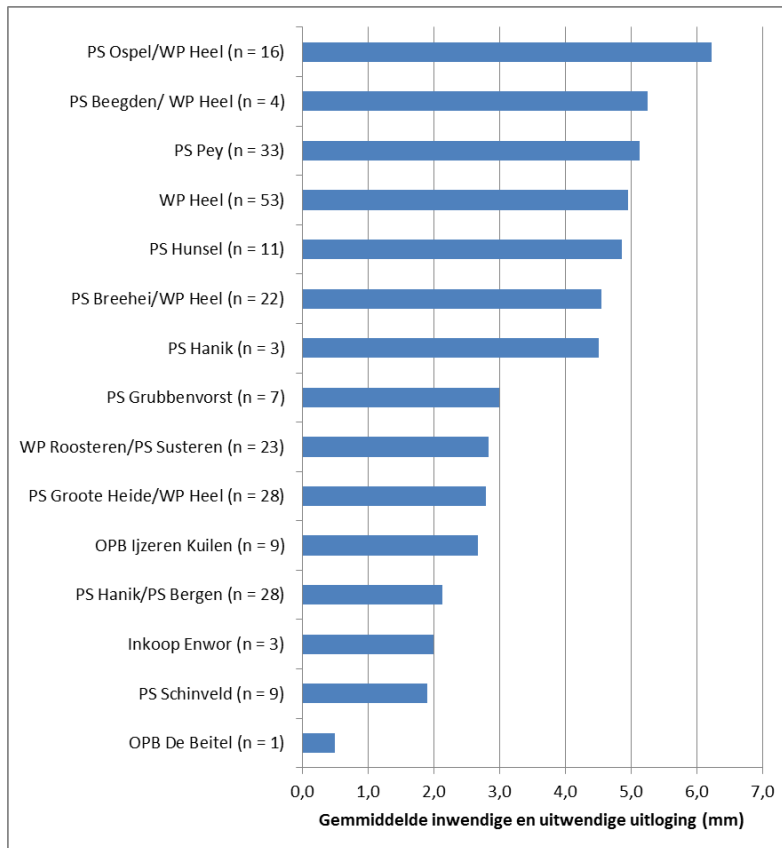


FIGUUR 2-9 INWENDIGE UITLOGGING EN UITWENDIGE UITLOGGING VAN ALLE BEOORDELINGEN



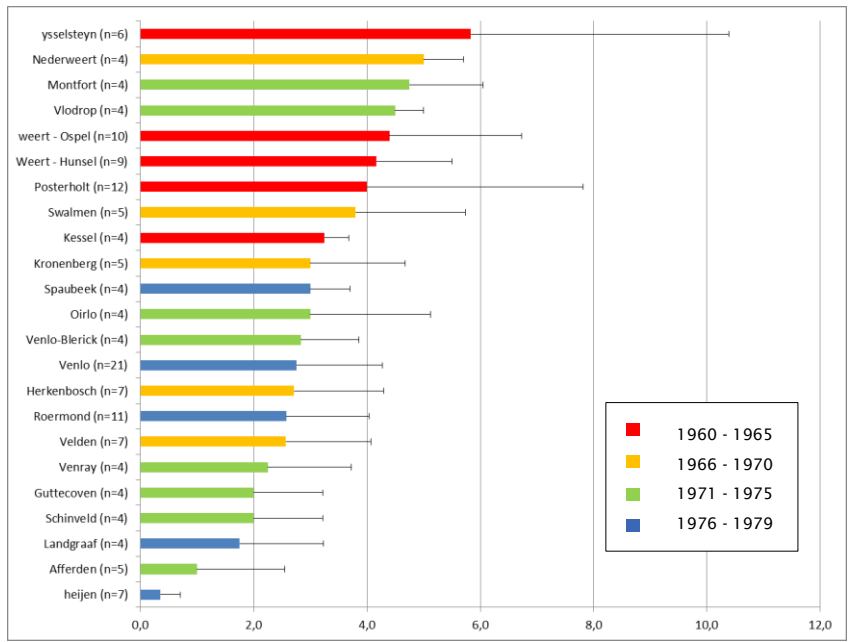
FIGUUR 2-10 GEMIDDELTE INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING PER VOORZIENINGSGBIED.

De som van de gemiddelde inwendige en gemiddelde uitwendige uitloging per voorzieningsgebied is weergegeven in Figuur 2-11. Hierin onderscheiden zich zeven voorzieningsgebieden met een bovengemiddelde uitloging, namelijk PS Ospel, PS Beegden, PS Pey, WP Heel, PS Hunsel, PS Breehei en PS Hanik.

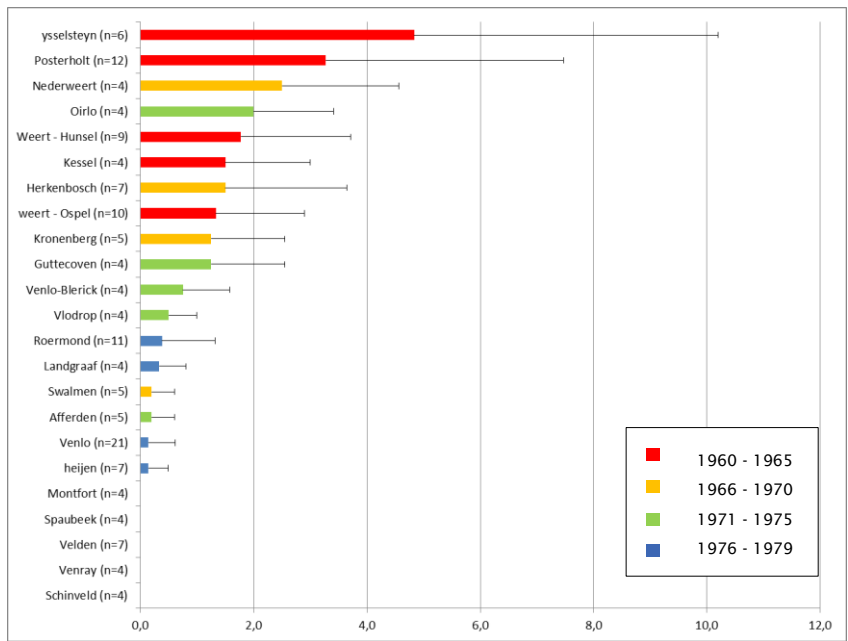


FIGUUR 2-11 DE SOM VAN DE GEMIDDELTE INWENDIGE UITLOGING EN GEMIDDELTE UITWENDIGE UITLOGING PER VOORZIENINGSGEBIED.

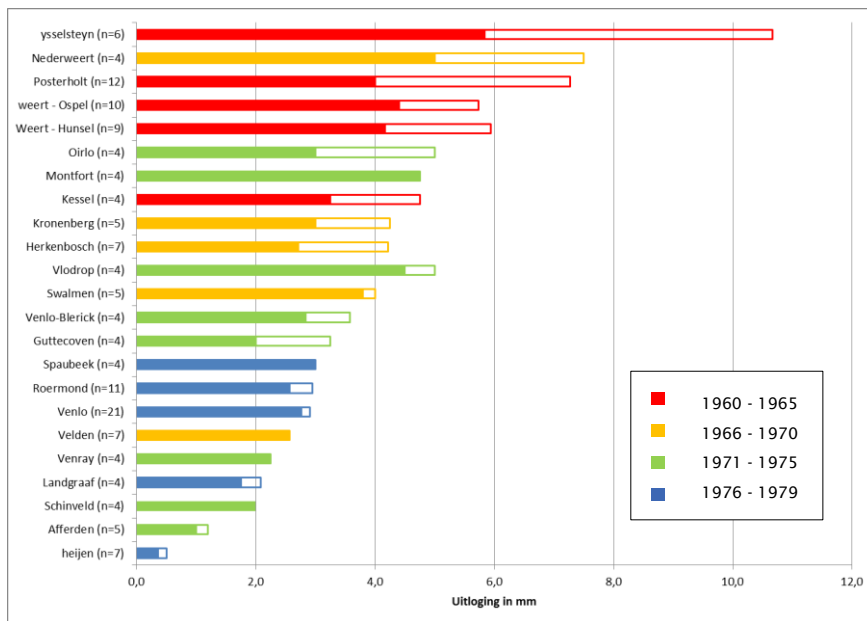
Voor de plaatsen (gemeenten) waar meer dan vier beoordelingen zijn uitgevoerd, zijn in Figuur 2-12 en Figuur 2-13 de resultaten weergegeven van de gemiddelde inwendige en uitwendige uitloging. Tevens zijn de standaarddeviaties aangegeven. De inwendige uitloging is het hoogst in plaatsen in het westelijke veengebied (Ysselsteyn, Nederweert en Weert) en ten zuiden van Roermond (Montfort en Vlodrop). De uitwendige uitloging is ook het hoogst bij plaatsen in het Westelijke veengebied (Ysselsteyn, Nederweert en Weert) en ten zuiden van Roermond (Posterholt), alsmede in Oirlo. Het blijkt echter dat de plaatsen waar meer uitloging optreedt de leidingen eerder zijn aangelegd. Dit beeld komt duidelijker naar voren bij de uitwendige uitloging. In Figuur 2-14 zijn de waarden voor de gemiddelde inwendige en gemiddelde uitwendige uitloging gecombineerd.



FIGUUR 2-12 RESULTATEN VAN INWENDIGE UITLOGING IN PLAATSEN WAAR MINIMAAL VIER BEOORDELINGEN HEBBEN PLAATSGEVONDEN. DE FOUTENBALK GEEFT DE STANDAARDDEVIATIE WEER. DE KLEUR VAN DE BALKEN GEEFT HET GEMIDDELDE JAAR VAN AANLEG WEER VAN DE LEIDINGEN WAAR EXITBEOORDELINGEN ZIJN UITGEVOERD.



FIGUUR 2-13 RESULTATEN VAN UITWENDIGE UITLOGING IN PLAATSEN WAAR MINIMAAL VIER BEOORDELINGEN HEBBEN PLAATSGEVONDEN. DE FOUTENBALK GEEFT DE STANDAARDDEVIATIE WEER. DE KLEUR VAN DE BALKEN GEEFT HET GEMIDDELDE JAAR VAN AANLEG WEER VAN DE LEIDINGEN WAAR EXITBEOORDELINGEN ZIJN UITGEVOERD.



FIGUUR 2-14 RESULTATEN VAN INTWENDIGE UITLOGING (DICHTE BALKEN) EN UITWENDIGE UITLOGING (OPENBALKEN) IN PLAATSEN WAAR MINIMAAL VIER BEOORDELINGEN HEBBEN PLAATSGEVONDEN (COMBINATIE VAN FIGUUR 2-12 EN FIGUUR 2-13). DE KLEUR VAN DE BALKEN GEEFT HET GEMIDDELTE JAAR VAN AANLEG WEER VAN DE LEIDINGEN WAAR EXITBEOORDELINGEN ZIJN UITGEVOERD.

2.4 Onderscheidende factoren voor uitloging

2.4.1 Aanpak

Om na te gaan of er verklarende factoren zijn die verschillen in de mate van uitloging kunnen verklaren, is de populatie van 250 beoordelingen nader onderzocht. In deze paragraaf is correlatie onderzocht tussen de inwendige en uitwendige uitloging en de factoren die zijn vermeld op het registratieformulier. Hierbij wordt gebruik gemaakt van cumulatieve frequentieverdelingen. In Figuur 2-15 zijn cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven van de inwendige en uitwendige uitloging van de deelpopulaties 'Vervanging' en 'Leidingbreuk'. Een cumulatieve frequentieverdeling geeft aan welk percentage van een groep een waarde heeft gelijk of kleiner dan de waarde op de x-as. Zo geldt voor Figuur 2-15 (links) dat van de beoordelingen op leidingdelen uit de deelpopulaties 'Vervanging' 49% een inwendige uitloging heeft van 2 mm of minder en dat 86% een uitwendige uitloging heeft van 2 mm of minder.

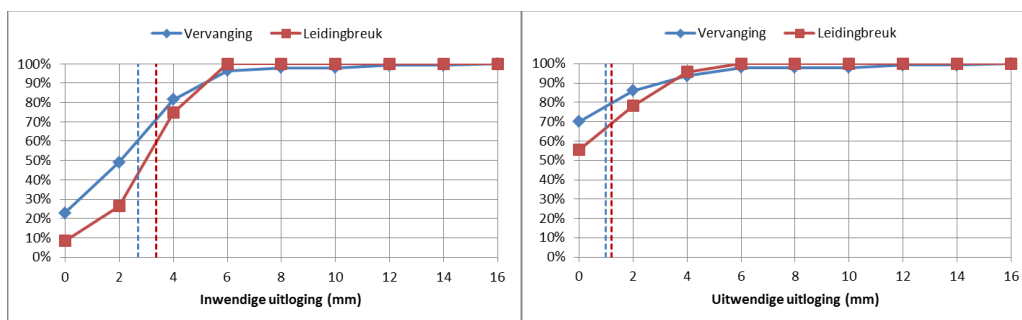
Uitgangspunt bij deze analyse is dat twee deelpopulaties worden geacht onderscheidend te zijn als de cumulatieve frequentieverdeling van één van de deelpopulaties in zijn geheel een hogere uitloging heeft dan de andere deelpopulatie. Anders gezegd er wordt geen onderscheid toegekend als beide verdelingen dezelfde waarden hebben of als deze elkaar kruisen. De deelpopulaties worden ook onderscheidend geacht in het geval zij voor de meeste waarden duidelijk onderscheidend zijn maar dit niet zijn voor enkele extreme waarden, zie bijvoorbeeld Figuur 2-15 (links). Hier is voor 90% van de meetwaarden een verschil en overlapt 10%.

2.4.2 Aanleiding voor inspectie

Er is bij de beoordelingen een onderverdeling gemaakt tussen beoordelingen van buisdelen die zijn uitgenomen voor vervangingswerken en beoordelingen op buisdelen waar een

spontane leidingbreuk heeft plaatsgevonden. Van 240 beoordelingen is de aanleiding voor inspectie en de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie 'Vervanging' heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,7 mm (n=145), terwijl die van de deelpopulatie 'Leidingbreuken' 3,4 mm (n=95) bedraagt. Van 235 beoordelingen is de aanleiding voor inspectie en de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie 'Vervanging' heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 1,0 mm (n=143), terwijl die van de deelpopulatie 'Leidingbreuken' 1,2 mm (n=92) bedraagt.

Uit Figuur 2-15 blijkt dat leidingdelen uit de deelpopulatie 'Vervanging' minder uitwendige en inwendige uitloging hebben dan leidingdelen uit de deelpopulatie 'Leidingbreuk'. Deze verschillen zijn groter bij inwendige uitloging dan bij uitwendige uitloging.



FIGUUR 2-15 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITINWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN UIT DE DEELPOPULATIES 'VERVANGING' (INW. N=145, UITW. N=143) EN 'LEIDINGBREUK' (INW. N=95, UITW. N=92). DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De aanleiding voor inspectie lijkt onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitloging.

- *Als een leidingbreuk de aanleiding voor inspectie is, is de inwendige en uitwendige uitloging hoger dan als aanleiding een vervanging is.*
- *De beoordelingen die zijn uitgevoerd op vervangen leidingen betreffen buisdelen die vervangen worden voor diverse vervangingswerken en reconstructies. Hiervan hoeft de conditie van het buisdeel niet slecht te zijn, aangezien de leiding op initiatief van derden kan worden vervangen. Voor buisdelen waar een leidingbreuk plaatsvindt lijkt het logisch dat de toestand slechter is dan van buisdelen waar geen leidingbreuk plaatsvindt. Daarbij blijkt dat van de beoordelingen bij leidingbreuken er slechts in één geval sprake is van een storing door derden.*

2.4.3 Jaar van aanleg

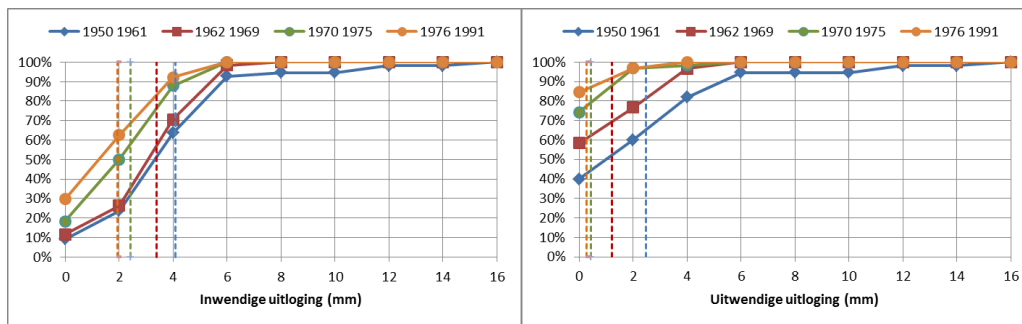
De buisdelen zijn onderverdeeld in vier perioden van ongeveer gelijke omvang, te weten: '1950 - 1961', '1962 - 1969', '1970 - 1975' en '1976 - 1991'. Van 246 beoordelingen is het jaar van aanleg en de inwendige uitloging bekend. Van 242 beoordelingen is het jaar van aanleg en de uitwendige uitloging bekend. In Figuur 2-16 zijn de gemiddelden en de cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven van de inwendige en uitwendige uitloging van de vier groepen. Uit Figuur 2-16 blijkt dat:

- Hoe ouder de buisdelen, hoe meer inwendige en uitwendige uitloging er is gemeten.
- Voor inwendige uitloging geldt dat deze voor de perioden '1950 - 1961' en '1962 - 1969' voor de meeste buisdelen van vergelijkbare grootte is. Het onderlinge verschil

¹ Met deze omschrijving wordt bedoeld dat van de deelpopulatie 'Vervanging' het aantal metingen van de inwendige uitloging 145 bedroeg en van de uitwendige uitloging 143.

wordt veroorzaakt door drie buisdelen uit perioden '1950 - 1961' die volledig zijn uitgelogd. Buisdelen uit de perioden '1970 - 1975' en '1976 - 1991' hebben relatief weinig inwendige uitloging.

- Voor uitwendige uitloging geldt dat deze voor de periode '1950 - 1961' het grootste is, gevolgd door '1962 - 1969'. De uitwendige uitloging in de perioden '1970 - 1975' en '1976 - 1991' is relatief beperkt.
- Voor de vier perioden geldt dat in alle gevallen de inwendige uitloging groter is dan de uitwendige uitloging.

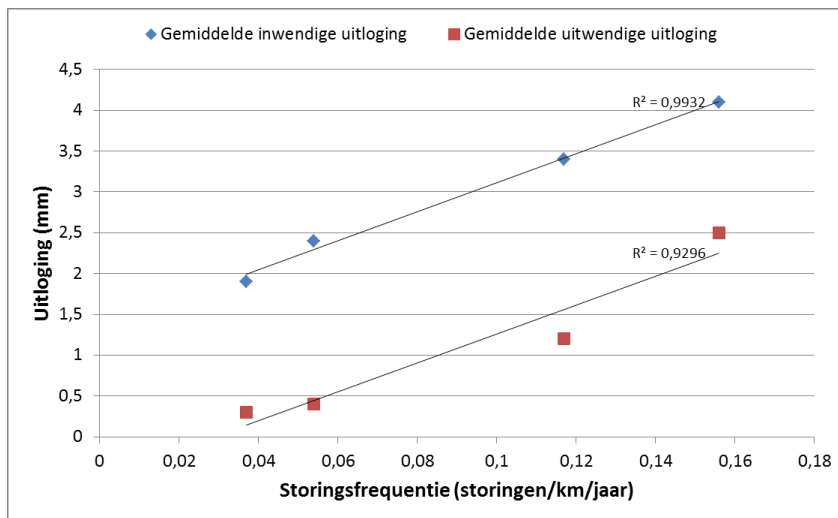


FIGUUR 2-16 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN UIT DE PERIODEN TOT EN MET 1961 (INW. N=55, UITW. N=55), TUSSEN 1962 EN 1969 (INW. N=60, UITW. N=61), TUSSEN 1970 EN 1975 (INW. N=62, UITW. N=66) EN NA 1975 (INW. N=65, UITW. N=64). DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

Op basis van deze beoordelingen kan geconcludeerd worden dat oudere buisdelen meer inwendige en uitwendige uitloging hebben. Dit komt overeen met het beeld op basis van USTORE, waaruit blijkt dat oudere buisdelen een hogere storingsfrequentie hebben, zie Tabel 2-3. In Figuur 2-17 zijn voor de vier perioden van aanleg de storingsfrequentie en de uitloging tegen elkaar uitgezet. Hoewel het hier maar om vier punten gaat, lijkt er een relatie te zijn tussen de storingsfrequentie en de inwendige en uitwendige uitloging. Gezien het beperkt aantal punten is het aan te bevelen hier alleen een lineair verband te veronderstellen.

TABEL 2-3 VERGELIJKING PER PERIODE VAN DE GEMIDDELDE INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING EN DE STORINGSFREQUENTIE BIJ WML.

Periode	Gemiddelde inwendige uitloging (mm)	Gemiddelde uitwendige uitloging (mm)	Storingsfrequentie (st/km/jr)
1950 - 1961	4,1	2,5	0,156
1962 - 1969	3,4	1,2	0,117
1970 - 1975	2,4	0,4	0,054
1976 - 1991	1,9	0,3	0,037



FIGUUR 2-17 RELATIE TUSSEN DE STORINGSFREQUENTIE EN DE INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING.

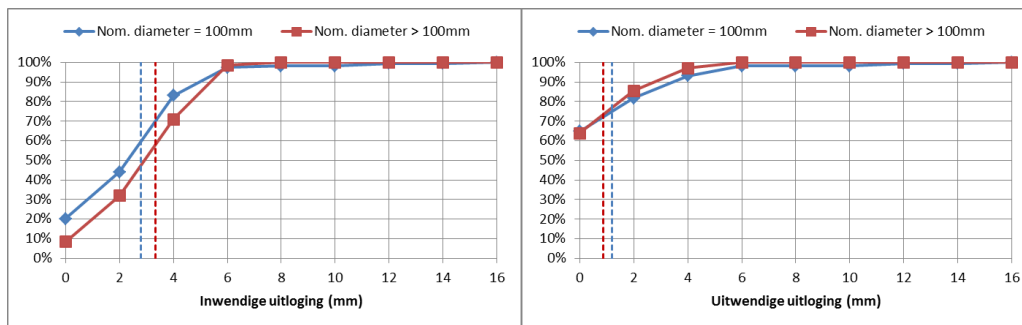
De periode van aanleg lijkt onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitlogging.

- *Leidingen die eerder zijn aangelegd hebben een grotere inwendige en uitwendige uitlogging.*
- *Verklaringen waarom oudere leidingen meer uitlogging hebben, kunnen zijn dat deze leidingen langer aan uitlogging onderhevig zijn (ouder zijn) en dat in het begin van de jaren zestig de fabricageprocessen van AC-buizen zijn verbeterd.*

2.4.4 Nominale diameter

Er is een onderverdeling gemaakt naar beoordelingen op leidingdelen met een nominale diameter van 100 mm en leidingdelen met een nominale diameter groter dan 100 mm. Van 231 beoordelingen is de diameter en de inwendige uitlogging bekend. De deelpopulatie met een diameter van 100 mm heeft een gemiddelde inwendige uitlogging van 2,8 mm (n=159) en die met een nominale diameter groter dan 100 mm 3,3 mm (n=72), zie ook Figuur 2-16. Van 228 beoordelingen is de diameter en de uitwendige uitlogging bekend. De deelpopulatie met een diameter van 100 mm heeft een gemiddelde uitwendige uitlogging van 1,2 mm (n=159) en die met een nominale diameter groter dan 100 mm van 0,9 mm (n=69).

De cumulatieve frequentieverdelingen in Figuur 2-16 laten zien dat er onderscheid is tussen de twee deelpopulaties voor wat betreft de inwendige uitlogging, maar nauwelijks voor wat betreft uitwendige uitlogging. De inwendige uitlogging is bij diameters groter dan 100 mm groter dan bij diameters van 100 mm. Het verschil over de gehele verdeling bedraagt ongeveer 0,5 mm. Buizen met grotere diameter hebben door de grotere wanddikte uiteindelijk een grotere effectieve wanddikte dan die met een diameter van 100 mm.



FIGUUR 2-18 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN MET EEN NOMINALE DIAMETER VAN 100 MM (INW. N=159, UITW. N=159) EN GROTER DAN 100 MM (INW. N=72, UITW. N=69). DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De nominale diameter lijkt onderscheidend voor de inwendige uitloging

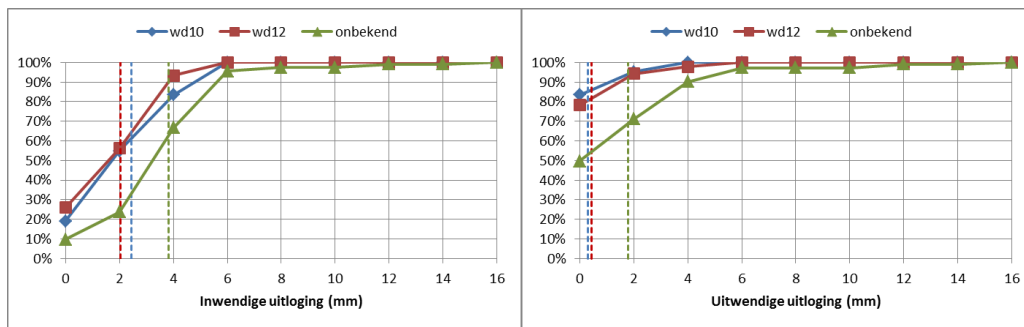
- *Leidingen met een diameter groter dan 100 mm hebben een grotere inwendige uitloging dan leidingen met een diameter van 100 mm.*
- *Er zijn twee mogelijke oorzaken voor het feit dat leidingen met een grotere diameter meer inwendige uitloging hebben:*
 - *Drinkwater dichterbij een pompstation kan relatief meer kalkagressief zijn, aangezien uitloging van calciumhydroxide leidt tot minder agressief water. In de regel bevinden grotere diameters zich dichterbij het pompstation en kleinere diameters zich meer in de periferie*
 - *De verhouding volume/ wandoppervlak is evenredig met de diameter. Dit wil zeggen dat in geval van kalkagressief water er bij een grotere diameter er een groter watervolume beschikbaar is om calciumhydroxide uit het oppervlakte te onttrekken.*

2.4.5 Drukklasse

De drukklasse van de AC leidingen is niet vermeld op het registratieformulier voor de beoordelingen. Er is achteraf een handmatige toekenning van drukklassen uitgevoerd aan de exitbeoordelingen op basis van LIS-gegevens. Er is een onderverdeling gemaakt naar beoordelingen op leidingdelen met een drukklasse 'wd10', 'wd12' en 'onbekend'.

Van 245 beoordelingen is de drukklasse en de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie drukklasse 'wd 10' heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,4 mm (n=42), de drukklasse 'wd12' van 2,0 mm (n=89) en drukklasse 'onbekend' van 3,8 mm (n=114), zie ook Figuur 2-19. Uit de cumulatieve frequentieverdelingen blijkt dat er voor inwendige uitloging geen duidelijk onderscheid is tussen de deelpopulaties 'wd10' en 'wd12'. De deelpopulatie 'onbekend' heeft een aanzienlijk grotere inwendige uitloging dan de deelpopulaties 'wd10' en 'wd12'.

Van 240 beoordelingen is de drukklasse en de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie drukklasse 'wd10' heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,3 mm (n=42), de drukklasse 'wd12' van 0,4 mm (n=87) en drukklasse 'onbekend' van 1,8 mm (n=111). Uit de cumulatieve frequentieverdelingen blijkt dat, net als bij inwendige uitloging, dat er geen duidelijk onderscheid is tussen de deelpopulaties 'wd10' en 'wd12' en dat de deelpopulatie 'onbekend' een aanzienlijk grotere uitwendige uitloging heeft dan de deelpopulaties 'wd10' en 'wd12'.



FIGUUR 2-19 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN MET EEN DRUKKLASSE 'WD10' (INW. N=42, UITW. N=42), 'WD12' (INW. N=89, UITW. N=87) EN 'ONBEKEND' (INW. N=114, UITW. N=111). DE STIPPELLIJK GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De drukklasse is voor een deel onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitloging

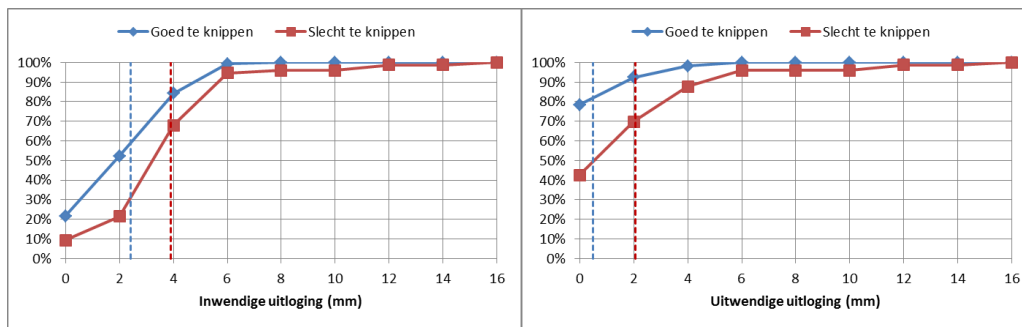
- Leidingen met een drukklasse 'onbekend' hebben een grotere inwendige en uitwendige uitloging dan leidingen met een drukklasse 'wd10' en 'wd12'.
- De relatie tussen drukklasse en uitloging kan veroorzaakt worden door de leeftijd van de buisdelen. Het gemiddelde jaar van aanleg van de beoordeelde buisdelen voor de drukklassen 'wd10', 'wd12' en 'onbekend' is respectievelijk 1973, 1977 en 1962. Dit betekent dat de drukklasse 'onbekend' voornamelijk oudere buisdelen betreft en daarom waarschijnlijk geen onafhankelijke verklarende factor is voor de mate van uitloging.

2.4.6 Knipbaarheid buis

Bij de registraties is vermeld of de buis goed te knippen was. Algemeen wordt aangenomen dat het leidingmateriaal van een buis van een lagere kwaliteit is als die slecht is te knippen. Het onderscheid tussen goed en slecht te knippen is vastgesteld door de monteur en wordt op het registratieformulier aangegeven.

Van 232 beoordelingen is vastgelegd of deze goed of slecht was te knippen en is de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze goed was te knippen heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,4 mm (n=157), en die waarvan is aangegeven dat deze slecht was te knippen heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 3,9 mm (n=75), zie ook Figuur 2-20. De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de inwendige uitloging een duidelijk onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.

Van 230 beoordelingen is vastgelegd of deze goed of slecht was te knippen en is de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze goed was te knippen heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,5 mm (n=157), en die waarvan is aangegeven dat deze slecht was te knippen heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 2,1 mm (n=73). Ook de cumulatieve frequentieverdeling laten voor de uitwendige uitloging een duidelijk onderscheid zien tussen beide deelpopulaties. Het relatieve verschil is bij de uitwendige uitloging hoger dan bij de inwendige uitloging.



FIGUUR 2-20 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN DIE GOED (INW. N=157, UITW. N=157) EN DIE SLECHT (INW. N=75, UITW. N=73) TE KNIPPEN ZIJN. DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De mate van knipbaarheid lijkt onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitloging

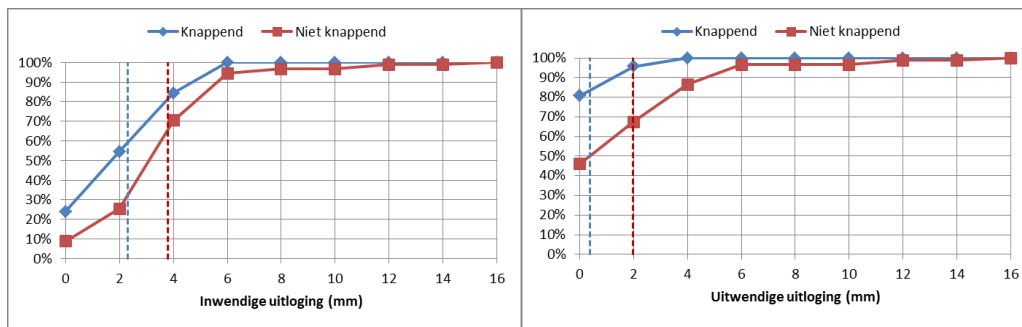
- *Leidingen waarvan de monteur aangeeft dat die slecht te knippen zijn, hebben een grotere inwendige en uitwendige uitloging dan leidingen die goed te knippen zijn.*
- *Voor buizen die niet goed te knippen zijn, geldt dat de materiaaleigenschappen slecht zijn. Dit kan zijn doordat er veel uitwendige uitloging is opgetreden waardoor de knipketting makkelijk in de buiswand dringt of dat het niet uitgeloogde deel te weinig reststerkte bezit om een brossse breuk te realiseren. Leidingen die goed zijn te knippen, blijken ook vaker jonger te zijn.*

2.4.7 Knappend geluid bij knippen

Bij de registraties is een onderverdeling gemaakt tussen buizen waar een knappend geluid was te horen en waar dit niet het geval was. Een knappend geluid duidt op een brossse breuk en daardoor een betere materiaalkwaliteit. Het onderscheid tussen wel of niet een knappend geluid is vastgesteld door de monteur en wordt op het registratieformulier aangegeven.

Van 225 beoordelingen is vastgelegd of deze een knappend geluid gaven en is de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze een knappend geluid gaf, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,3 mm (n=134), en die waarvan is aangegeven dat deze geen knappend geluid gaf, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 3,8 mm (n=91), zie ook Figuur 2-21. De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de inwendige uitloging een duidelijk onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.

Van 224 beoordelingen is vastgelegd of deze een knappend geluid gaven en is de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze een knappend geluid gaf, heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,4 mm (n=135), en die waarvan is aangegeven dat deze geen knappend geluid gaf, heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 2,0 mm (n=89). De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de uitwendige uitloging een duidelijk onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.



FIGUUR 2-21 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE UITWENDIGE INLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN DIE EEN KNAPPEND (INW. N=134, UITW. N=135) EN NIET-KNAPPEND (INW. N=91, UITW. N=89) GELUID GAVEN BIJ KNIPPEN. DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

Er is een duidelijk verband tussen de mate van knipbaarheid en de registratie van een knappend geluid. Van 93% van de buizen die een knappend geluid gaven, is ook aangegeven dat deze goed te knippen waren. Van 72% van de buizen die geen knappend geluid gaven, is aangegeven dat deze slecht te knippen waren. Een dergelijk verband is in mindere mate zichtbaar tussen de aanwezigheid van een knappend geluid en leeftijd. Van 65% van de buizen die een knappend geluid gaven, is het jaar van aanleg na 1970. Van 66% van de buizen die geen knappend geluid gaven, is het jaar van aanleg 1970 of eerder. Een dergelijk verband blijkt er niet te zijn tussen de aanwezigheid van een knappend geluid en de diameter.

Het optreden van een knappend geluid lijkt onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitloging

- *Leidingen waarvan de monteur aangeeft dat bij knippen een knappend geluid optreedt, hebben een kleinere inwendige en uitwendige uitloging dan leidingen waar dit niet optreedt.*
- *Er zijn aanwijzingen dat buisdelen die een knappend geluid geven bij het knippen, jonger zijn. Ook is er een relatie tussen de mate van knipbaarheid en de het optreden van een knappend geluid.*

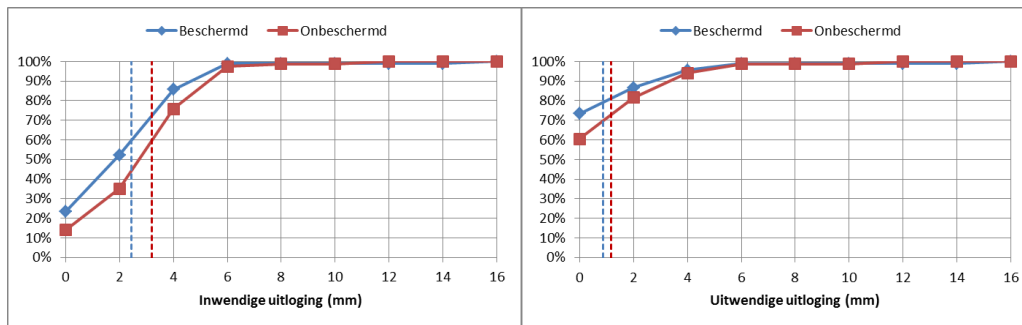
2.4.8 Aanwezigheid van uitwendige bescherming

Er is een onderverdeling gemaakt in beoordelingen op buisdelen met of zonder uitwendige bescherming (coating) aan de buitenzijde.

Van 247 beoordelingen is vastgelegd of deze een uitwendige bescherming hadden en is de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze een uitwendige bescherming hadden, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,4 mm (n=90), en die waarvan is aangegeven dat deze geen uitwendige bescherming had, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 3,2 mm (n=155), zie ook Figuur 2-22. De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de inwendige uitloging een onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.

Van 242 beoordelingen is vastgelegd of deze een uitwendige bescherming hadden en is de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat deze een uitwendige bescherming hadden, heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,9 mm (n=90), en die waarvan is aangegeven dat deze geen uitwendige bescherming had, heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 1,2 mm (n=152). De cumulatieve frequentieverdelingen

laten voor de uitwendige uitloging een zeer beperkt onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.



FIGUUR 2-22 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN MET UITWENDIGE BESCHERMING (INW. N=143, UITW. N=90) EN ZONDER UITWENDIGE BESCHERMING (INW. N=157, UITW. N=152). DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De aanwezigheid van bescherming lijkt op basis van de beoordelingen een groter effect te hebben, in absolute zin, op de inwendige uitloging dan op de uitwendige uitloging. Dit lijkt tegenstrijdig, aangezien de bescherming alleen effect heeft op de uitwendige uitloging. In relatieve zin is de uitloging van buisdelen met een bescherming in beide gevallen 75% van de uitloging van buisdelen zonder bescherming. Voor 38% van de buisdelen met bescherming geldt dat deze zijn aangelegd voor 1970, terwijl dit voor buisdelen zonder coating 52% is. Buisdelen zonder bescherming zijn daarom in het algemeen ouder dan buisdelen met een bescherming.

De aanwezigheid van een externe bescherming lijkt onderscheidend voor de inwendige en uitwendige uitloging

- *Leidingen waar een externe bescherming op is aangebracht, hebben een kleinere inwendige en uitwendige uitloging dan leidingen waar dit niet het geval is.*
- *De bescherming beschermt de buis tegen uitwendige uitloging. De inwendige uitloging bij beschermde buisdelen is echter ook kleiner. Dit houdt waarschijnlijk verband met het feit dat beschermde buisdelen een meer recent aanlegjaar hebben.*

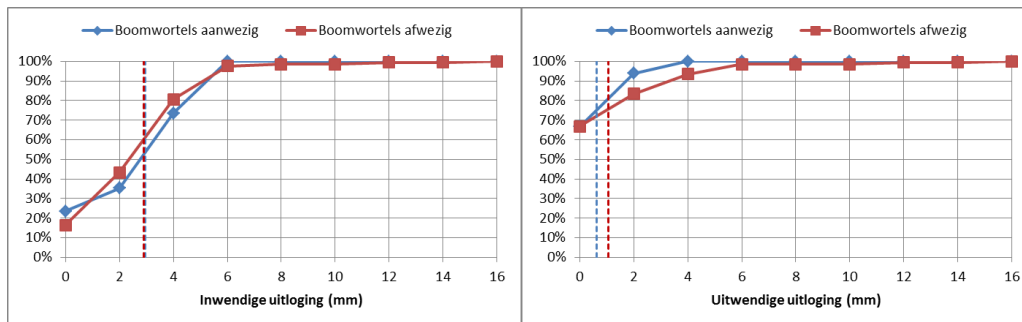
2.4.9 Aanwezigheid van boomwortels

Er is een onderverdeling gemaakt in beoordelingen op buisdelen waar wel of geen boomwortels in de bodem rondom de buis zijn aangetroffen.

Van 235 beoordelingen is vastgelegd of er boomwortels zijn aangetroffen en is de inwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat er boomwortels aanwezig zijn, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 3,0 mm (n=34), en die waarvan is aangegeven dat er geen boomwortels zijn aangetroffen, heeft een gemiddelde inwendige uitloging van 2,9 mm (n=201), zie ook Figuur 2-23. De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de inwendige uitloging geen onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.

Van 232 beoordelingen is vastgelegd of er boomwortels zijn aangetroffen en is de uitwendige uitloging bekend. De deelpopulatie waarvan is aangegeven dat er boomwortels aanwezig zijn, heeft een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,6 mm (n=33), en die waarvan is aangegeven dat er geen boomwortels zijn aangetroffen, heeft een gemiddelde

uitwendige uitloging van 1,1 mm (n=199). De cumulatieve frequentieverdelingen laten voor de uitwendige uitloging een onderscheid zien tussen beide deelpopulaties.



FIGUUR 2-23 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE INWENDIGE UITLOGING (LINKS) EN DE UITWENDIGE UITLOGING (RECHTS) VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN WAAR IS AANGEGEVEN DAT BOOMWORTELS AANWEZIG (INW. N=34, UITW. N=33) OF AFWEZIG (INW. N=201, UITW. N=199) ZIJN. DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

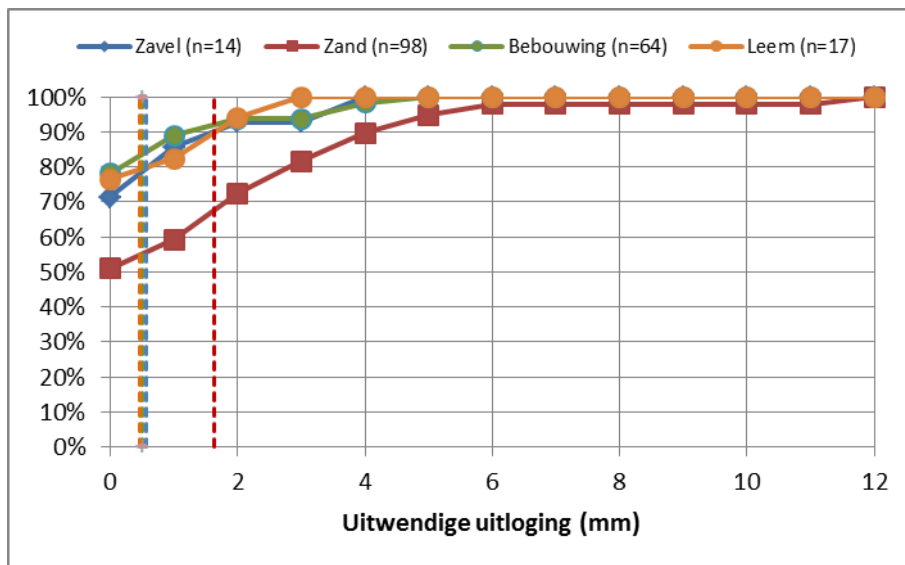
De aanwezigheid van boomwortels rondom het buisdeel lijkt beperkt onderscheidend voor de uitwendige uitloging

- *Leidingen waar boomwortels zijn aangetroffen, hebben een wat grotere uitwendige uitloging dan leidingen waar dit niet het geval is. De groep waar boomwortels zijn aangetroffen is echter veel kleiner dan de groep waar deze niet zijn aangetroffen. Hierdoor is de betrouwbaarheid van deze uitspraak minder groot.*
- *De aanwezigheid van boomwortels rondom de buis duidt er op dat bomen uit de omgeving water of voedingsstoffen halen uit de bodem rondom de buis. Dit kan er op duiden dat de sleufaanvulling minder goed is uitgevoerd en dat er geen of een beperkt zandpakket om de buis is aangelegd. Er is overigens geen verband gevonden tussen de aanwezigheid van boomwortels en de leeftijd van een leiding.*

2.4.10 Bodemsoort

In het Speerpuntonderzoek van 2015 is van 25 beoordelingen bodemonderzoek uitgevoerd, zie Beuken (2015). Hieruit bleek dat in een bodem van klei er geen uitwendige uitloging werd aangetroffen (n=3) en dat de uitwendige uitloging in leem groter is dan in zand. De omvang van dit onderzoek is beperkt en er kunnen derhalve geen eenduidige conclusies uit worden getrokken. Voor andere bodemparameters, te weten kalkgehalte, pH, elektroconductiviteit, chloride en sulfaat, werd geen relatie gevonden met de mate van uitwendige uitloging.

In februari is een voorlopige dataset aangeleverd, bestaande uit 193 beoordelingen. Deze beoordelingen zijn vergeleken met de bodemsoort zoals aangegeven op de Bodemkaart (Alterra). Hierbij zijn de bodemsoorten 'Zavel' (n=14), 'Zand' (n=98), 'Bebouwing' (n=64) en 'Leem' (n=17) aangetroffen. De gemiddelde uitwendige uitloging voor deze bodemsoorten zijn respectievelijk 0,6, 1,6, 0,5 en 0,5 mm. Deze gemiddelden en de cumulatieve frequentieverdeling is weergegeven in Figuur 2-24. Buisdelen uit gebieden die op de Bodemkaart zijn aangeduid met 'Zand' hebben een hogere uitwendige uitloging dan buisdelen uit gebieden met 'Zavel', 'Bebouwing' of 'Leem'. Dit resultaat is opmerkelijk omdat uit de eerdere analyse van de 25 beoordelingen waarop bodemonderzoek is uitgevoerd, bleek dat de uitwendige uitloging in leem groter is dan in zand (Beuken, 2015).



FIGUUR 2-24 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE UITWENDIGE UITLOGING VAN INSPECTIERESULTATEN OP BUISDELEN UITGESPLITST NAAR BODEMSOORT OP BASIS VAN DE BODEMKAART. DE OMVANG VAN DE GROEPEN IS WEERGEGEVEN TUSSEN HAAKJES. DE STIPPELLIJN GEEFT HET GEMIDDELDE VAN DE DEELPOPULATIES WEER.

De aanwezigheid van zand in de bodem lijkt onderscheidend voor de uitwendige uitloging

- *Leidingen waar zand is aangetroffen, hebben een grotere uitwendige uitloging dan leidingen waar dit niet het geval is.*
- *De aanwezigheid van zand in de Limburgse bodem duidt er vaak op dat er weinig kalk aanwezig is. De van oorsprong aanwezige kalk in deze bodems is uitgespoeld. Hierdoor is er geen bescherming tegen uitwendige uitloging. De plaatsen (zie Figuur 2-9) en de voorzieningsgebieden (zie Figuur 2-10) met de hoogste uitwendige uitloging hebben een bodem van overwegend zand. In de periode dat AC leidingen zijn aangelegd is weinig grondverbetering toegepast.*

2.5 Resumé verklarende factoren voor uitloging

In Tabel 2-4 is een overzicht gegeven van de statistisch verklarende factoren voor een hogere inwendige of uitwendige uitloging op basis van de in dit onderzoek uitgevoerde beoordelingen. De tabel laat zich als volgt lezen: De parameter 'Aanleiding inspectie' is een verklarende factor voor inwendige uitloging, aangezien beoordelingen die zijn uitgevoerd op leidingbreuken een gemiddelde inwendige uitloging hebben die een factor 1,2 hoger is dan de gemiddelde uitloging van alle beoordelingen. De factoren die de het meest verklarend zijn voor een verhoogde inwendige uitloging zijn in afnemende volgorde: aanleg tussen 1950 en 1961, goed te knippen, drukklasse 'Onbekend' en optreden van knappend geluid. De factoren die het meest verklarend zijn voor een verhoogde uitwendige uitloging zijn in afnemende volgorde: aanleg tussen 1950 en 1961, goed te knippen, optreden van knappend geluid en drukklasse 'Onbekend'.

In Tabel 2-4 zijn statistische relaties aangegeven tussen de verklarende factoren en de mate van inwendige en uitwendige uitlogging. Deze verklarende factoren zijn niet in alle gevallen onafhankelijk. Zo blijkt dat leidingen aangelegd voor 1962 zijn oververtegenwoordigd in deelpopulaties:

- uit voorzieningsgebieden met de hoogste uitlogging;
- met buisdelen met een drukklasse 'Onbekend';
- met buisdelen die slecht zijn te knippen;
- met buisdelen die geen knappend geluid geven;
- met buisdelen die geen bescherming hebben.

TABEL 2-4 VERKLARENDE FACTOREN VOOR INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGGING. DE VERMENIGVULDIGINGSFACTOR (VF) GEEFT WEER WAT DE VERHOUDING IS VAN DE SPECIFIEK GROEP TEN OPZICHTE VAN DE GEMIDDELDE UITLOGGING VAN ALLE BEOORDELINGEN. INDIEN DIT NIET IS TE BEPALEN IS AANGEGEVEN 'NTB'.

Parameter	Specifieke groep	Type uitlogging	VF
Voorzieningsgebied	PS Ospel, PS Pey, WP Heel, PS Hunsel, PS Hanik	Inwendig	ntb
	PS Beegden, PS Breehei, PS Ospel, WP Heel en PS Hunsel	Uitwendig	ntb
Plaats	Ysselsteyn, Nederweert, Weert, Montfort en Vlodrop	Inwendig	ntb
	Ysselsteyn, Nederweert, Weert, Posterholt en Oirlo	Uitwendig	ntb
Aanleiding inspectie	'Leidingbreuk' ten opzichte van 'Vervanging'	Inwendig	1,15
		Uitwendig	1,14
Jaar van aanleg	Aanleg tussen 1950 en 1961 ten opzichte van aanleg tussen 1962 en 1991	Inwendig	1,40
		Uitwendig	2,36
Nominale diameter	groter dan 100 mm ten opzichte van gelijk aan 100 mm	Inwendig	1,14
Drukklasse	'Onbekend' ten opzichte van 'wd10' en 'wd12'	Inwendig	1,31
		Uitwendig	1,70
Knipbaarheid	'Slecht te knippen' ten opzichte van 'Goed te knippen'	Inwendig	1,34
		Uitwendig	1,96
Knappend geluid	'Niet knappend' ten opzichte van 'Knappend' geluid	Inwendig	1,30
		Uitwendig	1,90
Aanwezigheid vanbescherming	'Niet beschermd' met externe coating ten opzichte van 'Beschermd'	Inwendig	1,10
		Uitwendig	1,10
Aanwezigheid boomwortels	'Boomwortels afwezig' ten opzichte van 'Boomwortels aanwezig'	Uitwendig	0,61
Bodemsoort	Zand ten opzichte van andere grondsoorten	Uitwendig	1,51

3 Vergelijking resultaten met exitbeoordelingen uit 2000

3.1 Inleiding

In het jaar 2000 zijn bij WML 29 fenolftaleïnetesten uitgevoerd en zijn de resultaten vergeleken met de waterkwaliteit van het toenmalige voorzieningsgebied en de bodemomstandigheden (Ijpelaar et al., 2000). De testen zijn uitgevoerd in:

- Maasbracht, voorzieningsgebied Pompstation Pey, 14 beoordelingen;
- Landgraaf, Brunssum en Onderbanken, toenmalig voorzieningsgebied Pompstation Schinveld, 10 beoordelingen;
- Stein toenmalig voorzieningsgebied Pompstation Waterval, 5 beoordelingen.

Nagegaan is of de in 2000 gemeten inwendige en uitwendige uitloging vergelijkbaar is met die uit de periode 2014 tot en met 2016. Hierbij dient rekening gehouden te worden met tussentijdse wijzigingen van de voorzieningsgebieden. Beuken (2015) concludeert dat metingen van de uitloging in AC buisdelen uitgevoerd met fenolftaleïne en met thymolftaleïne vergelijkbare resultaten opleveren.

De in 2000 onderzochte buisdelen hadden allen een diameter van 100 mm. De door Ijpelaar et al. (2000) aangegeven inwendige en uitwendige uitloging is uitgedrukt in procenten van de buiswand. Hierbij is niet aangegeven wat de totale wanddikte was van de onderzochte buisdelen. Er is aangenomen dat alle buisdelen die in 2000 zijn beoordeeld een totale wanddikte hebben van 14,2 mm. Dit komt overeen met de gemiddelde totale wanddikte van alle in 2014-2016 beoordeelde buisdelen met een diameter van 100 mm.

3.2 PS Pey

In dit voorzieningsgebied zijn in 2000 14 beoordelingen uitgevoerd, allen in de gemeente Maasbracht. De inwendige uitloging van de in 2000 onderzochte buisdelen varieerde van 0% tot en met 26%, met een gemiddelde van 18%. Uitgaande van een wanddikte van 14,2 mm, komt dit overeen met een inwendige uitloging die varieert van 0 tot en met 3,6 mm, met een gemiddelde van 2,6 mm. De uitwendige uitloging bedroeg 7% voor elf beoordelingen en 0% voor drie beoordelingen. Dit komt overeen met elf beoordelingen van 1,0 mm en een gemiddelde van 0,8 mm.

In het voorzieningsgebied Pey-Echt zijn in 2014-2016, 33 thymolftaleïnetesten uitgevoerd, waarvan drie in Maasbracht. Twee van deze beoordelingen uit Maasbracht zijn uitgevoerd op ongeveer dezelfde locatie als in 2000. Deze laatste beoordelingen betreffen verschillende buisdelen aangezien de buizen die in 2000 zijn beproefd toen zijn vervangen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-1.

TABEL 3-1 OVERZICHT MEETRESULTATEN INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING UIT 2000 EN UIT 2014-2016 IN MAASBRACHT EN VOORZIENINGSGBIED PEY.

<i>Locatie</i>	<i>Inwendige uitloging 2000</i>	<i>Inwendige uitloging 2014-2016</i>
Maasbracht, Oliestraat 1	3,0 mm	1 mm
Maasbracht, Oliestraat 11	3,6 mm	4 mm
Maasbracht		
Gemiddeld	2,6 mm (n=14)	3,0 mm (n=3)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0,076 mm/jaar	0,063 mm/jaar
Voorzieningsgebied Pey		
Gemiddeld		3,7 mm (n=33)
Gemiddelde uitlogingssnelheid		0,076 mm/jaar

<i>Locatie</i>	<i>Uitwendige uitloging 2000</i>	<i>Uitwendige uitloging 2014-2016</i>
Maasbracht, Oliestraat 1	1,0 mm	0 mm
Maasbracht, Oliestraat 11	1,0 mm	0 mm
Maasbracht		
Gemiddeld	0,8 mm (n=14)	0,3 mm (n=3)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0,023 mm/jaar	0,009 mm/jaar
Voorzieningsgebied Pey		
Gemiddeld		1,4 mm (n=33)
Gemiddelde uitlogingssnelheid		0,025 mm/jaar

De beoordelingen in 2000 in Maasbracht hadden een gemiddelde inwendige uitloging van 2,6 mm. In 2014-2016 bedroeg de gemiddelde inwendige uitloging 3,0 mm in Maasbracht en 3,7 mm in het gehele voorzieningsgebied Pey. Dit zou een indicatie kunnen zijn van een doorgaande uitloging. Op basis van de leeftijd op het moment van beproeving is een gemiddelde uitlogingssnelheid berekend. Opvallend is dat de gemiddelde uitlogingssnelheid voor Maasbracht uit 2000 overeenkomt met die van Pey in 2014-2016.

Vergelijking van de buisdelen op dezelfde locatie (Oliestraat 1 en 11) laat onlogische waarden zien, aangezien de waarden uit 2000 hoger zijn dan uit 2014-2016. Hier speelt een rol dat de buisdelen uit 2000 zijn verwijderd en dat in 2014-2016 andere buisdelen zijn getoetst.

De beoordelingen in 2000 in Maasbracht hadden een gemiddelde uitwendige uitloging van 0,8 mm. In 2014-2016 bedroeg de gemiddelde uitwendige uitloging 0,3 mm in Maasbracht en 1,4 mm in het gehele voorzieningsgebied Pey. De beoordelingen van 2014-2016 uit Maasbracht geven een lagere waarde voor de uitwendige uitloging dan de beoordelingen uit 2000. Dit kan veroorzaakt worden door beperkt aantal beoordelingen uit 2014-2016. Vergelijking van de beoordelingen van de uitwendige uitloging uit 2000 met die uit 2014-2016 voor het voorzieningsgebied Pey laat een beeld zien dat meer met de verwachtingen overeen komt. Er is in deze vergelijking een toename van de gemiddelde uitwendige wanddikte van 0,8 naar 1,4 mm. Net als bij de inwendige uitloging geldt dat de uitwendige gemiddelde uitlogingssnelheid voor Maasbracht uit 2000 overeen komt met die van Pey in 2014-2016.

3.3 PS Schinveld

In dit voorzieningsgebied zijn in 2000 10 beoordelingen uitgevoerd, in de gemeenten Landgraaf (n=4), Brunssum (n=3) en Onderbanken (n=3). Bij geen enkel buisdeel in Landgraaf en Onderbanken werd inwendige uitloging aangetroffen. In Brunssum bedroeg de inwendige uitloging bij de drie onderzochte buisdelen 10%. Uitgaande van een wanddikte van 14,2 mm, komt dit overeen met een inwendige uitloging van 1,4 mm. Bij geen van de beoordelingen werd uitwendige uitloging aangetroffen.

In het voorzieningsgebied Schinveld zijn in 2014-2016, negen thymolftaleinetesten uitgevoerd, waarvan vier in Landgraaf. Er zijn in die periode geen beoordelingen uitgevoerd in Brunssum of Onderbanken. Van de vier beoordelingen in Landgraaf zijn er geen beoordelingen uitgevoerd op locaties die ook in 2000 zijn beoordeeld. Net als bij de beoordelingen in 2000 is er nauwelijks uitwendige uitloging gemeten, namelijk bij slechts één van de negen beoordelingen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-2.

TABEL 3-2 OVERZICHT MEETRESULTATEN INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING UIT 2000 EN UIT 2014-2016 IN LANDGRAAF EN VOORZIENINGSGBIED SCHINVELD.

<i>Locatie</i>	<i>Inwendige uitloging 2000</i>	<i>Inwendige uitloging 2014-2016</i>
Landgraaf		
Gemiddeld	0,0 mm (n=4)	1,8 mm (n=4)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0 mm/jaar	0,041 mm/jaar
Voorzieningsgebied Schinveld		
Gemiddeld	0,4 mm (n=10)	1,8 mm (n=9)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0,024 mm/jaar	0,042 mm/jaar
<i>Locatie</i>	<i>Uitwendige uitloging 2000</i>	<i>Uitwendige uitloging 2014-2016</i>
Landgraaf		
Gemiddeld	0,0 mm (n=4)	0,3 mm (n=4)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0 mm/jaar	0,009 mm/jaar
Voorzieningsgebied Schinveld		
Gemiddeld	0,0 mm (n=10)	0,1 mm (n=9)
Gemiddelde uitlogingssnelheid	0 mm/jaar	0,003 mm/jaar

Geen van de beoordelingen uit 2000 in Landgraaf had inwendige uitloging. Het gemiddelde voor het voorzieningsgebied bedroeg 0,4 mm. In 2014-2016 bedroeg de gemiddelde inwendige uitloging 1,8 mm zowel voor Landgraaf als voor het voorzieningsgebied Schinveld. Vanwege de beperkte omvang en de verschillende meetlocaties zijn de beoordelingen voor de inwendige uitloging niet aan elkaar te relateren.

Geen van de beoordelingen uit 2000 in Landgraaf en in het voorzieningsgebied Schinveld had uitwendige uitloging. In 2014-2016 bedroeg de gemiddelde uitwendige uitloging 0,3 mm voor Landgraaf en 0,1 mm voor het voorzieningsgebied Schinveld. Beide waarden zijn beïnvloed door slechts één meting in Landgraaf met een uitwendige uitloging van 1,0 mm. Op basis van alle beoordelingen kan geconcludeerd worden dat uitwendige uitloging in het voorzieningsgebied Schinveld niet of zeer beperkt aanwezig lijkt, zie ook Figuur 2-10.

3.4 PS Waterval

In dit voorzieningsgebied zijn in 2000 vijf beoordelingen uitgevoerd in de gemeente Stein. De inwendige uitloging bedroeg voor vier buisdelen 0% en voor één buisdeel 3,5% (0,5mm). Bij geen enkele beoordeling werd uitwendige uitloging gemeten. Er zijn in de periode 2014-

2016 geen beoordelingen uitgevoerd in Stein. Het voorzieningsgebied van pompstation Waterval is heringericht en wordt nu voorzien uit mengwater van IJzeren Kuilen en Susteren. Door het beperkt aantal beoordelingen en de herinrichting is vergelijking niet mogelijk.

3.5 Discussie van resultaten

Op basis van de vergelijking van meetresultaten uit 2000 en 2014-2016, zijn onderstaande conclusies te trekken.

1. Vergelijking van beide meetreeksen is lastig omdat maar op een beperkt aantal beoordelingen op dezelfde locatie hebben plaatsgevonden.
2. Uit beoordelingen uit beide meetperioden blijkt dat AC buisdelen bij WML meer worden aangetast door inwendige uitloging dan door uitwendige uitloging.
3. Van de beoordelingen uit 2000 bedraagt de gemiddelde inwendige uitloging 1,4 mm en de gemiddelde uitwendige uitloging 0,4 mm. De uitloging uit de periode 2014 -2016 van buisdelen met een diameter van 100 mm is aanmerkelijk hoger, respectievelijk 2,8 mm en 1,2 mm. Deze verschillen zijn niet te verklaren door de levensduur van leidingen en een constante uitlogingssnelheid. De gemiddelde inwendige uitlogingssnelheid van de beoordelingen uit 2000 bedroeg 0,046 mm/jaar en uit 2014 - 2016 0,058 mm/jaar. De gemiddelde uitwendige uitlogingssnelheid van de beoordelingen uit 2000 bedroeg 0,011 mm/jaar en uit 2014 -2016 0,022 mm/jaar. Deze toename van de gemiddelde inwendige en uitwendige uitlogingssnelheid zou een aanwijzing kunnen zijn dat de uitlogingssnelheid toeneemt in de tijd. Dit is echter op basis van deze beperkte meetset uit 2000 niet voldoende te onderbouwen. Daarnaast blijkt dat de buisdelen die zijn beoordeeld in 2000 later zijn aangelegd dan de vergelijkbare buisdelen die zijn beoordeeld in 2014 - 2016. Het gemiddelde jaar van aanleg van beide groepen is respectievelijk 1971 en 1965.

4 Historische SI als verklarende factor voor AC exitbeoordelingen

In diverse onderzoeken wordt een relatie gelegd tussen de inwendige uitloging van AC buizen en de waterkwaliteit, zie onder andere Slaats en Mesman (2003). Hierbij wordt een hogere inwendige uitloging aangenomen bij een negatieve saturatie-index (SI). Door Mesman (2010) is onderzocht of er een statistisch verband is tussen de historische SI en de mate van inwendige uitloging. In dit onderzoek zijn de resultaten van 202 fenolftaleïne-testen die zijn uitgevoerd door Brabant Water vergeleken met de waterkwaliteit op basis van historische gegevens. Hierbij is het begrip historische waterkwaliteit bepaald als de waarde van een negatieve SI vermenigvuldigd met het aantal dagen dat die negatieve SI is geleverd. Een dergelijke analyse is tijdsintensief omdat hiervoor een grote hoeveelheid historische waterkwaliteitsgegevens moet worden verzameld en geanalyseerd, onder andere uit historische overzichten van Vewin. Mesman (2010) liet zien dat er voor de meetgegevens van Brabant Water geen statistische relatie is tussen de negatieve SI en de mate van inwendige uitloging. WML wilde nagaan of een dergelijke conclusie ook geldt voor AC leidingen in haar voorzieningsgebied. Hiervoor zijn door WML gegevens gebruikt die zijn aangeleverd.

De door WML aangeleverde datasets beslaan drie perioden: voor 1990, tussen 1990 en 2002 en tussen 2003 en 2015. In Tabel 4-1 is een overzicht gegeven van gemiddelde SI-waarden per periode. Omdat niet van alle perioden gegevens over de SI beschikbaar zijn, is het overzicht onvolledig. Ook zijn er aanzienlijke verschillen in de monitoringsfrequenties tussen de perioden en tussen de voorzieningsgebieden. De SI-waarden kennen in sommige gevallen aanzienlijke variaties, zowel binnen een tijdsfase als tussen de tijdsfasen. De hiervoor genoemde beperkingen houden in dat de hier berekende waarden slechts indicatief zijn. Het is dan niet mogelijk een historische SI op te stellen zoals uitgevoerd door Mesman (2010) op basis van SI-waarde en bijbehorende tijdsduur.

De voorzieningsgebieden zijn in het verleden veranderd door sluiting van pompstations en nieuwe gebiedsindelingen. Voor productiestation Heel zijn SI waarden van productiestation Beegden gebruikt. Voor de productiestations IJzeren Kuilen en Pey konden geen betrouwbare gemiddelde SI-waarden worden opgesteld.

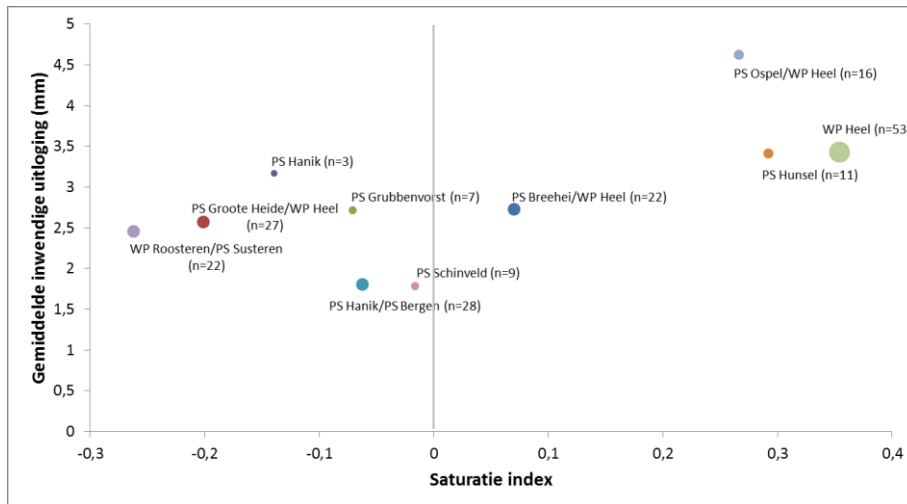
TABEL 4-1 OVERZICHT VAN DE HISTORISCHE GEMIDDELDE SI-WAARDEN PER POMPSTATION.

	Voor 1990			Tussen 1990 en 2002			Tussen 2003 en 2015		
	Periode	aantal	Gem SI	Periode	aantal	SI	Periode	aantal	SI
OPB IJzeren Kuilen	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS Breehei/WP Heel	70-88	174	0,3089	90-02	49	0,0700	03-15	51	0,1282
Groote Heide/WP Heel	-	-	-	90-02	50	-0,2014	03-15	52	0,0446
PS Grubbenvorst	-	-	-	90-02	51	-0,0708	03-15	50	0,0914
PS Hanik	75-88	140	0,3911	90-02	49	-0,1392	03-15	61	-0,0795
PS Bergen	73-83	36	0,22	93-02	82	-0,0626	03-15	54	0,005
PS Hunsel	-	-	-	90-02	51	0,2918	03-15	52	0,3435
PS Ospel/WP Heel	88-90	91	0,0656	90-02	20	0,2660	03-15	51	0,0245
PS Pey	70-88	164	0,2403	-	-	-	03-15	52	0,2965
PS Schinveld	83-87	49	0,2446	90-02	49	-0,0163	03-15	52	0,058
WP Heel	71-88	177	0,1102	90-02	50	0,3546	03-15	51	0,218
WP Roosteren/ PS Susteren	70-88	206	0,2828	90-02	112	-0,2621	03-15	55	-0,0011

Voor de analyse van de SI-waarde per voorzieningsgebied is alleen gebruik gemaakt van het gemiddelde over de periode 1990 - 2002. De reden hiervoor is dat er twijfels zijn bij de juistheid van de gegevens uit de voorgaande periode. Alle SI-waarden uit deze periode zijn positief, ook voor die voorzieningsgebieden waarvan de waarden in een latere periode negatief zijn. Er zijn echter zover bekend geen aanpassingen in de wijze van drinkwaterproductie geweest die deze verandering kan verklaren. Het lijkt daarom logisch om bij gebrek aan betere gegevens, de gemiddelde SI-waarden uit de periode 1990-2002 ook van toepassing te laten zijn op de voorafgaande periode. Rond het jaar 2000 zijn er diverse aanpassingen aan het productieproces doorgevoerd, met name op het gebied van ontharding en pH-correctie. Dit verklaart dat de periode vanaf 2003 voornamelijk positieve gemiddelde SI-waarden laat zien. Gezien de leeftijd van de leidingen is de duur van deze laatste periode relatief kort en zal deze vermoedelijk van beperkte invloed zijn op de totale inwendige uitloging.

Van de tien pompstations die hier beschouwd worden, hebben er vier in de periode 1990 - 2002 een positieve SI, te weten PS Breehei/WP Heel, PS Hunsel, PS Ospel/WP Heel en WP Heel (waterkwaliteitsgegevens van PS Beegden). De overige zes pompstations hebben een negatieve SI, te weten Groote Heide/WP Heel, PS Grubbenvorst, PS Hanik, PS Bergen, PS Schinveld en WP Roosteren/ PS Susteren. De SI was voor de periode 2003 - 2015 was ook negatief voor de pompstations PS Hanik en WP Roosteren/ PS Susteren.

In Figuur 4-1 is per voorzieningsgebied de gemiddelde SI-waarde uit de periode 1990 - 2002 gecombineerd met de gemiddelde inwendige uitloging van alle beoordelingen uit het bijbehorende voorzieningsgebied. De stip is groter naarmate er meer beoordelingen in het betreffende voorzieningsgebied hebben plaatsgevonden. Uit deze vergelijking blijkt dat, op basis van de door WML aangeleverde waterkwaliteitsgegevens, er geen relatie is vast te stellen tussen een negatieve SI-waarde en een verhoogde inwendige uitloging. Het is zelfs zo dat een positieve SI-waarde is gemeten in het voorzieningsgebied met de hoogste gemiddelde uitloging (PS Ospel/WP Heel).



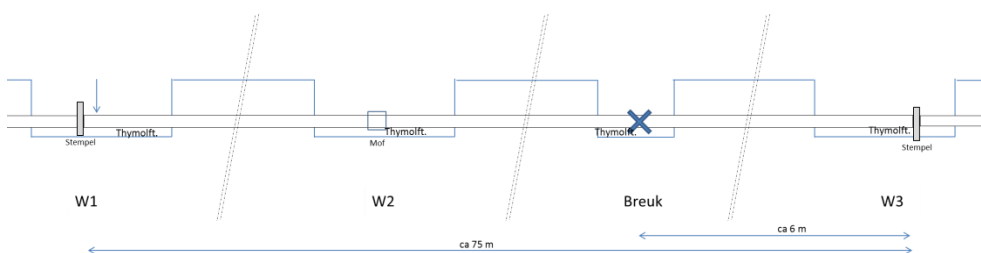
FIGUUR 4-1 PER VOORZIENINGSGBIED IS DE GEMIDDELDE SI-WAARDE VERGELEKEN MET DE GEMIDDELDE INWENDIGE UITLOGING.

5 Drukproef en representativiteit thymolftaleïnetesten

5.1 Inleiding meting bij Leunen

Om inzicht te krijgen in de variatie van uitloging in een AC leiding heeft WML op 3 december 2015 bij Leunen (adres Blankenberg 10 en 12) thymolftaleïnetesten uitgevoerd op 14 breukvlakken. De betreffend leiding heeft een diameter van 100 mm, een geregistreerde wanddikte van 14 mm en bestaat uit buizen met een lengte van 4 m. Deze leiding is aangelegd in 1972 en in 2015 uit bedrijf genomen nadat er in korte tijd twee lekkages zijn opgetreden (2013 en 2015). Daarnaast zijn er in en rondom Leunen 28 lekkages opgetreden in de periode 2009 - 2015. Het te onderzoeken deel had een lengte van circa 75 m. Voor het uitvoeren van de thymolftaleïnetesten zijn drie werkgaten gegraven, zie ook Figuur 5-1. In deze werkgaten zijn tevens metingen uitgevoerd met een hardheidshamer, zie hiervoor hoofdstuk 6. Het protocol dat is gebruikt voor de metingen is weergegeven in Bijlage I.

Om de sterkte van de leiding te meten is een drukproef uitgevoerd. De leiding is geïsoleerd door het plaatsen van eindkappen, bestaande uit trekvast universeelkoppelingen met een blindflens die met stoeptegels zijn gestempeld tegen de belendende buis. Voor de drukproef zijn twee nieuwe huisaansluitingen aangebracht aan weerszijden van de leiding om de leiding opnieuw te vullen met water en te ontlichten. Tijdens de persproef is de leiding bezweken op een afstand van circa 6 meter van de eindkap die is gelegen in werkgat 3 (W_3). Ter plaatse van de breuk is de leiding ontgraven. Na de persproef zijn in de werkgaten W_1 , W_2 en W_3 vier buisdelen geknipt uit één buisdeel. De onderlinge afstand tussen de breukvlakken bedroeg circa 0,5 m. In het werkgat waar de breuk heeft plaatsgevonden konden slechts twee buisdelen worden uitgenomen, omdat de grond rondom dit werkgat begon te verzakken en er daardoor geen tijd was om meer stukken uit te knippen. Van alle uitgenomen buisdelen is op een breukvlak thymolftaleïne aangebracht en is de uitloging en de effectieve wanddikte gemeten met een rolmaat. Er zijn foto's gemaakt van het breukvlak.



FIGUUR 5-1 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN AC LEIDING BIJ LEUNEN. DE DRIE WERKGATEN ZIJN AANGEGEVEN MET W_1 , W_2 EN W_3 . TEVENS IS DE POSITIE VAN DE LEIDINGBREUK AANGEGEVEN. DE PIJL GEEFT DE POSITIE WEER WAAR VIA EEN HUISAANSLUITING DE LEIDING ONDER DRUK IS GEZET. DE TERM 'THYMOLFT.' GEEFT DE BUISDELEN WEER DIE ZIJN UITGENOMEN VOOR BEPROEVING MET THYMOLFTALEÏNE.

5.2 Resultaten drukproef

De drukproef is uitgevoerd door een handpomp op de leiding aan te sluiten via een huisaansluiting, zie Figuur 5-2. De proef startte met het aanbrengen van de werkdruk van 0,5 MPa door het openen van een afsluiter. Vervolgens is de afsluiter gesloten en is de druk

met stappen van 0,05 MPa verhoogd. Bij een druk van 2,0 MPa trad een breuk op, zie Figuur 5-2-rechts.



FIGUUR 5-2 UITVOERING VAN DE DRUKPROEF: DE HANDPOMP EN DE DRUKMETER (LINKS), DE AANSLUITING OP DE LEIDING MET DE FLENS EN DE STEPELING (MIDDEN) EN HET LEK NADAT DE LEIDING WEER 'OP DRUK IS GEZET' (RECHTS).

Vertaling van de bezwijkdruk naar de breukspanning is mogelijk met de zogenaamde ketelformule, zie vergelijking 1. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de spanning door de waterdruk alleen wordt opgenomen door de buis en niet door het omliggende grondpakket.

$$\sigma_b = \frac{0,5PD_i}{d} \quad \text{VERGELIJKING 1}$$

Waarin geldt: σ_b : de breukspanning (MPa)
 P: het drukverschil tussen de binnenzijde en buitenzijde van het vat (MPa)
 D_i : de inwendige diameter (m)
 d: de wanddikte (m)

De in het LIS geregistreerde wanddikte van de leiding is 14 mm. Ter plaatse van de breuk is een totale wanddikte gemeten van 13,1 mm. Op basis van de thymolftaleïnetest is de effectieve wanddikte ter plaatse van de breuk geschat op 4,4 mm, zie Figuur 5-3. De breukspanning die bij deze wanddikte optreedt bedraagt 45,5 Mpa. Deze waarde is aanmerkelijk hoger dan 22,5MPa, zijnde de breukspanning voor AC buizen ten gevolge van trekkrachten veroorzaakt door inwendige belasting (Eternit, ca 1980). Deze druk waarbij breuk optrad is vier keer zo hoog als de werkdruk. Uit de druktest blijkt dat, ondanks dat de buis uit bedrijf is genomen vanwege een aantal storingen, de sterkte op het moment van de drukproef ruim voldoende was.



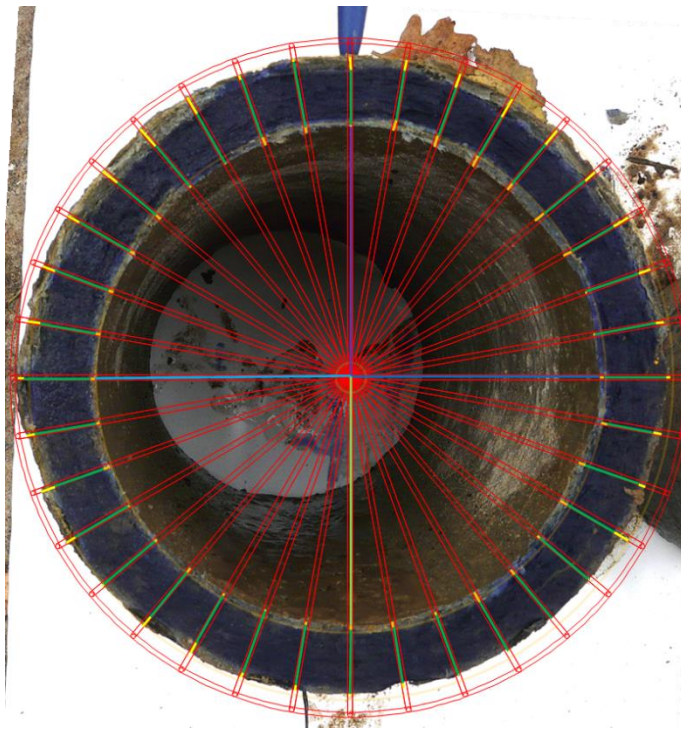
FIGUUR 5-3 METING MET THYMOFTALEÏNE VOOR HET SCHATTEN VAN DE EFFECTIEVE WANDDIKTE TER PLAATSE VAN DE BREUK. DE WAARDEN GEVEN DE LENGTE VAN DE PIJLEN IN MICROSOFT VISIO. DE VERHOUDING 14/42^{STE} VAN DE TOTALE WANDDIKTE KOMT OVEREEN MET 4,4 MM.

5.3 Thymolftaleïnetesten

5.3.1 Uitvoering meting en analyse

In de werkgaten W_1 , W_2 en W_3 zijn uit dezelfde buis met een kettingknipper vier buisdelen uitgeknipt, en bij W_{lek} betrof dit twee buisdelen. Voor het knippen is de bovenzijde gemarkeerd (klokstand 12 uur). Direct na het knippen is op het breukvlak thymolftaleïne aangebracht en is het breukvlak gefotografeerd. Met een rolmaat is op de klokstanden 3 uur, 6 uur, 9 uur en 12 uur de inwendige uitloging, uitwendige uitloging en de totale wanddikte gemeten. In Bijlage II zijn de gemeten wanddikten weergegeven. De gemeten wanddikte ter plaatse van de werkgaten W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} zijn respectievelijk 13,4 mm, 14,6 mm, 14,6 mm en 13,1 mm.

De foto's van de thymolftaleïnetesten zijn geïmporteerd in Microsoft Visio, waarna een raster op de foto's is geprojecteerd, waarbij elke 10° een bepaling is uitgevoerd van de verhouding tussen de inwendige uitloging, effectieve wanddikte en de uitwendige uitloging, zie Figuur 5-4. Deze bepaling is uitgevoerd door drie lijnstukken te projecteren op de foto. De lengte van deze lijnstukken is geëxporteerd naar Microsoft Excel, waar een schaling heeft plaatsgevonden op basis van de totale wanddikte. De resultaten van de 14 metingen zijn weergegeven in Bijlage III. Deze resultaten zijn gebruikt voor verdere analyse.



FIGUUR 5-4 BEOORDELING VAN DE VERHOUDING TUSSEN DE INWENDIGE UITLOGING, EFFECTIEVE WANDDIKTE EN UITWENDIGE UITLOGING VAN EEN BREUKVLAK BEHANDELD MET THYMOLFTALEÏNE. DE PEN GEEFT DE POSITIE VAN 12 UUR AAN.

De testen zijn op meerdere manieren te verdelen in groepen:

- Per buisdeel:
 - Buisdeel uit werkgat 1 (W_1), bestaat uit de vier breukvlakken W_{1-1} , W_{1-2} , W_{1-3} en W_{1-4} , dit betreffen 4 keer 36 metingen;
 - Buisdeel uit werkgat 2 (W_2), bestaat uit de vier breukvlakken W_{2-1} , W_{2-2} , W_{2-3} en W_{2-4} , dit betreffen 4 keer 36 metingen;
 - Buisdeel uit werkgat 3 (W_3), bestaat uit de vier breukvlakken W_{3-1} , W_{3-2} , W_{3-3} en W_{3-4} , dit betreffen 4 keer 36 metingen;
 - Buisdeel uit werkgat lek (W_{lek}), bestaat uit de vier breukvlakken W_{lek-1} en W_{lek-2} , dit betreffen 2 keer 36 metingen.
- Per wanddikte
 - Combi 1, namelijk W_1 en W_{lek} met een kleinere wanddikte, respectievelijk 13,4 en 13,1 mm, dit betreffen 8 keer 36 metingen;
 - Combi 2, namelijk W_2 en W_3 met een grotere wanddikte, respectievelijk 14,6 en 14,6 mm, dit betreffen 6 keer 36 metingen.
- Alle metingen, dit betreffen 14 keer 36 metingen.

Van bovenstaande groepen zijn de gemiddelde uitloging, de maximale uitloging en de variatie geanalyseerd. Inzicht in de variatie van de uitloging kan een waterbedrijf informatie geven hoeveel puntmetingen (bijvoorbeeld met thymolftaleïne) uitgevoerd moeten worden voor een betrouwbare uitspraak. Daarnaast is het mogelijk metingen van Echologics beter te interpreteren, door een vertaling te maken van de gemiddelde uitloging over een meting naar de maximaal te verwachten uitloging. Uitgangspunt bij de berekening van de variatie is dat de opgetreden uitloging verloopt volgens een statistische verdeling. Op basis van de meetresultaten in Bijlage III is een normaalverdeling aangenomen. Omdat er geen waarden

mogelijk zijn kleiner dan 0 mm, spreken we van een afgekapte normale verdeling². Om de variatie uit te drukken zijn onderstaande parameters bepaald (tussen haakjes de in de tabellen gehanteerde afkortingen):

- gemiddelde uitloging (gem of μ);
- standaarddeviatie (stdev of σ);
- 99^{ste} percentiel waarde (P_{99});
- Maximum gemeten waarde (max);
- Variatiecoëfficiënt (VC), zijnde σ/μ

Op basis van het gemiddelde, de standaarddeviatie en de aanname van een normaalverdeling van de uitloging, zijn percentielwaarden uit te rekenen. Voor het 99^{ste} percentiel geldt de verwachting dat 99% van de waarden lager zijn dan of gelijk zijn aan de bijbehorende waarde. Het 99^{ste} percentiel geldt daarmee als een benadering voor de maximale uitloging. Het 99^{ste} percentiel voor een normaalverdeling is te berekenen volgens Vergelijking 2.

$$P_{99} = \mu + 2,33 * \sigma \quad \text{VERGELIJKING 2}$$

De variatiecoëfficiënt is de standaarddeviatie gedeeld door het gemiddelde. Het is een maat voor de variatie van meetwaarden, waarbij een hogere waarde duidt op een grotere variatie.

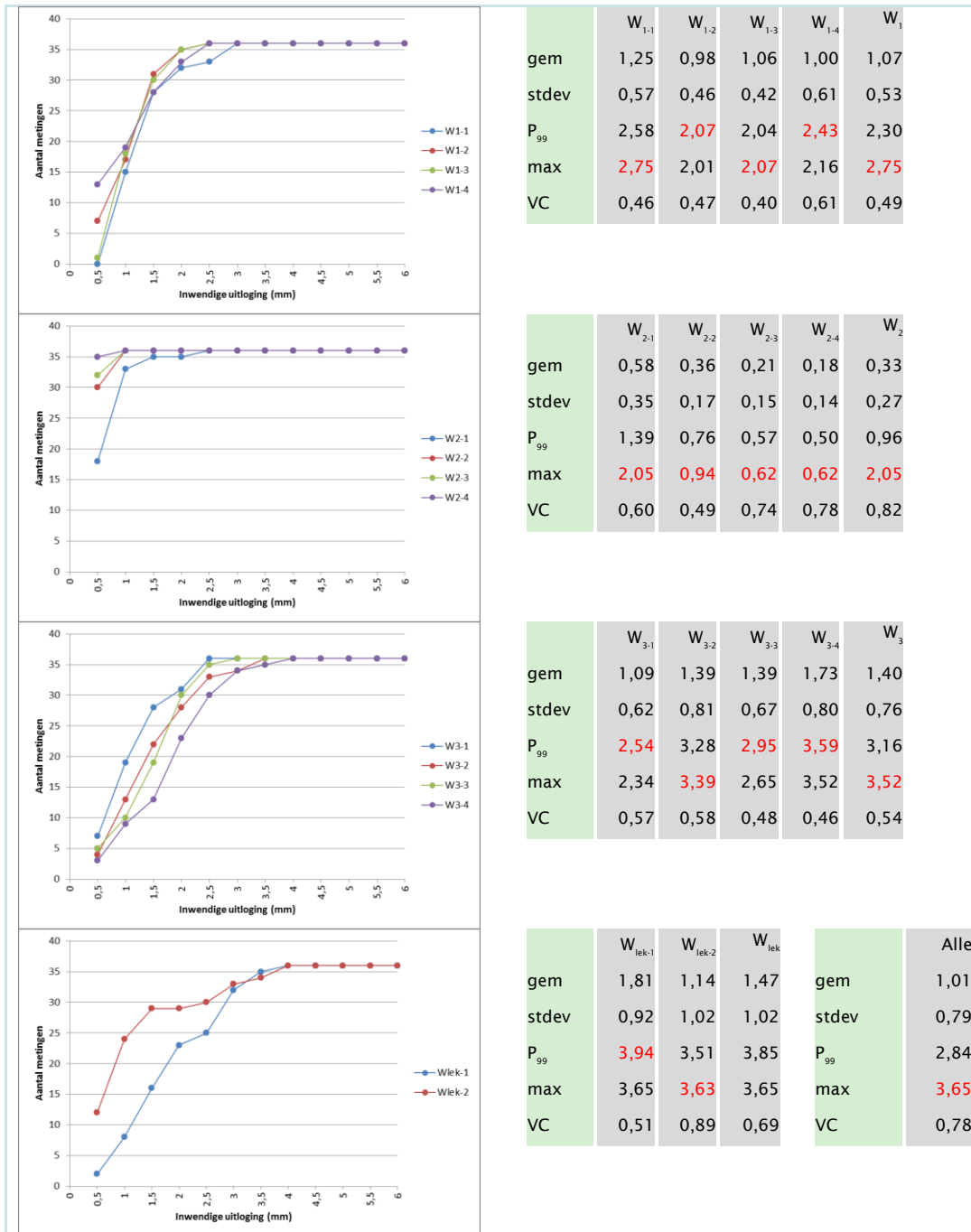
De waarde 2,33 in Vergelijking 2 kan ook worden omschreven als de factor 'X' met een bijbehorende percentielwaarde P_x . Door aan te nemen dat de waarde P_x overeenkomt met de maximale uitloging kan de waarde 'X' berekend worden volgens Vergelijking 3.

$$X = \frac{(max - \mu)}{\sigma} \quad \text{VERGELIJKING 3}$$

5.3.2 Resultaten inwendige uitloging

In Figuur 5-5 zijn de resultaten voor de inwendige uitloging weergegeven. De gemiddelde inwendige uitloging van alle metingen op alle breukvlakken voor de buizen in W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} is respectievelijk 1,1 mm, 0,3 mm, 1,4 mm en 1,5 mm. De standaarddeviaties zijn respectievelijk 0,5 mm, 0,3 mm, 0,8 mm en 1,0 mm. De gemiddelde inwendige uitloging van alle metingen is 1,0 mm en de standaarddeviatie is 0,8 mm.

² In het Engels omschreven als truncated normal distribution.



FIGUUR 5-5 INWENDIGE UITLOGING. DE WAARDE '1' WIL ZEGGEN EEN UITLOGING TUSSEN 0,5 EN 1,0 MM. DE WAARDEN ONDER 'ALLE' BETREFFEN ALLE METINGEN.

De maximum gemeten inwendige uitloging per buisdeel bedraagt respectievelijk 2,8 mm, 2,0 mm, 3,5 mm en 3,6 mm. De maximale inwendige uitloging treedt op in het buisdeel waar ook het lek optrad. Vergelijking van de maximum uitloging met de P₉₉-waarde, laat zien dat in acht gevallen de maximum uitloging de grootste is en in zes gevallen de P₉₉-waarde. In Figuur 5-5 is de hoogste waarde van deze twee in rood weergegeven. Rekening houdend met

de meetnauwkeurigheden die van toepassing zijn op thymolftaleinetesten (te weten 0,5 mm), zijn hierbij onderstaande constatering te maken.

- Van de veertien breukvlakken is er één waarbij het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde groter is dan 0,5 mm ($W_{2,1}$). Dit wil zeggen dat in de meeste gevallen de P_{99} -waarde een betrouwbare schatting oplevert van de maximum inwendige uitloging op hetzelfde breukvlak.
- Van de vier buisdelen is er één waarbij het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde groter is dan 0,5 mm (W_2). Dit wil zeggen in de meeste gevallen de P_{99} -waarde een betrouwbare schatting oplevert van de maximum inwendige uitloging in hetzelfde buisdeel.
- Voor de gehele leiding geldt dat het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde 0,8 mm is. Dit wil zeggen dat de P_{99} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de maximum inwendige uitloging voor de gehele leiding.

Het bovenstaande houdt in dat als de gemiddelde inwendige uitloging wordt gemeten en dat op basis van materiaalonderzoek de standaarddeviatie is te schatten, het 99-percentiel kan worden aangehouden om de maximum inwendige uitloging te schatten per breukvlak en per buisdeel. Voor de schatting van de maximum inwendige uitloging van een leiding is een hogere percentielwaarde benodigd. Op basis van de verkregen meetwaarden en Vergelijking 3 is hiervoor (in plaats van 2,33 voor het P_{99} -percentiel) een waarde 'X' noodzakelijk van 3,34 (wat overeenkomt met het $P_{99,96}$ -percentiel).

De meting van het buisdeel in W2 geeft een afwijkend beeld ten opzichte van de overige buisdelen. De oorzaak hiervan is dat voor alle breukvlakken geldt dat er op veel meetpunten geen uitloging wordt gemeten. De gemiddelde uitloging is hierdoor laag en beperkte uitschieters leiden tot een relatief hoge variatiecoëfficiënt.

In Figuur 5-6 zijn alle meetwaarden voor de inwendige uitloging weergegeven, waarbij een relatief kleine uitloging groen is gekleurd en een relatief grote uitloging rood. Opvallend is dat er grote verschillen zijn tussen de buisdelen, waarbij buisdeel W_2 een beperkte inwendige uitloging heeft en buisdeel W_3 een hogere inwendige uitloging heeft. De grootste inwendige uitloging treedt echter op in buisdeel W_{lek} , terwijl er in dit buisdeel ook delen zijn met een geringe uitloging.

De gemiddelde inwendige uitloging van alle metingen aan de bovenzijde (280° tot 90°) van de leiding bedraagt 1,1 mm en aan de onderzijde (100° tot 270°) van de leiding 0,9 mm. De iets lagere uitloging aan de onderzijde kan toevallig zijn. Het kan ook het gevolg zijn van de aanwezigheid van meer sediment en biofilm aan de onderzijde die een bescherming biedt tegen uitloging. Er zijn echter geen literatuurreferenties bekend die een dergelijk beschermend effect onderbouwen.

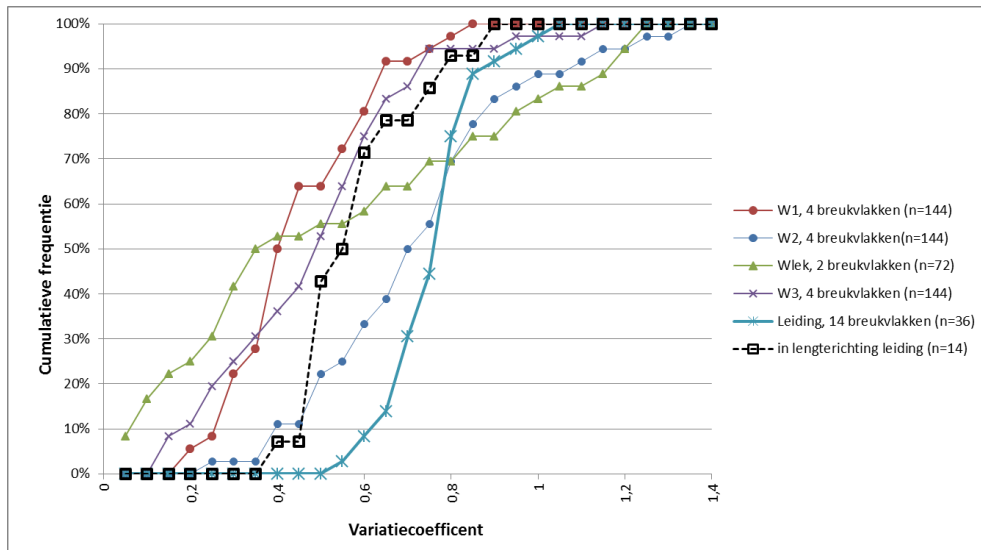
	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	Wlek-1	Wlek-2	W3-1	W3-2	W3-3	W3-4	W1	W2	Wlek	W3	VC
0°	0,57	0,72	1,14	0,85	0,78	0,35	0,24	0,13	2,58	3,63	0,39	1,88	2,10	1,95	0,29	0,76	0,24	0,51	0,84
10°	0,88	0,33	1,07	0,44	0,80	0,94	0,05	0,44	3,21	1,27	2,28	2,04	1,63	2,54	0,52	0,72	0,61	0,18	0,73
20°	0,94	0,44	0,93	0,30	0,84	0,71	0,29	0,06	3,29	0,64	2,18	1,25	1,97	2,66	0,51	0,77	0,95	0,29	0,83
30°	1,32	0,55	1,94	0,25	1,03	0,30	0,24	0,05	3,65	0,78	2,25	1,73	2,08	2,28	0,75	1,05	0,92	0,12	0,79
40°	1,08	0,45	0,60	0,24	0,57	0,29	0,19	0,22	0,26	0,29	1,42	1,15	1,67	1,88	0,60	0,55	0,07	0,21	0,80
50°	2,75	0,95	1,11	0,81	1,13	0,43	0,06	0,06	3,49	0,42	2,21	0,40	1,48	1,40	0,65	1,20	1,11	0,54	0,85
60°	0,87	1,98	1,33	1,38	0,22	0,55	0,34	0,11	2,76	0,45	1,74	0,56	1,24	2,01	0,33	0,80	1,02	0,46	0,74
70°	1,18	0,99	2,07	2,16	0,33	0,32	0,56	0,26	2,78	0,29	0,31	1,37	0,75	2,40	0,37	0,66	1,15	0,75	0,79
80°	0,76	0,73	0,86	0,42	0,28	0,26	0,07	0,24	2,81	0,27	0,26	1,28	1,69	1,60	0,28	0,47	1,16	0,54	0,94
90°	0,80	1,05	0,84	0,65	0,63	0,31	0,07	0,06	1,83	0,13	0,88	1,80	1,83	2,55	0,20	1,00	1,22	0,39	0,80
100°	0,87	0,32	1,11	1,47	2,05	0,24	0,26	0,20	1,40	0,36	1,22	2,23	1,02	3,52	0,51	1,32	0,83	0,57	0,82
110°	0,85	1,20	0,73	0,71	0,18	0,22	0,51	0,19	0,52	0,22	1,34	2,03	0,53	1,78	0,26	0,58	0,57	0,46	0,76
120°	0,60	1,06	1,87	1,29	0,23	0,36	0,15	0,32	1,69	0,34	1,56	0,67	1,19	2,16	0,44	0,36	0,94	0,45	0,70
130°	0,87	1,13	1,30	2,03	0,23	0,49	0,10	0,62	1,67	0,84	0,70	0,73	1,12	0,98	0,37	0,66	0,47	0,23	0,57
140°	0,81	1,37	1,02	1,59	0,33	0,26	0,12	0,27	1,91	1,21	1,49	0,87	0,26	0,63	0,29	0,36	0,32	0,63	0,67
150°	0,64	1,12	0,52	1,80	0,38	0,23	0,13	0,12	1,41	1,49	2,34	0,59	0,41	1,60	0,57	0,57	0,04	0,73	0,78
160°	1,51	1,26	0,61	1,96	0,50	0,26	0,15	0,08	1,23	0,81	0,68	0,83	0,47	0,42	0,42	0,76	0,29	0,31	0,71
170°	2,69	1,72	1,06	1,81	0,42	0,16	0,38	0,16	1,34	0,94	1,29	0,16	0,69	0,57	0,37	0,50	0,25	0,69	0,78
180°	2,55	1,03	0,76	1,02	0,31	0,20	0,62	0,10	1,48	1,23	0,77	1,00	1,50	0,24	0,61	0,73	0,13	0,60	0,72
190°	1,53	2,01	1,01	1,17	0,37	0,44	0,06	0,07	1,10	0,65	0,75	0,90	0,46	1,11	0,31	0,85	0,37	0,34	0,66
200°	1,41	1,81	0,84	0,41	0,36	0,33	0,14	0,05	0,98	0,32	0,45	0,91	1,71	0,94	0,55	0,67	0,72	0,52	0,74
210°	1,48	1,81	0,65	1,20	0,73	0,27	0,06	0,06	0,91	0,68	0,67	1,27	1,48	0,30	0,38	1,13	0,20	0,59	0,67
220°	1,15	0,74	0,91	1,36	0,88	0,27	0,20	0,27	1,57	0,99	0,97	0,26	0,10	1,46	0,26	0,79	0,32	0,91	0,63
230°	1,04	1,05	1,70	1,23	0,74	0,26	0,29	0,06	1,66	1,23	0,59	0,65	0,73	1,41	0,25	0,85	0,21	0,45	0,57
240°	1,99	0,70	1,62	1,77	0,38	0,15	0,51	0,16	0,94	0,83	0,40	0,18	0,94	2,80	0,37	0,58	0,09	1,11	0,84
250°	1,22	1,14	1,62	1,29	0,62	0,12	0,27	0,13	0,75	0,92	1,35	1,46	1,17	1,66	0,16	0,82	0,14	0,45	0,54
260°	1,28	1,13	1,28	0,49	0,46	0,30	0,12	0,13	1,12	0,30	0,59	1,86	1,57	1,94	0,36	0,64	0,81	0,41	0,70
270°	2,29	0,47	0,52	0,75	0,42	0,32	0,02	0,13	0,86	0,58	0,82	1,02	2,65	3,01	0,85	0,81	0,28	0,59	0,98
280°	1,09	0,74	0,94	0,43	0,61	0,51	0,01	0,14	1,38	0,45	1,05	1,43	1,52	1,81	0,36	0,92	0,72	0,32	0,63
290°	0,98	0,50	0,94	0,30	0,52	0,23	0,33	0,07	2,55	0,25	0,97	2,42	1,49	1,86	0,43	0,66	0,65	0,36	0,78
300°	1,18	1,17	0,38	0,31	0,92	0,76	0,32	0,45	2,66	2,86	0,93	2,88	2,34	0,77	0,63	0,45	0,06	0,60	0,76
310°	1,69	1,04	0,69	0,40	0,46	0,33	0,21	0,06	2,21	2,21	1,08	3,39	2,47	2,47	0,58	0,63	0,03	0,40	0,79
320°	1,19	1,17	0,86	2,12	0,48	0,43	0,06	0,06	1,85	2,83	0,37	3,07	1,56	2,25	0,41	0,88	0,30	0,63	0,76
330°	0,87	0,41	1,49	0,28	0,35	0,24	0,21	0,23	0,21	3,18	0,21	1,95	2,50	0,99	0,72	0,24	1,24	0,72	1,04
340°	0,70	0,53	1,11	0,47	0,70	0,52	0,19	0,14	2,27	3,62	1,65	2,11	1,92	1,83	0,41	0,69	0,32	0,10	0,79
350°	1,24	0,60	0,67	0,75	0,73	0,46	0,19	0,46	2,74	2,83	1,18	1,77	1,96	2,40	0,35	0,48	0,02	0,28	0,70
VC	0,46	0,47	0,40	0,61	0,60	0,49	0,74	0,78	0,51	0,89	0,57	0,58	0,48	0,46					

FIGUUR 5-6 DE INWENDIGE UITOGING VAN ALLE METINGEN (IN MM) EN DE VARIATIECOEFFICIENT. DE KOLOMMEN GEVEN DE BREUKVLAKKEN WEER EN DE RIJEN DE POSITIE OP HET BREUKVLAK (0° IS BOVEN). DE MEEST RECHTSE KOLOM GEEFT DE VARIATIECOEFFICIENT WEER VAN DE LEIDING VAN ALLE MEETWAARDEN OP DEZELFDE POSITIE EN DE ONDERSTE RIJ VAN ALLE BREUKVLAKKEN. DE LAAGSTE WAARDEN ZIJN GROEN GEKLEURD EN DE HOOGSTE WAARDEN ROOD.

De variatie van meetresultaten kan worden weergegeven met de variatiecoëfficiënt. De variatiecoëfficiënten uit Figuur 5-6 zijn als cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven in Figuur 5-7. In Figuur 5-7 zijn drie verdelingen te onderscheiden:

- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de buisdelen W_1 , W_2 , W_{lek} en W_3 ;
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de leiding (de samenstelling van de vier buisdelen);
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt in de lengterichting.

De variatie in variatiecoëfficiënten in de lengterichting is aanzienlijk kleiner (de verdeling loopt steiler) dan die in de omtrekricting (van de breukvlakken). Dit wil zeggen dat er meer metingen nodig zijn om een gedetailleerd beeld te krijgen van de inwendige uitloging in de omtrekricting dan in de lengterichting.

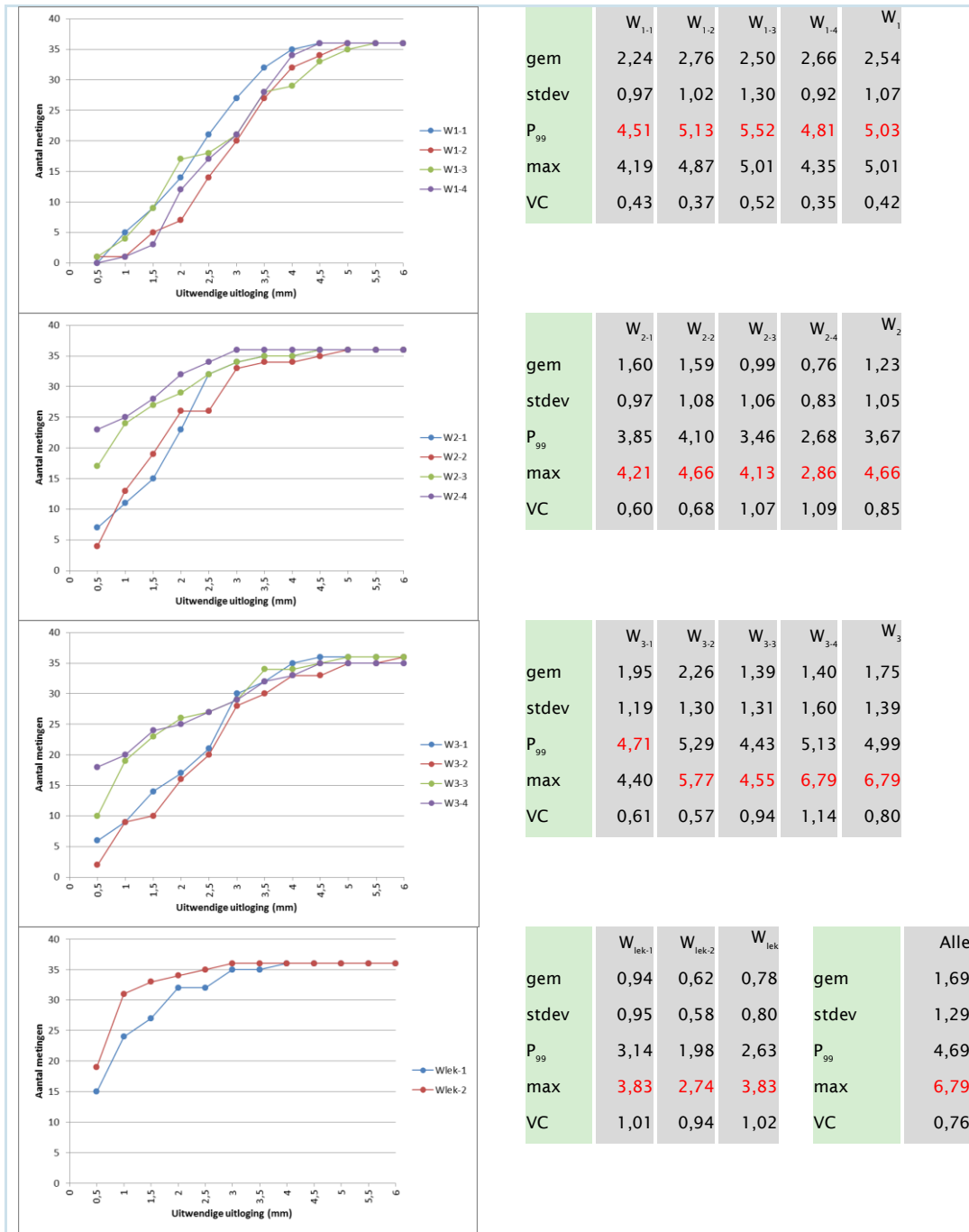


FIGUUR 5-7 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE VARIATIECOEFFICIENT VOOR DE INWENDIGE UITLOGING.

5.3.3 Resultaten uitwendige uitloging

In Figuur 5-8 zijn de resultaten voor de uitwendige uitloging weergegeven. De gemiddelde uitwendige uitloging van alle metingen op alle breukvlakken voor de buizen in W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} is respectievelijk 2,5 mm, 1,2 mm, 1,8 mm en 0,8 mm. De standaarddeviaties zijn respectievelijk 1,1 mm, 1,1 mm, 1,4 mm en 0,8 mm. De gemiddelde uitwendige uitloging van alle metingen is 1,7 mm en de standaarddeviatie is 1,3 mm.

Opvallend is dat bij deze metingen in Leunen de uitwendige uitloging (gemiddeld 1,7 mm) aanzienlijk hoger is dan de inwendige uitloging (gemiddeld 1,0 mm). Dit wijkt af van het algemene beeld uit Hoofdstuk 2 waar blijkt dat voor WML de inwendige uitloging gemiddeld hoger is. Voor slechts 9% van de beoordelingen uit Hoofdstuk 2 geldt dat de uitwendige uitloging groter is dan de inwendige uitloging.



FIGUUR 5-8 UITWENDIGE UITLOGING (GEM: GEMIDDELDE; STDEV: STANDAARDDEVIATIE; P₉₉: 00% PERCENTIEL; MAX: MAXIMUM UITLOGING; VC: VARIATIECOËFFICIËNT). DE WAARDE '1' WIL ZEGGEN EEN UITLOGING TUSSEN 0,5 EN 1,0 MM. DE WAARDEN ONDER 'ALLE' BETREFFEN ALLE METINGEN.

De maximum gemeten uitwendige uitloging per buisdeel bedraagt respectievelijk 5,0 mm, 4,7 mm, 6,8 mm en 3,8 mm. De maximale uitwendige uitloging treedt niet op ter plaatse van het lek maar ter plaatse van werkgat W₃. Vergelijking van de maximum uitloging met de P₉₉-waarde, laat zien dat in negen gevallen de maximum uitloging de grootste is en in vijf gevallen de P₉₉-waarde. In Figuur 5-8 is de hoogste waarde van deze twee in rood

weergegeven. Rekening houdend met de meetnauwkeurigheden die van toepassing zijn op thymolftaleïnetesten (te weten 0,5 mm), zijn hierbij onderstaande constatering te maken.

- Van de veertien breukvlakken zijn er zeven waarbij het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde groter is dan 0,5 mm. Dit wil zeggen dat de P_{99} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de maximum uitwendige uitloging op hetzelfde breukvlak.
- Van de vier buisdelen zijn er drie waarbij het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde groter is dan 0,5 mm. Dit wil zeggen dat in de meeste gevallen de P_{99} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de maximum uitwendige uitloging in hetzelfde buisdeel.
- Voor de gehele leiding geldt dat het verschil tussen de maximum uitloging en de P_{99} -waarde 2,1 mm is. Dit wil zeggen dat de P_{99} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de maximum uitwendige uitloging voor de gehele leiding.

Het bovenstaande houdt in dat als de gemiddelde uitwendige uitloging wordt gemeten en dat op basis van materiaalonderzoek de standaarddeviatie is te schatten, het 99-percentiel niet kan worden aangehouden om de maximum uitwendige uitloging te schatten per breukvlak, per buisdeel en per leiding. Voor de schatting van de maximum uitwendige uitloging van deze objecten is een hogere percentielwaarde benodigd. Op basis van de verkregen meetwaarden en Vergelijking 3 bedraagt voor het breukvlak de hoogste waarde 'X' 3,65 (wat overeenkomt met het $P_{99,987}$ -percentiel). Voor het buisdeel bedraagt de hoogste waarde 'X' 3,84 ($P_{99,994}$ -percentiel). Voor de leiding bedraagt de hoogste waarde 'X' 3,95 ($P_{99,996}$ -percentiel).

In vergelijking met de inwendige uitloging, kent de uitwendige uitloging een grotere variatie met meer extreme waarden. Deze constatering is in lijn met eerdere bevindingen in bijvoorbeeld Slaats en Mesman (2003).

In Figuur 5-9 zijn alle meetwaarden voor de uitwendige uitloging weergegeven, waarbij een relatief kleine uitloging groen is gekleurd en een relatief grote uitloging rood. In tegenstelling tot de inwendige uitloging lijken de verschillen tussen de buisdelen beperkter. Opvallend is wel dat het buisdeel waar het lek is opgetreden een beperkte uitwendige uitloging heeft. De grootste uitwendige uitloging treedt op in buisdeel W_3 .

De gemiddelde uitwendige uitloging van alle metingen aan de bovenzijde (280° tot 90°) van de leiding bedraagt 2,1 mm en aan de onderzijde (100° tot 270°) van de leiding 1,3 mm. Een mogelijke verklaring³ is dat dit heeft te maken met het CO_2 -gehalte in de bodem. Plantenwortels produceren CO_2 , dat zich in de capillaire zone onder invloed van regenwater naar beneden verplaatst. Met name in kalkarme bodems kan dit betekenen dat het CO_2 -gehalte afneemt over de diepte. Deze neerwaartse beweging kan er ook toe leiden dat ter plaatse van de buis het CO_2 -rijke water om de buis stroomt en dat hierdoor benedenstrooms van de buis een zone ontstaat met een relatief lagere CO_2 -concentratie.

³ Mondelinge mededeling (16-12-2016) van Gijsbert Cirkel KWR Watercycle Research Institute.

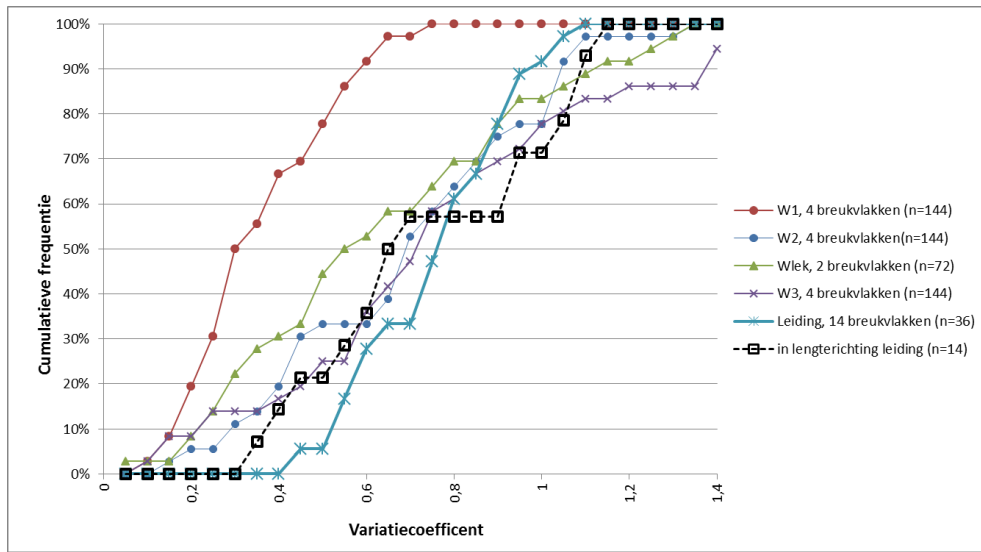
	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	Wlek-1	Wlek-2	W3-1	W3-2	W3-3	W3-4	W1	W2	Wlek	W3	VC
0°	3,05	2,04	2,53	0,61	2,87	1,00	2,27	1,66	1,97	0,98	2,66	4,63	2,11	0,95	0,51	0,41	0,47	0,59	0,51
10°	2,91	2,39	0,63	2,21	2,49	2,68	3,18	2,86	0,66	0,31	2,07	2,59	2,62	2,35	0,48	0,11	0,50	0,11	0,43
20°	2,81	3,67	3,14	4,35	3,17	2,61	1,67	0,17	0,51	0,26	2,68	2,46	3,36	3,06	0,19	0,69	0,46	0,14	0,53
30°	3,74	3,78	3,05	3,29	1,74	2,57	4,13	2,16	0,07	0,29	3,85	2,68	2,99	6,79	0,10	0,39	0,86	0,46	0,57
40°	3,50	3,04	1,59	1,75	1,35	1,92	1,45	0,08	1,72	0,48	3,38	3,06	3,13	1,09	0,38	0,65	0,80	0,40	0,55
50°	1,79	1,40	1,99	1,46	2,32	0,30	0,86	0,15	0,06	0,30	2,59	2,22	4,18	1,35	0,17	1,09	0,91	0,46	0,77
60°	2,50	1,49	2,90	3,01	2,97	2,53	2,56	0,15	0,18	0,74	3,33	2,74	3,35	1,03	0,28	0,63	0,87	0,42	0,55
70°	1,23	2,06	0,72	2,78	2,35	2,64	1,65	0,23	0,35	0,08	2,60	1,93	3,15	2,07	0,54	0,62	0,90	0,23	0,60
80°	0,70	2,50	0,36	2,15	2,12	3,17	2,99	1,33	2,65	0,20	1,71	0,83	0,52	3,61	0,74	0,35	1,21	0,83	0,64
90°	2,73	2,85	1,29	3,15	1,78	4,66	2,48	2,71	0,23	0,58	0,79	1,07	1,55	2,88	0,33	0,43	0,62	0,59	0,59
100°	1,80	4,03	1,53	1,44	2,48	4,21	2,31	2,33	2,53	0,36	1,83	1,66	0,30	2,81	0,56	0,33	1,06	0,63	0,53
110°	3,37	3,32	1,70	2,65	2,26	1,85	0,94	1,12	3,83	0,43	1,44	0,22	0,12	0,11	0,28	0,40	1,13	1,36	0,76
120°	0,68	2,48	1,80	2,45	1,15	1,23	0,74	0,43	0,01	0,37	2,91	0,58	0,06	0,31	0,46	0,42	1,35	1,36	0,88
130°	2,26	0,38	1,28	2,00	0,29	0,44	0,61	1,74	0,07	0,02	0,08	1,52	0,06	0,07	0,57	0,85	0,90	1,67	1,08
140°	0,93	1,45	1,57	1,83	0,26	1,68	0,09	0,77	0,02	0,14	0,10	1,61	0,06	0,35	0,26	1,02	1,00	1,38	0,92
150°	2,04	1,61	1,69	1,70	0,36	0,52	0,17	0,10	0,05	0,12	0,23	0,95	0,05	0,23	0,11	0,66	0,61	1,09	1,08
160°	1,81	1,64	1,08	1,90	0,72	0,81	0,39	0,08	0,08	0,15	0,09	0,87	0,08	0,06	0,23	0,56	0,47	1,48	0,98
170°	2,65	2,07	1,98	3,29	0,57	0,34	0,38	0,35	0,65	0,41	1,12	0,36	0,11	0,83	0,24	0,25	0,50	0,75	1,18
180°	1,45	3,12	0,80	3,70	0,41	0,76	0,88	0,84	1,02	0,77	0,45	0,78	0,94	0,07	0,60	0,29	0,19	0,69	0,89
190°	0,65	2,32	1,43	3,60	0,35	1,62	0,21	1,14	0,68	0,45	1,24	2,54	1,09	0,38	0,63	0,80	0,28	0,69	0,78
200°	2,16	2,57	1,37	1,89	0,48	0,71	0,08	0,19	0,49	0,29	1,13	3,40	0,74	0,21	0,25	0,77	0,37	1,03	0,91
210°	1,09	2,61	3,31	1,63	0,30	0,71	0,22	0,14	0,22	0,42	2,50	2,89	1,45	0,12	0,46	0,74	0,45	0,71	0,91
220°	0,56	2,65	2,50	1,58	2,10	1,24	0,27	0,38	0,93	0,69	2,50	3,70	0,81	0,16	0,53	0,85	0,21	0,90	0,76
230°	1,68	2,65	2,12	3,90	4,21	0,88	0,33	0,25	0,88	0,56	0,48	2,41	0,52	0,13	0,37	1,33	0,31	1,17	0,91
240°	1,27	3,39	4,29	3,93	1,60	1,31	0,09	0,11	0,34	0,56	2,07	2,59	0,72	0,38	0,42	1,02	0,34	0,74	0,89
250°	1,54	3,13	3,71	3,09	1,62	2,55	0,06	0,15	0,76	1,03	2,87	3,59	0,81	0,47	0,32	1,10	0,22	0,79	0,72
260°	2,27	3,61	4,72	3,54	0,72	1,80	0,56	0,36	1,88	0,58	1,61	1,89	0,29	0,08	0,28	0,75	0,74	0,95	0,84
270°	2,35	3,50	5,01	3,73	1,67	1,77	0,07	0,12	0,98	0,68	1,22	0,96	1,89	0,38	0,30	1,03	0,25	0,56	0,84
280°	2,19	3,25	4,41	4,32	0,58	0,39	0,01	0,07	1,41	0,69	2,45	2,10	1,57	0,37	0,29	1,03	0,48	0,56	0,88
290°	3,63	3,86	4,72	3,15	1,97	1,32	0,16	0,31	1,70	1,29	2,46	2,64	0,87	0,11	0,17	0,91	0,20	0,81	0,72
300°	4,19	4,72	3,18	1,62	1,90	0,55	0,54	0,39	1,88	0,57	2,56	2,87	0,54	1,20	0,40	0,84	0,76	0,62	0,75
310°	3,28	4,87	4,06	2,87	1,89	0,50	1,10	1,83	2,74	2,74	3,65	1,99	3,06	3,06	0,23	0,50	0,00	0,23	0,43
320°	2,86	4,12	4,03	2,50	2,23	2,56	0,13	0,22	1,20	0,49	4,40	3,77	4,55	4,08	0,24	1,00	0,59	0,08	0,60
330°	3,00	3,37	3,12	2,70	1,04	0,65	0,31	0,25	0,91	0,60	3,61	0,82	1,12	4,16	0,09	0,65	0,29	0,70	0,76
340°	2,92	2,24	3,20	3,41	2,01	1,65	0,45	0,40	0,56	1,70	0,82	4,70	0,10	3,24	0,17	0,73	0,72	0,96	0,71
350°	3,10	1,05	3,03	2,42	1,19	1,25	1,23	1,65	0,10	2,28	0,58	5,77	1,31	1,90	0,40	0,16	1,29	0,97	0,73
VC	0,43	0,37	0,52	0,35	0,60	0,68	1,07	1,08	1,01	0,94	0,61	0,57	0,94	1,14					

FIGUUR 5-9 DE UITWENDIGE UITOGING VAN ALLE METINGEN (IN MM) EN DE VARIATIECOEFFICIENT. DE KOLOMMEN GEVEN DE BREUKVLAKKEN WEER EN DE RIJEN DE POSITIE OP HET BREUKVLAK (0° IS BOVEN). DE MEEST RECHTSE KOLOM GEEFT DE VARIATIECOEFFICIENT WEER VAN DE LEIDING VAN ALLE MEETWAARDEN OP DEZELFDE POSITIE EN DE ONDERSTE RIJ VAN ALLE BREUKVLAKKEN. DE LAAGSTE WAARDEN ZIJN GROEN GEKLEURD EN DE HOOGSTE WAARDEN ROOD.

De variatie van meetresultaten kan worden weergegeven met de variatiecoëfficiënt. De variatiecoëfficiënten uit Figuur 5-9 zijn als cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven in Figuur 5-10. In Figuur 5-10 zijn drie verdelingen te onderscheiden:

- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de buisdelen W_1 , W_2 , W_{lek} en W_3 ;
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de leiding (de samenstelling van de vier buisdelen);
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt in de lengterichting.

De variatie in variatiecoëfficiënten in de lengterichting is vergelijkbaar (de verdeling loopt ongeveer even steil) met die in de omtrekricting (van de breukvlakken). Dit met uitzondering van buisdeel W_1 waar de verdeling van de variatiecoëfficiënt minder groot is. Dit wil zeggen dat de verschillen in uitloging in de lengterichting vergelijkbaar zijn met die in de omtrekricting (met uitzondering van W_1).

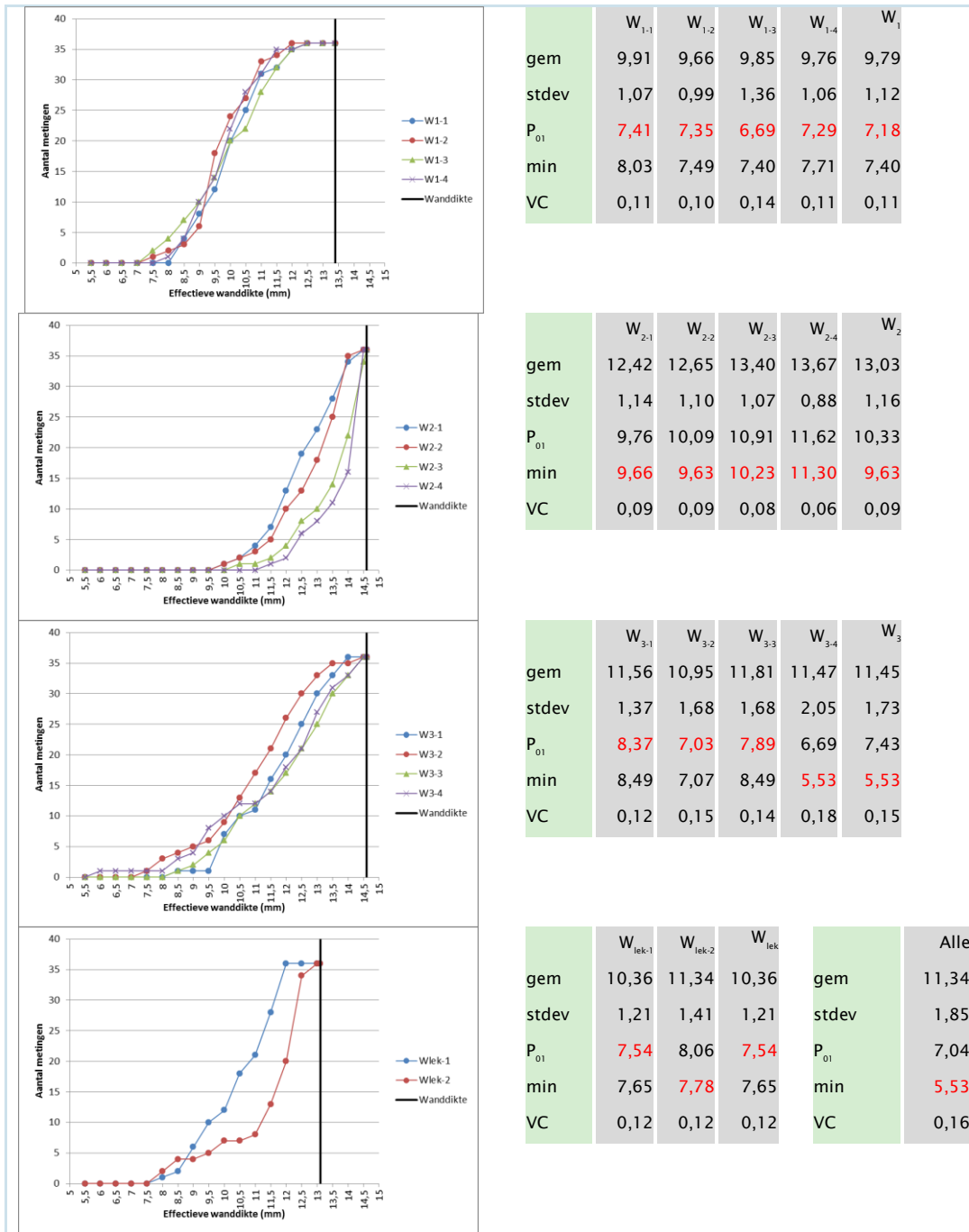


FIGUUR 5-10 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE VARIATIECOEFFICIENT VOOR DE UITWENDIGE UITLOGING.

5.3.4 Effectieve wanddikte

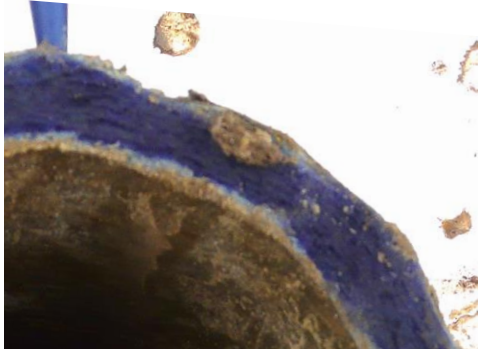
In Figuur 5-11 zijn de resultaten voor de effectieve wanddikte weergegeven, tevens is hier de totale wanddikte weergegeven. De gemiddelde effectieve wanddikte van alle metingen op alle breukvlakken voor de buizen in W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} is respectievelijk 9,8 mm, 13,0 mm, 11,5 mm en 10,4 mm. De gemiddelde totale wanddikte van alle metingen op alle breukvlakken voor de buizen in W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} is respectievelijk 13,4 mm, 14,6 mm, 14,6 mm en 13,1 mm. De standaarddeviaties zijn respectievelijk 1,1 mm, 1,2 mm, 1,7 mm en 1,2 mm. De gemiddelde effectieve wanddikte van alle metingen is 11,3 mm en de standaarddeviatie is 1,9 mm.

De variatie van totale wanddikte heeft een aanzienlijk effect op de aanwezige effectieve wanddikte. De hoogste gemiddelde effectieve wanddikte (W_2) is 13,0 mm en de laagste (W_1) is 9,8 mm. Het verschil tussen beide waarden bedraagt 3,2 mm, waarbij het verschil tussen de totale wanddikte van beide buisdelen 1,2 mm is. Het verschil tussen de gemiddelde effectieve wanddiktes is in dit geval dus voor 38% toe te wijzen aan het verschil in totale wanddikte.



FIGUUR 5-11 EFFECTIEVE WANDDIKTE (GEM: GEMIDDELDE; STDEV: STANDAARDDEVIATIE; P₀₁: 1% PERCENTIEL; MIN: MINIMUM EFF. WANDDIKTE; VC: VARIATIECOËFFICIËNT) EN TOTALE WANDDIKTE. DE WAARDE '7' WIL ZEGGEN EEN WANDDIKTE TUSSEN 6,5 EN 7,0 MM. DE WAARDEN ONDER 'ALLE' BETREFFEN ALLE METINGEN.

Omdat bij de effectieve wanddikte het belang ligt bij de minimum waarde is hier sprake van de P₁-waarde in plaats van de P₉₉-waarde. De minimum gemeten effectieve wanddikte per buisdeel bedraagt respectievelijk 7,4 mm, 9,6 mm, 5,5 mm en 7,7 mm. De minimale effectieve wanddikte van 5,5 mm treedt niet op ter plaatse van het lek maar ter plaatse van werktuig W₃, zie ook Figuur 5-12. Deze minimaal gemeten wanddikte is aanzienlijk hoger dan de effectieve wanddikte van 4,4 mm die is gemeten op het breukvlak.



FIGUUR 5-12 DE BEOORDELING W_{34} WAAR DE MAXIMALE UITWENDIGE UITLOGING EN DE MINIMALE EFFECTIEVE WANDDIKTE IS GEMETEN.

Vergelijking van de minimale wanddikte met de P_{01} -waarde, laat zien dat in acht gevallen de minimum effectieve wanddikte het kleinste is en in zes gevallen de P_1 -waarde. In Figuur 5-11 is de laagste waarde van deze twee in rood weergegeven. Rekening houdend met de meetnauwkeurigheden die van toepassing zijn op thymolftaleinetesten (te weten 0,5 mm), zijn hierbij onderstaande constatering te maken.

- Van de veertien breukvlakken zijn er vijf waarbij het verschil tussen de minimum effectieve wanddikte en de P_{01} -waarde groter is dan 0,5 mm. Dit wil zeggen dat de P_{01} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de minimum effectieve wanddikte op hetzelfde breukvlak.
- Van de vier buisdelen zijn er drie waarbij het verschil tussen de minimum effectieve wanddikte en de P_{01} -waarde groter is dan 0,5 mm. Dit wil zeggen dat in de meeste gevallen de P_{01} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de minimum effectieve wanddikte in hetzelfde buisdeel.
- Voor de gehele leiding geldt dat het verschil tussen de minimum effectieve wanddikte en de P_{01} -waarde 1,5 mm is. Dit wil zeggen dat de P_{01} -waarde geen betrouwbare schatting oplevert van de minimum effectieve wanddikte voor de gehele leiding.

Het bovenstaande houdt in dat als de gemiddelde effectieve wanddikte wordt gemeten, bijvoorbeeld met e-Pulse, en dat op basis van materiaalonderzoek de standaarddeviatie is te schatten, het 01-percentiel niet kan worden aangehouden om de minimum effectieve wanddikte te schatten per breukvlak, per buisdeel en per leiding. Voor de schatting van de minimum effectieve wanddikte van deze objecten is een lagere percentielwaarde benodigd. Op basis van de verkregen meetwaarden en Vergelijking 3 bedraagt voor het breukvlak de laagste waarde 'X' -2,97 (wat overeenkomt met het $P_{0,15}$ -percentiel). Voor het buisdeel bedraagt de laagste waarde 'X' -3,43 ($P_{0,03}$ -percentiel). Voor de leiding bedraagt de laagste waarde 'X' -3,15 ($P_{0,08}$ -percentiel). Op basis van de wanddikte ter plaatse van de breuk blijkt dat de maatgevende waarde een waarde 'X' kent van -3,75 ($P_{0,01}$ -percentiel). Dit houdt in dat de maatgevende waarde overeenkomt met het gemiddelde effectieve wanddikte (11,3 mm) minus 3,75 maal de standaarddeviatie (1,9 mm).

In Figuur 5-13 zijn alle meetwaarden voor de effectieve wanddikte weergegeven, waarbij een relatief grote effectieve wanddikte groen is gekleurd en een relatief kleine effectieve wanddikte rood. Opvallend is dat het buisdeel waar het lek is opgetreden een beperkte effectieve wanddikte heeft en dat er grote verschillen zijn tussen de buisdelen, waarbij buisdeel W_2 een relatief grote effectieve wanddikte heeft en buisdeel W_1 een relatief grote effectieve wanddikte. De kleinste effectieve wanddikte treedt op in buisdeel W_3 .

De gemiddelde effectieve wanddikte van alle metingen aan de bovenzijde (280° tot 90°) van de leiding bedraagt 10,8 mm en aan de onderzijde (100° tot 270°) van de leiding 11,8 mm.

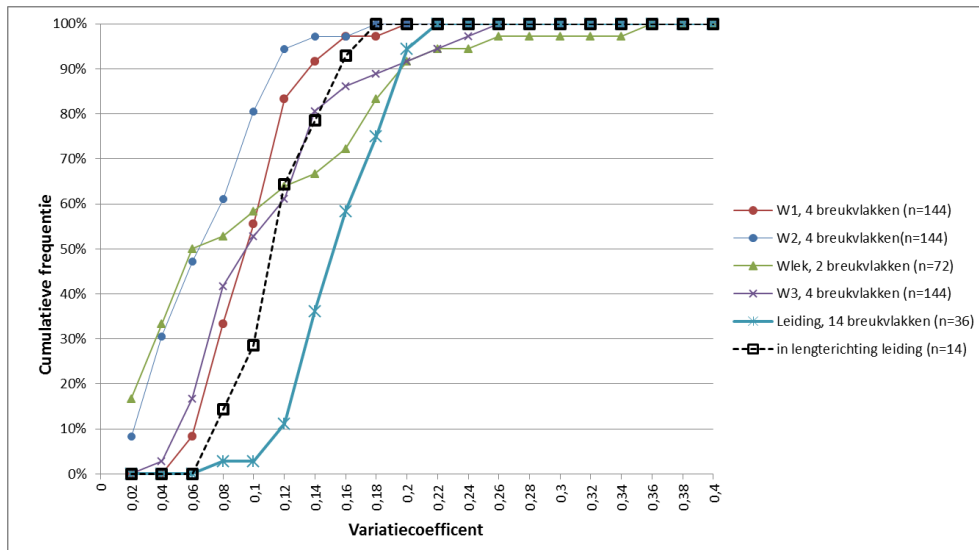
	Combi 1				Combi 2				Wiek-1		Wiek-2		Combi 2				W1	W2	Wlek	W3	VC
	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	W3-1	W3-2	W3-3	W3-4									
0°	9,77	10,64	9,73	12,40	10,95	13,25	12,09	12,81	8,56	8,49	11,55	8,09	10,39	11,71	0,12	0,08	0,01	0,16	0,15		
10°	9,61	10,68	11,70	10,75	11,31	10,98	11,37	11,30	9,24	11,52	10,25	9,96	10,36	9,71	0,08	0,02	0,16	0,09	0,09		
20°	9,65	9,29	9,33	8,75	10,59	11,28	12,64	14,37	9,29	12,20	9,74	10,89	9,27	8,87	0,04	0,14	0,19	0,09	0,16		
30°	8,34	9,07	8,41	9,86	11,83	11,73	10,23	12,35	9,38	12,02	8,49	10,19	9,58	8,58	0,08	0,08	0,17	0,24	0,19		
40°	8,82	9,91	11,21	11,41	12,67	12,39	12,96	14,25	11,12	12,33	9,80	10,39	9,80	11,62	0,12	0,06	0,07	0,08	0,13		
50°	8,86	11,05	10,30	11,14	11,15	13,37	13,68	14,34	9,55	12,38	9,80	11,98	8,94	11,85	0,10	0,11	0,18	0,14	0,16		
60°	10,04	9,93	9,16	9,02	11,41	11,51	11,90	14,35	10,17	11,91	9,54	11,31	10,00	11,56	0,05	0,11	0,11	0,09	0,13		
70°	10,99	10,34	10,61	8,47	11,92	11,64	12,40	14,11	9,97	12,74	11,69	11,30	10,70	10,13	0,11	0,09	0,17	0,06	0,12		
80°	11,94	10,17	12,18	10,83	12,19	11,17	11,54	13,04	7,65	12,62	12,63	12,49	12,38	9,40	0,08	0,07	0,35	0,13	0,13		
90°	9,87	9,49	11,27	9,60	12,19	9,63	12,05	11,83	11,05	12,39	12,93	11,73	11,23	9,17	0,08	0,11	0,08	0,14	0,11		
100°	10,73	9,05	10,76	10,49	10,07	10,15	12,03	12,06	9,17	12,37	11,55	10,72	13,27	8,24	0,08	0,10	0,21	0,19	0,13		
110°	9,19	8,88	9,98	10,04	12,17	12,53	13,15	13,28	8,75	12,45	11,82	12,36	13,95	12,70	0,10	0,04	0,25	0,07	0,15		
120°	12,12	9,86	10,73	9,67	13,22	13,01	13,71	13,85	11,40	12,39	10,13	13,35	13,35	12,13	0,12	0,03	0,06	0,12	0,13		
130°	10,27	11,88	10,82	9,38	14,07	13,66	13,89	12,24	11,36	12,25	13,81	12,35	13,42	13,55	0,10	0,06	0,05	0,05	0,12		
140°	11,66	10,57	10,81	9,98	14,02	12,66	14,39	13,57	11,17	11,75	13,01	12,12	14,28	13,63	0,06	0,05	0,04	0,07	0,12		
150°	10,72	10,67	11,19	9,90	13,86	13,85	14,31	14,38	11,64	11,49	12,03	13,06	14,14	12,76	0,05	0,02	0,01	0,07	0,12		
160°	10,08	10,51	11,71	9,55	13,38	13,53	14,06	14,44	11,80	12,14	13,83	12,90	14,05	14,11	0,09	0,04	0,02	0,04	0,13		
170°	8,06	9,61	10,35	8,30	13,62	14,10	13,83	14,08	11,70	12,05	12,19	14,08	13,80	13,23	0,12	0,02	0,02	0,06	0,18		
180°	9,41	9,25	11,85	8,68	13,87	13,64	13,10	13,66	10,61	11,09	13,38	12,81	12,16	14,29	0,14	0,02	0,03	0,07	0,16		
190°	11,22	9,07	10,96	8,63	13,88	12,54	14,33	13,39	11,32	12,00	12,61	11,15	13,05	13,11	0,13	0,06	0,04	0,07	0,14		
200°	9,84	9,02	11,19	11,10	13,76	13,56	14,37	14,35	11,63	12,49	13,01	10,29	12,15	13,45	0,10	0,03	0,05	0,11	0,14		
210°	10,83	8,98	9,44	10,57	13,58	13,62	14,32	14,40	11,97	11,99	11,43	10,44	11,67	14,18	0,09	0,03	0,00	0,13	0,15		
220°	11,69	10,01	9,99	10,45	11,63	13,09	14,13	13,96	10,60	11,42	11,13	10,64	13,68	12,99	0,08	0,09	0,05	0,12	0,13		
230°	10,68	9,71	9,58	8,27	9,66	13,46	13,98	14,29	10,57	11,30	13,53	11,53	13,35	13,06	0,10	0,17	0,05	0,07	0,17		
240°	10,14	9,31	7,49	7,71	12,62	13,13	14,00	14,32	11,82	11,71	12,13	11,85	12,95	11,42	0,15	0,06	0,01	0,05	0,18		
250°	10,64	9,13	8,07	9,01	12,36	11,94	14,26	14,32	11,59	11,15	10,38	9,55	12,62	12,47	0,12	0,09	0,03	0,14	0,17		
260°	9,85	8,66	7,40	9,37	13,42	12,49	13,92	14,11	10,11	12,22	12,40	10,85	12,74	12,88	0,12	0,05	0,13	0,07	0,18		
270°	8,75	9,43	7,87	8,88	12,51	12,51	14,51	14,35	11,26	11,84	12,55	12,63	10,06	11,20	0,07	0,08	0,04	0,11	0,18		
280°	10,11	9,42	8,05	8,65	13,41	13,70	14,59	14,40	10,31	11,95	11,10	11,07	11,52	12,42	0,10	0,04	0,10	0,05	0,18		
290°	8,79	9,04	7,74	9,86	12,11	13,06	14,11	14,22	8,85	10,86	11,16	9,54	12,24	12,63	0,10	0,07	0,14	0,12	0,19		
300°	8,03	7,50	9,84	11,48	11,78	13,30	13,74	13,75	8,56	9,67	11,12	8,85	11,72	12,63	0,20	0,07	0,09	0,15	0,20		
310°	8,43	7,49	8,65	10,13	12,25	13,77	13,29	12,70	8,15	8,15	9,87	9,22	9,08	9,08	0,13	0,05	0,00	0,04	0,21		
320°	9,35	8,10	8,51	8,78	11,89	11,61	14,41	14,32	10,95	9,78	9,83	7,76	8,49	8,27	0,06	0,12	0,02	0,10	0,22		
330°	9,53	9,61	8,79	10,42	13,21	13,71	14,08	14,12	11,98	9,32	10,78	11,83	10,98	9,44	0,07	0,03	0,18	0,09	0,17		
340°	9,79	10,63	9,09	9,52	11,90	12,43	13,96	14,06	10,27	7,78	12,13	7,80	12,58	9,53	0,07	0,08	0,20	0,21	0,19		
350°	9,06	11,75	9,70	10,23	12,68	12,89	13,18	12,49	10,26	7,99	12,85	7,07	11,32	10,30	0,11	0,02	0,18	0,24	0,18		
VC	0,11	0,10	0,14	0,11	0,09	0,09	0,08	0,06	0,12	0,12	0,12	0,15	0,14	0,13							

FIGUUR 5-13 DE EFFECTIEVE WANDDIKTE VAN ALLE METINGEN (IN MM) EN DE VARIATIECOEFFICIENT. DE KOLOMMEN GEVEN DE BREUKVLAKKEN WEER EN DE RIJEN DE POSITIE OP HET BREUKVLAK (0° IS BOVEN). DE MEEST RECHTSE KOLOM GEEFT DE VARIATIECOEFFICIENT WEER VAN DE LEIDING VAN ALLE MEETWAARDEN OP DEZELFDE POSITIE EN DE ONDERSTE RIJ VAN ALLE BREUKVLAKKEN. DE HOOGSTE WAARDEN ZIJN GROEN GEKLEURD EN DE LAAGSTE WAARDEN ROOD.

De variatie van meetresultaten kan worden weergegeven met de variatiecoëfficiënt. De variatiecoëfficiënten uit Figuur 5-13 zijn als cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven in Figuur 5-14. In Figuur 5-14 zijn drie verdelingen te onderscheiden:

- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de buisdelen W_1 , W_2 , W_{lek} en W_3 ;
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt van de leiding (de samenstelling van de vier buisdelen);
- de verdeling van de variatiecoëfficiënt in de lengterichting.

De variatie in variatiecoëfficiënten in de lengterichting is vergelijkbaar (de verdeling loopt ongeveer even steil) met die in de omtrekringing (van de breukvlakken). Dit met uitzondering van buisdeel W_{lek} waar de verdeling van de variatiecoëfficiënt groter is. Dit wil zeggen dat de verschillen in effectieve wanddikte in de lengterichting vergelijkbaar zijn met die in de omtrekringing (met uitzondering van W_{lek}).



FIGUUR 5-14 CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE VARIATIECOEFFICIENT VOOR DE EFFECTIEVE WANDDIKTE.

5.4 Interpretatie ten behoeve van e-Pulse metingen

Op basis van de hier geanalyseerde metingen is een betere interpretatie mogelijk van metingen met e-Pulse, aangezien hiermee een gemiddelde effectieve wanddikte wordt bepaald. In geval van een e-Pulse meting van de onderzochte leiding in Leunen, mag worden aangenomen dat het meetresultaat een effectieve wanddikte is van 8,3 mm, te weten het gemiddelde van de laagste waarden per breukvlak. De standaarddeviatie van de minimale waarden betreft 1,5 mm en de laagst gemeten effectieve wanddikte 5,5 mm. De maatgevende effectieve wanddikte is echter die ter plaatse van de breuk, namelijk 4,4 mm. Op basis van de bij WML bekende informatie zou voor de e-Pulse meting zijn uitgegaan van een totale (nominale) wanddikte van 14 mm. Dit zou leiden tot onderstaande punten.

1. De meting met e-Pulse zou uitwijzen dat de gemiddelde effectieve wanddikte 59% zou bedragen van de nominale wanddikte, te weten 8,3 mm gedeeld door 14 mm.
2. De effectieve wanddikte ter plaatse van de breuk is echter lager, namelijk 31% van de nominale wanddikte, te weten 4,4 mm gedeeld door 14 mm.
3. De met e-Pulse bepaalde uitloging zou 5,7 mm zijn, terwijl de totale uitloging ter plaatse van de breuk 8,7 mm bedraagt, namelijk de wanddikte van 13,1 mm min de maatgevende effectieve wanddikte van 4,4 mm. De maatgevende uitloging is dus een factor 1,5 hoger dan de uitloging bepaald met e-Pulse.
4. Op basis van sterkteberekeningen en bijbehorende veiligheidsfactoren zou in deze situatie zijn uitgegaan van een minimum benodigde effectieve wanddikte van 5 mm. Op basis van de e-Pulse metingen zou deze leiding waarschijnlijk als in goede conditie zijn beschouwd.
5. Als uitgangspunt kan gehanteerd worden dat de daadwerkelijke uitloging een factor 1,5 maal hoger is dan de gemeten gemiddelde uitloging met e-Pulse. Bij een minimaal benodigde effectieve wanddikte van 5 mm en een totale wanddikte van 14 mm, betekent dit dat een leiding die met e-Pulse wordt gemeten niet meer dan 6 mm uitloging mag hebben, of een effectieve wanddikte van 57%.
6. Als ook wordt uitgegaan van een wanddikten die kleiner zijn dan de nominale wanddikte, zoals 13,1 mm in het buisdeel waar de breuk optrad, dan mag de gemeten uitloging niet meer zijn dan 5,4 mm. Dit komt overeen met een minimaal aanvaardbare effectieve wanddikte van 61%.

Het bovenstaande laat zien dat de grote variatie van de uitlogging zoals geconstateerd bij de metingen in Leunen, impact heeft op de interpretatie van e-Pulse metingen. Globaal gezien zouden alle 100 mm leidingen met een door e-Pulse gemeten gemiddelde effectieve wanddikte van 60% als 'verdacht' moeten worden gezien. Een kanttekening hierbij is dat uit de drukproef bleek dat de leiding pas bezweek bij een druk die een factor vier hoger was dan de werkdruk. De minimaal benodigde wanddikte van 5 mm kan dan ook als zeer conservatief worden gezien.

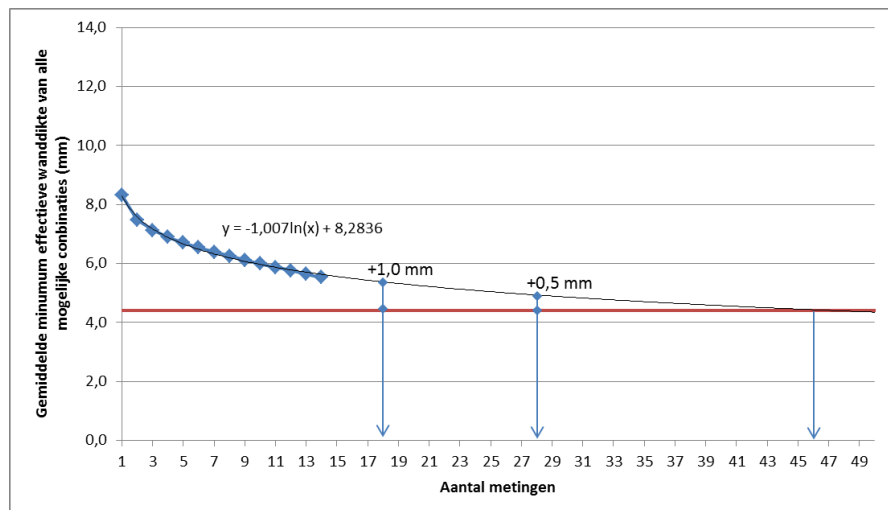
5.5 Interpretatie ten behoeve van het aantal benodigde puntmetingen

Met behulp van de meetreeks en bijbehorende variatie is te bepalen hoeveel informatie een extra meting toevoegt aan een bestaande reeks metingen en hoeveel metingen noodzakelijk zijn om de maatgevende effectieve wanddikte van 4,4 mm te detecteren. Om dit te benaderen zijn onderstaande stappen doorlopen:

1. Van de veertien breukvlakken is de minimum effectieve wanddikte bepaald.
2. In geval van één meting is er een kans van één op veertien (7%) dat de laagst gemeten waarde wordt gevonden. In de overige gevallen zal het minimum hoger zijn. Als veertien keer één meting op een breukvlak wordt uitgevoerd, is het gemiddelde meetresultaat voor de minimum effectieve wanddikte het gemiddelde van alle minimumwaarden, zijnde 8,3 mm.
3. In geval van twee metingen is er een kans van 14% dat de daadwerkelijke minimumwaarde wordt bepaald. Nu zijn er meer combinaties mogelijk, namelijk 91 (dertien combinaties met 1, twaalf met 2, elf met 3, etc). Het gemiddelde van alle mogelijke combinaties bedraagt 7,5 mm.
4. In geval van drie metingen is er een kans van 21% dat de daadwerkelijke minimumwaarde wordt bepaald. Nu zijn er nog veel meer combinaties mogelijk, namelijk 364. Het gemiddelde van alle mogelijke combinaties bedraagt 7,1 mm.
5. Dit is uit te rekenen tot veertien metingen. Bij veertien is de kans 100% dat de laagst waarde van 5,5 mm wordt gevonden.
6. De gemiddelde laagst gemeten waarde voor 1 tot en met veertien metingen is uitgezet in Figuur 5-15. Een regressielijn die de meetwaarden verbindt heeft de vorm van een natuurlijk logaritme en kan beschreven worden met de in Figuur 5-15 weergegeven functie.
7. Extrapolatie van de regressielijn laat zien dat op basis van de waargenomen variatie er 46 metingen nodig zijn om de maatgevende effectieve wanddikte (van 4,4, mm) te detecteren. Als een meetonnauwkeurigheid van 0,5 mm wordt aangenomen, zijn er 28 metingen nodig om een laagst gemeten waarde van 4,9 mm aan te treffen. In dat geval is het aan te raden de laagst gemeten waarde met 0,5 mm te verlagen. Bij een meetonnauwkeurigheid van 1,0 mm zijn er 18 metingen noodzakelijk. Bij een leidinglengte van 75 m komt dit overeen met respectievelijk één meting per 1,6 m, 2,7 m en 4,2 m.

Uitgangspunt bij deze benadering is dat de variatie van de veertien metingen representatief is voor de variatie in de gehele leiding.

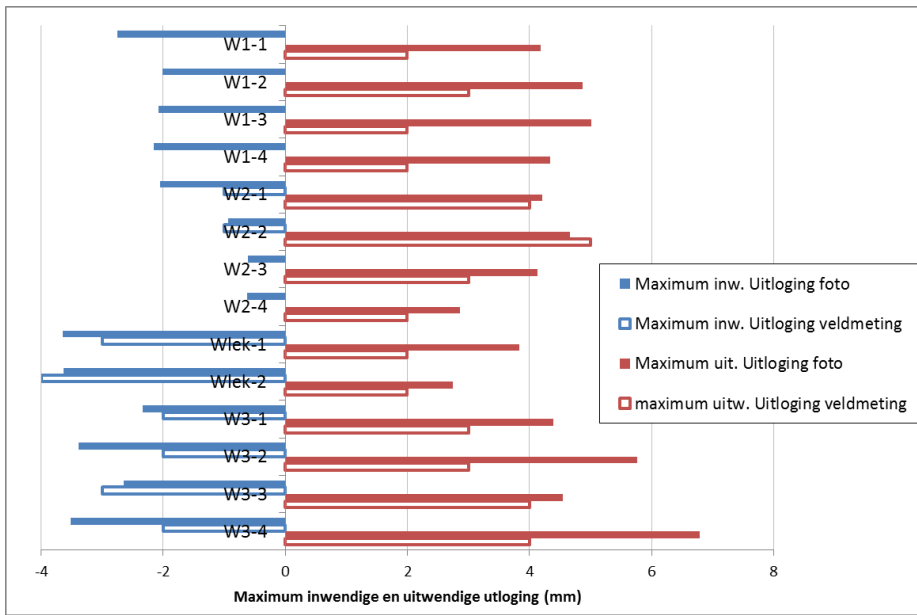
Het aantal van 46 metingen om een maatgevende effectieve wanddikte vast te stellen is in principe ook van toepassing op een grotere lengte, mits de variatie hiervan overeenkomt met die van die zoals gemeten in de beproefde leiding. Het is te verwachten dat in een leiding met een langere leiding de variatie, veroorzaakt door bijvoorbeeld verschillende aanlegperioden en bodemomstandigheden, groter is.



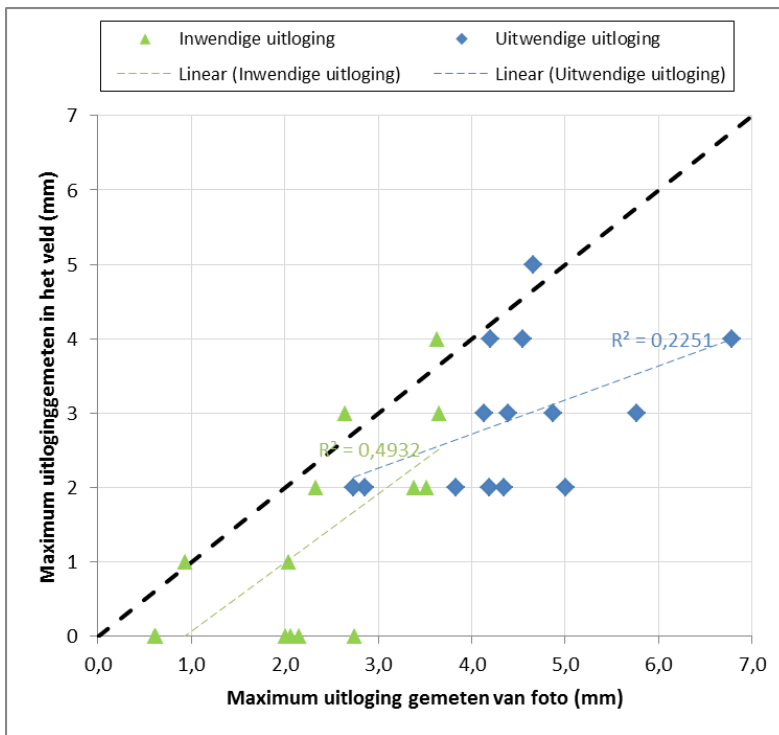
FIGUUR 5-15 GEMIDDELTE MINIMUM EFFECTIEVE WANDDIKTE VAN ALLE MOGELIJKE COMBINATIES.

5.6 Vergelijking veldmetingen en foto's

Met behulp van de foto's van de uitloging op de breukvlakken is het mogelijk om de inwendige uitloging, uitwendige uitloging en de effectieve wanddikte nauwkeurig te meten. Deze waarden zijn ook in het veld bepaald met behulp van een meetlint. Vergelijking van de foto's met deze meetwaarden in het veld geeft informatie over de nauwkeurigheid van metingen in het veld. In Figuur 5-16 en Figuur 5-17 zijn deze waarden vergeleken. Uit deze vergelijking blijkt dat er aanzienlijke verschillen zijn tussen de metingen in het veld en de metingen met behulp van foto's. Deze verschillen zijn dusdanig dat, als de metingen in Leunen representatief zijn voor de uitgevoerde thymolftaleïnemetingen bij WML, er vragen gesteld kunnen worden bij de meetnauwkeurigheid van de metingen in het veld. Ook valt op dat de waarden die zijn gemeten in het veld systematisch lager zijn dan de waarden gemeten met de foto. Het gemiddelde van alle maximum waarden voor de inwendige uitloging gemeten in het veld bedraagt 1,3 mm en gemeten met een foto bedraagt 2,3 mm. Voor de uitwendige uitloging bedragen deze waarden respectievelijk 2,9 mm en 4,5 mm.



FIGUUR 5-16 VERGELIJKING VAN DE GEMETEN INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING IN HET VELD EN MET BEHULP VAN FOTO'S. DE INWENDIGE UITLOGING IS WEERGEGEVEN MET NEGatieve WAARDEN.



FIGUUR 5-17 LINEAIR REGRESSIE VAN DE IN HET VELD GEMETEN INWENDIGE EN UITWENDIGE UITLOGING IN EN DIE MET FOTO'S.

6 De inzet van hardheidsmetingen

6.1 Inleiding

WML wil graag weten of het mogelijk is om met een hardheidshamer een bepaling te doen van de hardheid van een AC buis en of er een relatie is tussen deze gemeten waarde en de effectieve wanddikte, en daarmee de resterende sterkte. Indien een dergelijke relatie bestaat, dan zou de hardheidshamer kunnen dienen om non-destructief de toestand van AC leidingen te meten. Een hardheidshamer, ook wel Schmidthamer, terugslaghamer of betonproefhamer genoemd, is een handgereedschap dat gebruikt wordt om op niet-destructieve en eenvoudige wijze de hardheid van een materiaal te controleren. Het gereedschap bestaat uit een huls, waarin zich een veer met een lange slagpin bevinden, en een afleesmogelijkheid voor het meetresultaat. De hardheidshamer wordt vooral gebruikt om de hardheid van beton te meten.

Bij de metingen met thymolftaleïne in Leunen zijn metingen uitgevoerd met een hardheidshamer van het merk PCE Instruments (type PCE-HT 225a). WML heeft deze hamer voor deze proef aangeschaft. In Figuur 6-1 wordt getond hoe de hardheidshamer wordt ingezet bij een ontgraven leiding.

Bij het uitvoeren van de metingen spelen twee vragen een rol:

1. Is een meting uitvoerbaar en levert zij geen beschadiging op aan de AC-buis?
2. Is er een relatie tussen de meetwaarden van de hardheidshamer en de gemeten uitloging van AC?



FIGUUR 6-1 TOEPASSING VAN EEN HARDHEIDSHAMER OP EEN ONTGRAVEN AC LEIDING

6.2 Meting met een hardheidshamer

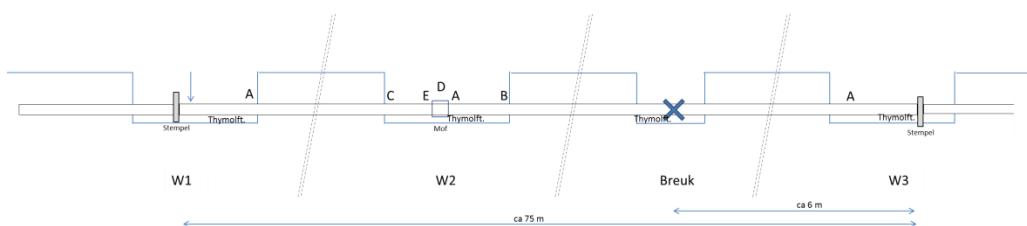
Volgens opgave van de fabrikant dienen de metingen bij voorkeur uitgevoerd te worden met de hamer in horizontale positie. Indien de hamer in verticale positie is geplaatst dienen de meetwaarden geconverteerd te worden met behulp van een door de fabrikant aangeleverde conversietabel. Om deze reden zijn de metingen uitgevoerd aan de zijkant van de buis.

Het uitvoeren van meerdere metingen op dezelfde locatie bleek te leiden tot verschillende meetresultaten. Om die reden is er voor gekozen op elke meetlocatie acht metingen uit te voeren. De metingen zijn uitgevoerd in de drie werkgaten W_1 , W_2 en W_3 . De locaties waar de

metingen zijn uitgevoerd, zijn weergegeven in Figuur 6-2. In Tabel 6-1 zijn de resultaten van metingen van zestien meetreeksen weergegeven. De eerste drie meetreeksen zijn uitgevoerd op exact dezelfde locatie op de buiswand. Omdat bij het uitvoeren van de meting de slagpen van de hamer met kracht op de buis wordt gedrukt, ontstonden hier beschadigingen aan de bitumenlaag en het onderliggende buismateriaal. Om die reden zijn de daaropvolgende meetreeksen uitgevoerd door per locatie acht metingen uit te voeren aan de zijkant van de leiding met een onderlinge afstand van 1 á 2 cm.

De metingen zijn uitgevoerd in verschillende situaties:

- voorafgaand aan de drukproef met de reguliere werkdruk van 0,5MPa;
- tijdens de drukproef met een druk van 0,8 MPa;
- na de drukproef
- nadat water uit het lek is weggevloeid en de buis leeg was.



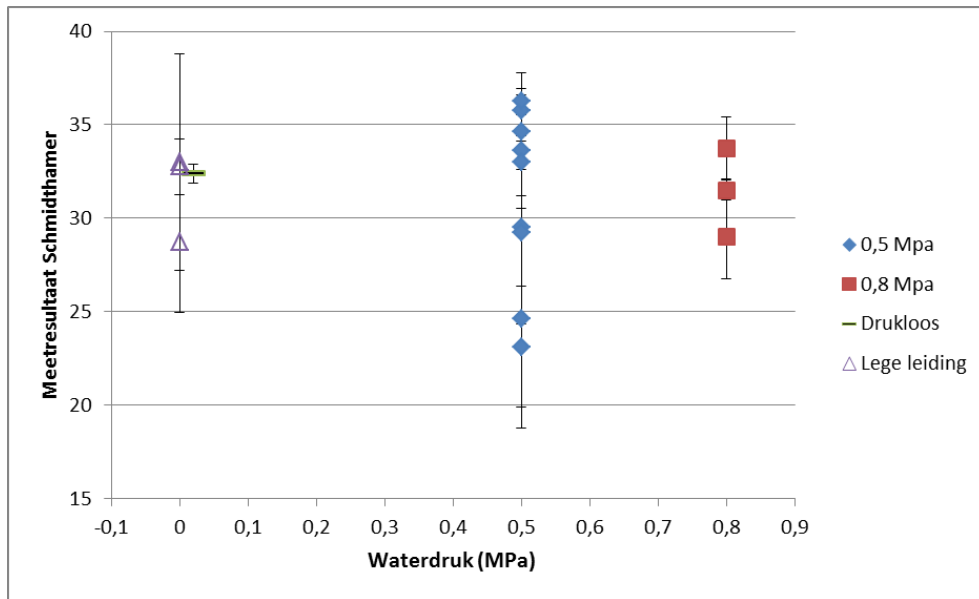
FIGUUR 6-2 LOCATIES VAN DE METINGEN MET DE HARDHEIDSHAMER, LETTERS VERWIJZEN NAAR DE MEETLOCATIES IN TABEL 6-1

TABEL 6-1 MEETWAARDEN VAN DE SCHMIDTHAMER.

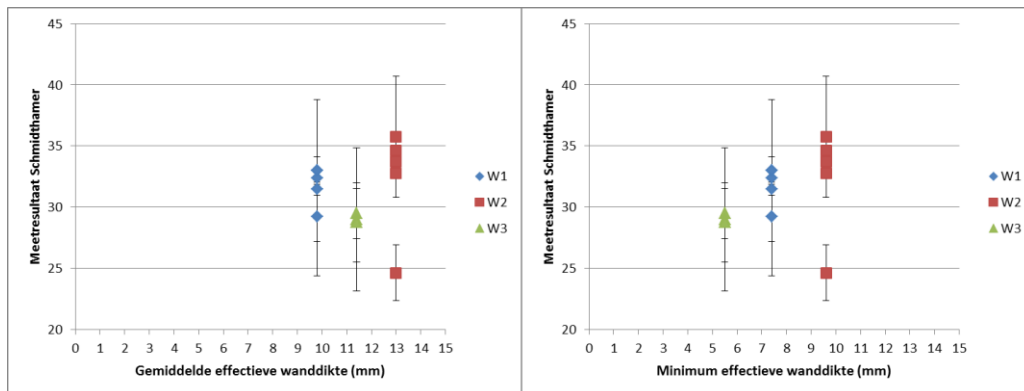
Meet-reeks	Werk-gat	Meetlocatie	druk (Mpa)	Meetwaarde hardheidshamer	gemid-delde	standaard deviatie
1	W2	A: rechts van mof, meting op 1 punt	0,5	38, 38, 34, 38, 33, 34, 35, 36	35,8	2,1
2		B: rand werkgat, meting op 1 punt	0,5	18, 22, 28, 22, 16, 31, 30, 30	24,6	5,9
3		C: rand werkgat, meting op 1 punt	0,5	28, 24, 21, 25, 24, 25, 20, 18	23,1	3,2
4		D: rechts van mof	0,5	32, 36, 38, 34, 35, 33, 36, 33	34,6	2,0
5		E: op de mof	0,5	35, 38, 34, 33, 34, 34, 30, 31	33,6	2,4
6		F: links van mof	0,5	36, 35, 36, 37, 37, 37, 36, 36	36,3	0,7
7	W3	A	0,5	30, 33, 30, 31, 37, 28, 20, 27	29,5	4,9
8	W1	A:	0,5	20, 23, 31, 32, 32, 32, 33, 31	29,3	4,9
9		A: 4 metingen op dezelfde locatie als reeks 8, nadat de bitumenlaag is weggeschraapt	0,5	33, 33, 33, 33	33,0	0,0
10		A: Gemeten onder meetreeks 8	0,8	32, 32, 32, 31, 32, 31, 31, 31	31,5	0,5
11	W2	A	0,8	31, 36, 36, 33, 33, 34, 33, 34	33,8	1,7
12	W3	A	0,8	30, 31, 27, 29, 33, 28, 28, 26	29,0	2,3
13	W1	A	0	33, 33, 32, 32, 32, 32, 32, 33	32,4	0,5
14		A: Gemeten onder meetreeks 13	leeg	38, 35, 34, 37, 37, 35, 26, 22	33,0	5,8
15	W2	A	leeg	35, 34, 33, 34, 31, 32, 32, 31	32,8	1,5
16	W3	A	leeg	25, 25, 25, 36, 30, 29, 31, 29	28,8	3,8

Onderstaande bevindingen volgen uit de meetresultaten zoals weergegeven in Tabel 6-1.

1. Binnen een meetreeks kunnen forse verschillen optreden tussen meetwaarden, zie bijvoorbeeld meetreeks 2, 7, 8 en 14. In deze reeksen bedraagt het quotiënt van de hoogste en de laagste waarde respectievelijk 1,9, 1,9, 1,7 en 1,7.
2. De eerste drie meetreeksen zijn uitgevoerd op één punt en de overige met een onderlinge afstand van 1 á 2 cm. De verschillen tussen beide groepen (uitgedrukt in de standaarddeviatie) verschilt niet noemenswaardig.
3. Hoewel meetreeks 8 en 10 op dezelfde locatie en onder elkaar zijn uitgevoerd, hebben zij verschillende resultaten, te weten respectievelijk 29,3 en 31,5. De resultaten van meetreeksen 13 en 14 die ook op dezelfde locatie zijn uitgevoerd komen meer overeen, te weten respectievelijk 32,4 en 33,0.
4. Uit de verschillen tussen meetreeks 8 en 9 zou kunnen blijken dat de aanwezigheid bitumenlaag resulteert in lagere hardheidswaarden.
5. Om na te gaan of er een relatie is tussen de meetresultaten van de hardheidshamer en de waterdruk, zijn metingen uitgevoerd bij verschillende drukken. In Figuur 6-3 zijn de meetresultaten weergegeven bij een reguliere werkdruk van 0,5 MPa, bij een verhoogde druk van 0,8 MPa, bij een met water gevulde en drukloze leiding en bij een lege leiding. Uit de in Figuur 6-3 weergegeven meetresultaten kan niet worden opgemaakt dat de waterdruk of het al dan niet gevuld zijn met water invloed heeft op de meetwaarden.
6. In Figuur 6-4 zijn de resultaten met de hardheidshamer weergegeven van de buisdelen waarvan de effectieve wanddikte is bepaald met behulp van thymolftaleïne. De meetreeksen '3', '5' en '6' zijn hier niet meegenomen, omdat op deze buisdelen geen thymolftaleïne-test is uitgevoerd. Uit Figuur 6-4 blijkt dat er geen relatie is tussen de meetwaarden met de hardheidshamer en de gemiddelde uitloging. Wordt een afwijkende meetreeks (meetreeks '2') buiten beschouwing gelaten dan lijkt er een relatie tussen de gemiddelde meetwaarde met de hardheidshamer en de minimum uitloging. De foutenbalken tonen de bandbreedte waarbij bij aanname van een normale verdeling 68% van de waarnemingen zijn te verwachten. Omdat deze bandbreedtes elkaar grotendeels overlappen, is deze relatie niet statistisch significant.



FIGUUR 6-3 MEETRESULTATEN VAN DE SCHMIDTHAMER BIJ VERSCHILLENDE WATERDRUKKEN. DE MARKERS GEVEN DE GEMIDDELDE MEETWAARDEN AAN EN DE FOUTENBALKEN DE STANDAARDEVIATIE. OM ONDSCHIED TE MAKEN TUSSEN 'DRUKLOOS' EN 'LEGE LEIDING', ZIJN DEZE CATEGORIEËN NAAST ELKAAR GEPLAATST.



FIGUUR 6-4 MEETRESULTATEN VAN DE SCHMIDTHAMER IN RELATIE TOT DE GEMETEN WANDDIKTE MET THYMOLFTALÉINE (GEINTERPRETEERD MET FOTO'S). LINKS DE RELATIE MET DE GEMIDDELDE WANDDIKTE EN RECHTS MET DE MINIMUM WANDDIKTE. DE MARKERS GEVEN DE GEMIDDELDE MEETWAARDEN AAN EN DE FOUTENBALKEN DE STANDAARDEVIATIE.

De conclusie is dat de hardheidshamer niet geschikt is als eenvoudige non-destructieve techniek voor de toestandbepaling van AC leidingen. De voornaamste reden is dat de in Leunen uitgevoerde validatie aantoont dat de meetwaarden onvoldoende voorspellend zijn voor het bepalen van de effectieve wanddikte. Tevens blijkt dat het gebruik van de hamer leidt tot aantasting van de bitumenlaag en het onderliggende AC buismateriaal.

7 Discussie over de toepassing van thymolftaleïnetesten

7.1 Inleiding

WML zal de komende jaren een groot aandeel van het huidige volume aan AC distributieleidingen saneren. Een risicoanalyse helpt beslissingen te ondersteunen over de vraag welke AC leidingen als eerste te vervangen. In de risicoanalyse speelt de huidige en de te verwachten kans op falen een rol. De kans op falen is te bepalen door met storingsanalyse leidinggroepen te onderscheiden met een hogere storingskans. Uit de storingsanalyse die is uitgevoerd op leidingen van WML door Beuken (2015) blijken distributieleidingen aangelegd voor 1960 en met een drukklasse 'WD10' en 'Onbekend' een relatief hogere storingsfrequentie te hebben. Toestandsbepalingen van leidingen geven meer inzicht in de verklarende factoren voor degradatie en daarom kunnen zij nuttige aanvullende informatie verschaffen over welke leidingen op korte termijn te vervangen. Daarnaast bieden toestandsbepalingen een onderbouwing voor het voorspellen van het aantal storingsen op langere termijn.

Degradatie van AC buisdelen vindt plaats door uitloging van kalk uit de buiswand. De toestand van AC leidingen wordt uitgedrukt in de effectieve wanddikte, zijnde de totale wanddikte met aftrek van de inwendige en uitwendige uitloging. Als de optredende wandspanning hoger is dan de toelaatbare wandspanning zal een buis bezwijken. Degradatie van AC buisdelen houdt in dat de effectieve wanddikte afneemt en daarmee de optredende wandspanningen toenemen. De vraag is of dit een voorspelbaar proces is. De voorspelbaarheid is groter naarmate er minder variatie is in de gemeten uitloging en er verklarende factoren zijn aan te wijzen waarbij meer uitloging optreedt.

Het uitvoeren van exitbeoordelingen van uitgenomen AC leidingdelen bij reparatie of sanering is een relatief goedkope methode om informatie te verkrijgen over de toestand van AC leidingen. De vraag die in voorliggend onderzoek is onderzocht is of de informatie uit deze exitbeoordelingen betrouwbaar is, zodat deze kan bijdragen aan een betere onderbouwing van saneringsbeslissingen. WML heeft 250 exitbeoordelingen uitgevoerd in de periode september 2014 tot en met juli 2016, waarbij de inwendige en uitwendige uitloging is gemeten met een thymolftaleïnetest. Tevens is de wanddikte gemeten en zijn factoren van de leiding en de omgeving geregistreerd. Om meer inzicht te krijgen in de variatie van de uitloging heeft WML in Leunen onderzoek gedaan waarbij op één leiding meerdere toestandsbepalingen zijn uitgevoerd.

7.2 Variatie van meetresultaten

Bij metingen in Leunen waarbij op één leiding veertien exitbeoordelingen zijn uitgevoerd blijkt dat variatie van de meetwaarden van de effectieve wanddikte zeer groot is, zie Hoofdstuk 5. Deze grote variatie treedt zowel op bij de inwendige als de uitwendige uitloging en is groot op de verschillende breukvlakken (in de omtrekriching van de buis), tussen verschillende breukvlakken in een buisdeel en tussen verschillende buisdelen in een leiding. Daarnaast wordt de variatie van de effectieve wanddikte beïnvloed door verschillen in de totale wanddikte. Deze grote variatie heeft tot gevolg dat het zeer onwaarschijnlijk is dat de maatgevende minimale wanddikte van de leiding met één, of een beperkt aantal, lokale beoordelingen is vast te stellen. De waarde van een meting wordt verder verminderd

door de forse meetfouten die zijn vastgesteld bij het opmeten van de inwendige en uitwendige uitloging. Op basis van deze beperkte representativiteit van lokale exitbeoordelingen en de vastgestelde meetfouten kan gesteld worden dat het met een thymolftaleïne-test niet mogelijk is een representatieve meting uit te voeren van de maatgevende effectieve wanddikte van een AC leiding.

Deze grote variatie van de effectieve wanddikte vraagt een nadere interpretatie van meetresultaten die zijn verkregen met de e-Pulsetechniek. Met deze techniek wordt een gemiddelde effectieve wanddikte bepaald van een leidingdeel tussen twee contactpunten (meestal een brandkraan of afsluiter). Omdat voor het bezwijken van een leiding die ene locatie met de minimale effectieve wanddikte maatgevend is, is het onzeker of een meting van de gemiddelde effectieve wanddikte een betrouwbare voorspelling oplevert. Een dergelijk uitspraak is pas mogelijk als er een eenduidige relatie is aangetoond tussen de met e-Pulse gemeten gemiddelde effectieve wanddikte en de optredende maatgevende wanddikte. Uit de metingen in Leunen blijkt dat voor deze leiding de maatgevende uitloging een factor 1,5 hoger is dan die die met e-Pulse gemeten zou worden.

De metingen op de leiding in Leunen hebben nog een belangrijk resultaat opgeleverd, namelijk dat ondanks dat de maatgevende effectieve wanddikte van de leiding slechts 34% bedroeg van de totale wanddikte, deze pas bezweek bij een interne waterdruk van 2,0 MPa, zijnde vier keer zo hoog als de normale druk. Dit betekent dat ondanks de grote uitloging deze leiding in staat was hoge wandspanningen op te nemen. De spanning waarbij de breuk optrad bedroeg 45,5 MPa, wat 2 maal zo hoog is als de breukspanning zoals aangegeven in oude catalogi (Eternit, 1980). In het BTO in 2017 worden op ongeveer dertig AC buisdelen druktesten uitgevoerd waarbij informatie wordt verkregen over de toelaatbare wandspanningen en de elasticiteitsmodulus. Hier zal blijken hoe representatief de toelaatbare wandspanning is van de in dit onderzoek geteste leiding.

Een kanttekening die gemaakt moet worden bij bovenstaande constatering is dat het niet zeker is of de onderzochte leiding in Leunen representatief is voor alle AC leidingen van WML. Het is namelijk opvallend dat de inwendige uitloging van vrijwel alle 250 onderzochte buisdelen groter is dan de uitwendige uitloging. Bij de buisdelen uit Leunen bleek dit juist andersom te zijn. Om die reden is het aan te bevelen deze meting nog twee of drie maal te herhalen. In 2017 vindt er in het BTO sterkteonderzoek plaats naar AC leidingdelen, waarbij waarschijnlijk meer inzicht wordt verkregen in de variatie van sterkte eigenschappen. Het lijkt logisch dit onderzoek eerst af te wachten.

7.3 Verklarende factoren voor degradatie

Van 250 exitbeoordelingen zijn de maximale inwendige en uitwendige uitloging vastgelegd, zie Hoofdstuk 2. Gezien de constatering van de metingen bij Leunen dient te worden opgemerkt dat deze waarden niet de maatgevende uitloging weergegeven maar de gemeten uitloging, waarbij aanzienlijke meetfouten mogelijk zijn. De gemiddelde inwendige uitloging van de metingen bij WML bedraagt 2,9 mm, wat overeenkomt met een gemiddelde inwendige uitlogingssnelheid van 0,06 mm/jaar. In eerder onderzoek bij WMD (2008 metingen) en Brabant Water (202 metingen) werden waarden voor de gemiddelde inwendige uitlogingssnelheid gemeten van respectievelijk 0,07 mm/jaar en 0,04 mm/jaar (Beuken et al. 2014). De gemiddelde maximum uitwendige uitloging van de metingen bij WML bedraagt 1,0 mm, wat overeenkomt met een gemiddelde uitwendige uitlogingssnelheid van 0,02 mm/jaar. Voor WMD en Brabant Water bedragen deze waarden respectievelijk 0,08 mm/jaar en 0,04 mm/jaar. Dit wil zeggen dat de gemiddelde inwendige uitloging bij WML aanzienlijk hoger is dan de uitwendige uitloging. De gemiddelde inwendige uitloging bij WML ligt tussen die van WMD en Brabant Water in. De gemiddelde uitwendige uitloging bij WML is aanzienlijk

lager dan die van WMD en Brabant Water. Bovenstaande vergelijking is valide omdat het metingen betreft met voldoende omvang en omdat mag worden aangenomen dat voor alle metingen een vergelijkbare meetfout is opgetreden.

In Hoofdstuk 2 is ook onderzocht of er verklarende factoren zijn aan te wijzen voor de inwendige en uitwendige uitloging. Dit is uitgevoerd door de inwendige en uitwendige uitloging te vergelijken van verschillende subsets. Door bij deze analyse gebruik te maken van cumulatieve frequentieverdelingen, is ook rekening gehouden met de optredende variatie binnen de subsets. Ook hier geldt dat een vergelijking plaatsvindt van puntmetingen en dat dit niet de maatgevende wanddikte hoeft te zijn van de gehele leiding. Uit deze vergelijking blijkt dat met name de periode van aanleg bepalend is voor de inwendige en uitwendige uitloging. Leidingen die zijn aangelegd tussen 1950 en 1961 hebben een significante hogere inwendige en uitwendige uitloging. Ook valt op dat de uitloging beperkt is van leidingen die zijn aangelegd na 1970. Tevens blijkt dat de inwendige en uitwendige uitloging van leidingen met de drukklasse 'Onbekend' hoger is dan die van de drukklasse 'wd10' en 'wd12'. Deze factor is echter niet geheel onafhankelijk van de leeftijd. De drukklasse 'Onbekend' komt namelijk aanzienlijk vaker voor bij oudere buisdelen. In mindere mate zijn de aanwezigheid van een zandbodem en de aanwezigheid van wortels een verklarende factor voor de uitwendige uitloging.

Bij een geografische analyse van uitloging blijkt dat er gebieden zijn waar relatief een grotere inwendige en uitwendige uitloging optreedt. Dit is op grotere schaal mogelijk op het niveau van voorzieningsgebied en op kleinere schaal op het niveau van woonkernen. Op het niveau van voorzieningsgebied is de gemiddelde inwendige uitloging het hoogst in de voorzieningsgebieden PS Ospel, PS Pey, WP Heel, PS Hunsel, PS Hanik. In Hoofdstuk 4 is nagegaan of er een relatie is te vinden tussen een negatieve historische SI van deze productiestations en de inwendige uitloging. Deze relatie blijkt op basis van de aangeleverde gegevens niet aan te tonen. Op het niveau van voorzieningsgebied is de gemiddelde uitwendige uitloging het hoogst in de voorzieningsgebieden PS Beegden, PS Breehei, PS Ospel, WP Heel en PS Hunsel.

Op het niveau van woonkernen is de gemiddelde inwendige uitloging het hoogst in Ysselsteyn (WP Heel), Nederweert (PS Ospel), Montfort (PS Pey), Weert (PS Ospel en PS Hunsel) en Vlodrop (PS Pey). De uitwendige uitloging is het hoogst in de woonkernen Ysselsteyn (WP Heel), Nederweert (PS Ospel), Weert (PS Ospel en PS Hunsel), Posterholt (PS Pey) en Oirlo (PS Breehei). Het blijkt echter dat die woonkernen met de hoogste inwendige en uitwendige uitloging vaker leidingen hebben die zijn aangelegd voor 1970. Dus ook hier blijkt dat de periode van aanleg grotendeels bepalend is. Deze constatering bevestigt de conclusies van het onderzoek bij Brabant Water (Vonk, 2015) waarin is aangetoond dat de leeftijd (en daarmee dus ook de periode van aanleg) en de locatie verklarende factoren zijn voor de inwendige en uitwendige uitloging.

7.4 Exitbeoordelingen en hoe verder

In dit speerpuntonderzoek voor WML is aangetoond dat thymolftaleinetesten geen goed meetinstrument zijn voor het vaststellen van de maatgevende effectieve wanddikte van een buisdeel of van een leiding. Het is daarom niet aan te raden om de resultaten van thymolftaleinetesten te gebruiken om de toestand van nabijgelegen leidingen te voorspellen. De vraag doet zich voor of er alternatieven zijn om toch kennis te verzamelen over de degradatie van AC leidingen die beschikbaar komen bij exitbeoordelingen. In 2015 heeft Brabant Water een proef uitgevoerd met MJ Oomen, waarbij dertien AC buisdelen met een lengte tot 0,75 m zijn uitgenomen en beproefd met georadar (Brabant Water, 2016). Voor deze meting zijn alle uitgenomen buisdelen op één locatie verzameld. Omdat met deze

opstelling de uitloging wordt bepaald op vier klokstanden en elke 3 mm, is de kans veel groter dat de maatgevende wanddikte voor het buisdeel gedetecteerd wordt. Immers, de variatie binnen het te onderzoeken proefstuk is met deze meting bekend. Nader valt te onderzoeken hoe representatief dit proefstuk is voor de gehele leiding, of voor het leidingcohort.

Brabant Water wil in 2017 deze meting uitgebreider toepassen. Deze gecentraliseerde meting van exitbeoordelingen met georadar lijkt een goede vervanging voor de huidige thymolftaleïnetesten. Met deze meetwijze wordt ook meer inzicht verkregen in de variatie van de uitloging en is ook een herhaling mogelijk van de metingen zoals uitgevoerd bij Leunen.

Dit SPO maakt voor WML duidelijk bij dat de periode van aanleg de beste verklarende factor is voor de mate van uitloging. Bij het saneren van leidingen wordt aanbevolen oudere leidingen te vervangen, met name die zijn aangelegd voor 1962 en in mindere mate die zijn aangelegd voor 1971. Deze constatering wordt bevestigd door de USTORE storingsanalyses. De storingsregistratie en de toestandsbepaling met thymolftaleïne zijn onafhankelijke benaderingen die leiden tot bovengenoemde constatering. Deze uitspraak is daarom als betrouwbaar te kenschetsen.

De focus bij een saneringsplan voor WML op oudere leidingen is te zien als een direct product van het uitvoeren van de 250 exitbeoordelingen. Om die reden is het uitvoeren van deze exitbeoordelingen zinvol geweest. Het is niet direct aan te nemen dat voor andere drinkwaterbedrijven dezelfde conclusie getrokken kan worden. Geconstateerd is dat er afwijkende uitlogingssnelheden optreden bij WMD en Brabant Water (zie paragraaf 7.3). Om die reden is het aan te bevelen een vergelijkbare analyse naar verklarende factoren uit te voeren bij andere bedrijven.

In het kader van UKNOW wordt er naar gestreefd om informatie over de kans op falen van leidingen te verkrijgen door het combineren van verschillende informatiebronnen en de bijbehorende onzekerheden expliciet maken en verkleinen. Dit onderzoek toont in dit perspectief aan wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van exitbeoordelingen met thymolftaleïnetesten. Een exitbeoordeling geeft informatie over de toestand van een specifieke uit te nemen leiding. Deze informatie kan antwoord geven op twee vragen:

1. Is de beslissing om te saneren terecht geweest?
Deze vraag kan niet beantwoord worden aangezien de betrouwbaarheid van een thymolftaleïnetest onvoldoende is.
2. Is de informatie over de toestand vertaalbaar naar andere leidingen die deel uitmaken van het zelfde cohort?
Gezien de beperkte betrouwbaarheid van de thymolftaleïnemetingen is niet mogelijk om de toestand van een specifiek buisdeel vast te stellen en deze toe te passen op vergelijkbare buisdelen. Het was op basis van een steekproef van 250 buisdelen wel mogelijk om verklarende factoren voor degradatie vast te stellen.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

In dit SPO voor WML zijn thymolftaleïnetesten op 250 buisdelen onderzocht en is in Leunen een sterktest uitgevoerd in combinatie met veertien thymolftaleïnetesten. Op basis van dit onderzoek zijn onderstaande conclusies getrokken.

1. Er is op basis van het onderzoek in Leunen gereede twijfel aan het nut van thymolftaleïnemetingen voor het vaststellen van de maatgevende effectieve wanddikte van een buisdeel of een leiding. De geconstateerde variatie, in combinatie met het feit dat met thymolftaleïne slechts een puntmeting wordt uitgevoerd, maakt dat een thymolftaleïnemeting niet representatief is voor de toestand van de leiding.
2. Hiernaast zijn er aanzienlijke onnauwkeurigheden geconstateerd bij de wijze van meten van uitloging.
3. Analyse van de inwendige en uitwendige uitloging van 250 buisdelen toont aan dat er meer inwendige en uitwendige uitloging voorkomt bij buisdelen die zijn aangelegd tussen 1950 en 1961. In mindere mate is de uitloging groter bij leidingen die zijn aangelegd tussen 1962 en 1970 en met een drukklasse 'Onbekend'. De uitwendige uitloging is beperkt groter bij buisdelen waar geen wortels worden aangetroffen en die zich bevinden in gebieden die volgens de Bodemkaart zijn gekarakteriseerd als 'Zand'.
4. In een eerder uitgevoerd BTO (Beuken et al., 2014) is aanbevolen om in het geval van het beschikbaar komen van AC leidingdelen, exitbeoordelingen middels een thymolftaleïnetest uit te voeren. Deze aanbeveling komt te vervallen. Thymolftaleïnetesten kunnen allen zinvol zijn om verklarende factoren vast te stellen voor degradatie, mits er een steekproef wordt uitgevoerd van voldoende omvang. Deze conclusie houdt tevens in dat het niet zinvol is een (landelijke) uniforme database op te zetten met resultaten van thymolftaleïnetesten. Wellicht dat de beoordeling zoals recent getest door Brabant Water (zie paragraaf 7.4) wel tot betrouwbare resultaten leidt.
5. Bij het knippen van uit te nemen buisdelen, is vastgelegd of dit goed mogelijk was en of er een knappend geluid optreedt. Het blijkt dat buisdelen met beperkte inwendige en uitwendige uitloging makkelijker te knippen zijn en vaker een knappend geluid geven. Dit kan informatie opleveren over de toestand van de leiding. Echter gezien de grote variatie van de effectieve wanddikte, is de toegevoegde waarde van deze informatie niet aan te tonen.
6. Bij de metingen in Leunen is nagegaan of een hardheidshamer kan worden ingezet als middel om de toestand van een AC buisdeel vast te stellen. Een dergelijke meting blijkt in de praktijk geen goede voorspelling op te leveren.
7. Bij een persproef die is uitgevoerd in Leunen bleek dat de inwendige waterdruk die de AC leiding kan weerstaan, vier keer hoger was dan de reguliere druk. De toelaatbare spanning is aanzienlijk hoger dan verwacht op grond van catalogi-waarden.
8. Er is geen relatie gevonden tussen de waterkwaliteit zoals gemeten in de periode 1990 – 2002 en de inwendige uitloging.
9. Er is geen correlatie gevonden tussen de meetresultaten zoals uitgevoerd in dit onderzoek en die uitgevoerd in een eerder onderzoek uit 2000.

8.2 Aanbevelingen

Op grond van dit onderzoek zijn onderstaande aanbevelingen opgesteld voor WML en voor het gehele BTO.

1. Voor WML: Neem bij saneringsbeslissingen de resultaten van dit onderzoek mee, waarbij geldt dat de hoogste uitloging optreedt bij leidingen uit de periode 1950 – 1961, en in mindere mate leidingen die zijn aangelegd tussen 1962 en 1970 en met de drukklasse 'Onbekend'.
2. Stop met het uitvoeren van thymolftaleinetesten bij exitbeoordelingen en ga na of het mogelijk is exitbeoordelingen uit te voeren met georadar, zoals nu wordt verkend door Brabant Water. Nader onderzoek is nodig naar de representativiteit van de maatgevende effectieve wanddikte van het proefstuk voor de gehele leiding en voor het leidingcohort.
3. Verkrijg meer inzicht in de sterkte van AC buisdelen (dit onderzoek vindt in 2017 plaats in BTO-verband).
4. Onderzoek de variatie van de uitloging, met als doel het beter kunnen interpreteren van e-Pulse metingen. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld het onderzoek in Leunen op verschillende locaties uit te voeren of met het onderzoek met georadar zoals genoemd onder aanbeveling 2. Het is aan te bevelen eerst het onderzoek genoemd onder aanbeveling 3 af te wachten.
5. Omdat het moeilijk blijkt de toestand van AC leidingen te voorspellen, is het aan te bevelen om in de risicoafweging de effecten van leidingbreuk sterk mee te laten wegen en in de kostenafweging de mogelijkheden tot samenwerking met andere beheerders van ondergrondse infrastructuur.

9 Literatuur

Alterra, Bodemkaart: <http://www.wur.nl/nl/show/Bodemkaart-1-50-000.htm> (geraadpleegd 8-12-2016)

Beuken, R.H.S., Vonk, E. en P.P.G. Slaats (2014): *De waarde van exitbeoordelingen op AC- en GGJ-leidingdelen*, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, BTO 2014.016.

Beuken, Ralph (2015): *Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML, Toepassing, analyse en toekomstige inzet*, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, BTO 2015.037.

Brabant Water (2016): *Evaluatie Pilot AC-test met georadar*, Interne notitie Brabant Water .

Eternit (ca 1980): *Catalogus AC buizen en appendages*, Eternit.

Mesman G. (2010): *Inventarisatie historische SI Brabant Water*, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, KWR 2010.081

Slaats, P.G.G., en G.A.M. Mesman (2003): *Conditiebepaling AC waterleidingen*, KIWA, Nieuwegein, BTO 2003.039.

Vertommen, I. en R.H.S. Beuken (2015): *Objectiveren van de storingsregistratie van USTORE*, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, BTO 2015.042.

Vonk, E. (2015): *Voorspellingsmodel conditiebepaling AC-leidingen datamining fase 2*, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, BTO 2015.008.

Ijpelaar, G.F., Lisdonk, C.A.C, van de, Anzola, J.A. en Rosenthal, L.P.M. (2000): *Conditiebepalingen asbestcement in Limburg*, Kiwa, Nieuwegein, KOA 99.214

Bijlage I Protocol metingen Leunen en verbeterpunten

Achtergrond:

WML wil meer kennis krijgen over de toestand van het AC leidingbestand. Hiervoor voert zij oa samen met KWR een SPO uit. Een onderdeel hierbinnen is het onderzoeken van de variatie van uitloging van AC om daarmee een uitspraak te kunnen doen van de representativiteit van een meting. Daarnaast wordt onderzocht of een meting met een hardheidshamer als meetinstrument toegevoegde waarde heeft.

Het voorstel van WML is om een langere leiding (ca. 50-100 m lengte) te beproeven door middel van “afpersen tot bezwijken” en op specifieke locaties toestandstesten uit te voeren. Hierbij worden de volgende aspecten onderzocht:

1. Wat is de bezwijkdruk van een specifieke AC leiding?
2. Wat is de variatie in uitloging te meten met thymolftaleïne:
 - a. over meerdere breukvlakken
 - b. binnen een buisdeel
 - c. tussen buizen
3. Is een meting met een hardheidshamer praktisch uitvoerbaar?
4. Hoe verhoudt de uitloging met thymolftaleïne zich tov een meting met een hardheidshamer
 - a. in een buis op druk
 - b. in een buis zonder water

Voor het afpersen van leidingen zijn protocollen opgesteld, zie oa DPW onderzoek uit 2006⁴. Voor een af te persen leiding is een theoretische relatie op te stellen van de druktoename en het benodigde watervolume. Om het gedrag tijdens afpersen te kunnen interpreteren dient deze berekening vooraf te zijn opgesteld.

Opzet van de proef, fasering en stappen:

Vorbereidingsfase

1. Selecteer leiding
2. Verzamel gegevens over de buis (diameter, lengte, aanlegjaar, wanddikte, afsluiters, bodem, diepte, etc)
3. Bereken de theoretische P-V relatie voor afpersen.
4. Stel meetprotocol en registratieformulier op
5. Leiding isoleren, dienstkranen afkoppelen, afsluiters dichtzetten en controleren op afsluitbaarheid

Uitvoeringsfase

6. Gereedmaken van de leiding, sluiten afsluiters, voorbereiden aanbrenging persinstallatie en druklogger.

⁴ Mesman, G. A. M. (2006). Afpersprotocol leidingen, Kiwa Water Research, Nieuwegein. KWR 06.058 (DPW).

7. Graaf twee werkgaten (1 bij 1 m) waar de hamer wordt getest met buis op druk. In geval van een koppeling, vergroot werkgat zodat 1 meter kan worden uitgegraven.
8. Hamertest: minimaal drie uitlezingen op vijf punten in een kruis (drie boven op de buis en twee ter hoogte van middelste meting aan de twee zijkanten van de buis) (maak een plaatje)
9. Afpersen van leiding tot breuk. Het afpersen geschiedt stapsgewijs, bijvoorbeeld elke 5 minuten 0,2 bar toevoegen). Hierbij permanent loggen van druk en ingebracht volume. Noteer observaties
10. Graaf een werkgat ter plaatse van breuk en registreer de aard van de breuk.
11. Mits de breuk niet wordt gevonden, sluit de leiding opnieuw aan op het net (of tankwagen) om meer water te laten lekken en zo het gat te vinden.
12. Herhaal de hamertest op de buis in de drie werkgaten, nu zonder druk (of zonder water, stel dit vast)
13. Voor uitknippen wordt met een spuitbus een lijn gespoten aan de bovenzijde van de buis. Tevens pijlen plaatsen die de stroomrichting van het water aangeven. Om de 25 cm een dwarslijn aanbrengen die de afzonderlijke proefdelen onderscheidt. Per proefdeel een nummer aanbrengen (bijv. A3: proefgat A, derde proefdeel).
14. Knip bij de drie werkgaten een deel van de buis uit, met een lengte van ca. 1 meter.
15. Knip deze delen in stukken van 25 cm lengte (overeenkomstig de dwarslijnen en de nummering)
16. Voer op 3* 5 breukvlakken thymolftaleïnemetingen uit (afhankelijk of er op het deel met de breuk ook zo veel stukken kunnen worden geknipt)
17. Thymolftaleïnetest per breukvlak:
 - a. maak een foto waarop de spuitbuslijn (bovenzijde) zichtbaar is,
 - b. Breng thymolftaleïne aan
 - c. Meet de max uitloging aan binnenzijde, geef klokstand aan
 - d. Meet de max uitloging aan buitenzijde, geef klokstand aan
 - e. Meet de uitloging aan binnenzijde en aan buitenzijde op 12 uur, 3 uur, 6 uur en 9 uur

Aan welke randvoorwaarden moet de te beproeven leiding voldoen?

- Vervangingskandidaat
- Voldoende lengte
- Goed isoleerbaar
- Aansluitleidingen af te koppelen
- Ruimte voor aanbrengen werkgaten en persapparatuur
- Representatief voor het bestand AC leidingen
- Geen reparatiestukken
- Geen eerdere storingen op verbindingen
- Mogelijkheid om gedurende twee dagen te beproeven, s' nachts open blijven (niet in druk gebied)

MOGELIJKE RISICO'S EN RESPONS

Risico	Respons
Buis bezwijkt niet bij persen	Extra druk aanbrengen, drukstoot
Na bezwijken, storing is niet te vinden	Extra watervolume leveren
Afsluiter lekt tijdens de proef	Vooraf controle, plaats blindflens
Onbegrepen gedrag tijdens afpersen	Goede theoretische perskromme opstellen, controleren leidinggegevens
Buisdelen door elkaar	Goed merken

Werkgat onder water Dienstkraan wordt afgeblazen tijdens persen Activiteiten niet realiseerbaar op dag 2 ...interpretatie uitloging lastig ...uitloging is 0 ...peperkoekbuis ...	Pompen Extra personeel voor thymolft. test Foto maken, door meer personen laten beoordelen Is het dan nog zinvol? ?
---	---

Geconstateerde verbeterpunten voor het maken van foto's van thymolftaleïnemetingen:

1. Maak een foto recht boven het hart van de buis.
2. Stel scherp door een grijs blad op de te fotograferen buisvlak te leggen (anders vindt scherpstelling plaats op de grond).
3. Fotografeer tevens de code van de meting.

Bijlage II Wanddiktebepaling

Klokstand	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	Gemiddeld
12 uur	13	13	13	13	13,0
3 uur	13	14	14	13	13,5
6 uur	14	14	14	14	14,0
9 uur	13	13	13	13	13,0
Gemiddeld	13,3	13,5	13,5	13,3	13,4

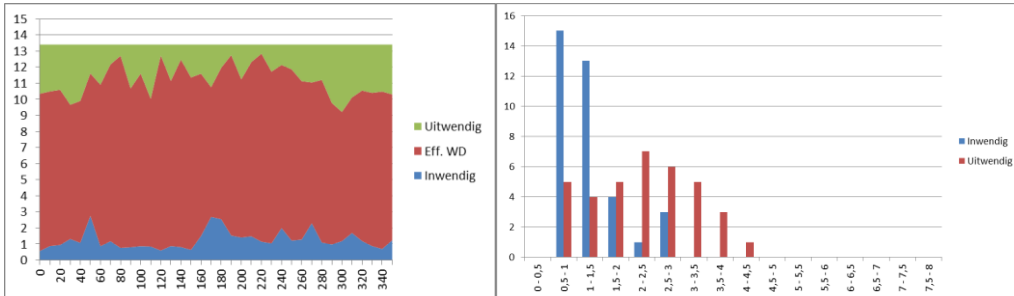
Klokstand	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	Gemiddeld
12 uur	14	14	15	15	14,5
3 uur	14	15	15	15	14,8
6 uur	14	15	15	15	14,8
9 uur	14	14	15	15	14,5
Gemiddeld	14,0	14,5	15,0	15,0	14,6

Klokstand	W3-1	W3-2	W3-3	W3-4	Gemiddeld
12 uur	15	15	14	14	14,5
3 uur	15	15	15	14	14,8
6 uur	15	15	15	14	14,8
9 uur	15	15	14	14	14,5
Gemiddeld	15,0	15,0	14,5	14,0	14,6

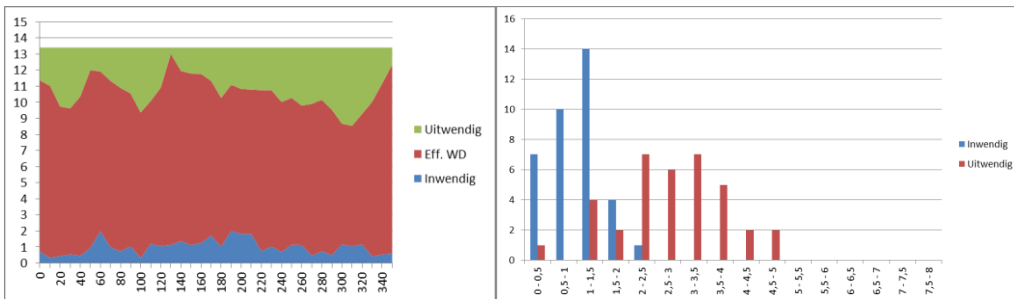
Klokstand	Wlek-1	Wlek-2			Gemiddeld
12 uur	14	13			13,5
3 uur	13	13			13,0
6 uur	13	13			13,0
9 uur	13	13			13,0
Gemiddeld	13,3	13,0			13,1

Bijlage III Meetresultaten thymolftaleinetesten Leunen

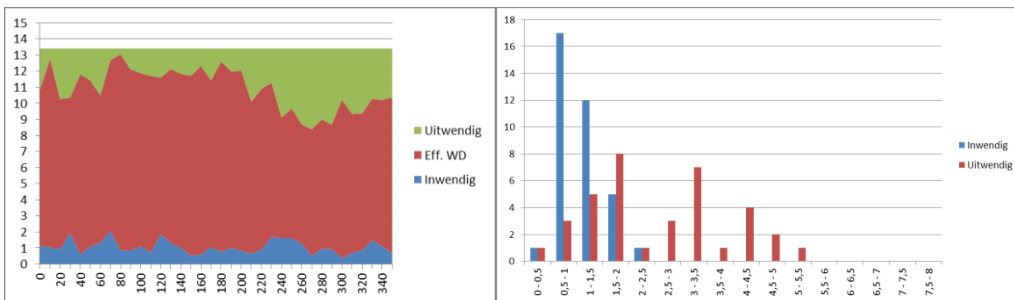
In onderstaande figuren is de gemeten inwendige en uitwendige uitloging weergegeven gemeten met thymolftaleïne van de 14 breukvlakken. In de linker figuur is de gemeten uitloging weergegeven op de omtrek van het breukvlak met tussenstappen van 10° (x-as: positie op omtrek in graden; y-as: de gemeten uitloging in mm). In de rechter figuur de frequentieverdelingen van de uitloging (x-as: de gemeten uitlogingsklasse in mm; y-as: frequentie). De gemeten wanddikte zijn van de werkgaten W_1 , W_2 , W_3 en W_{lek} zijn respectievelijk 13,4 mm, 14,6 mm, 14,6 mm en 13,1 mm.



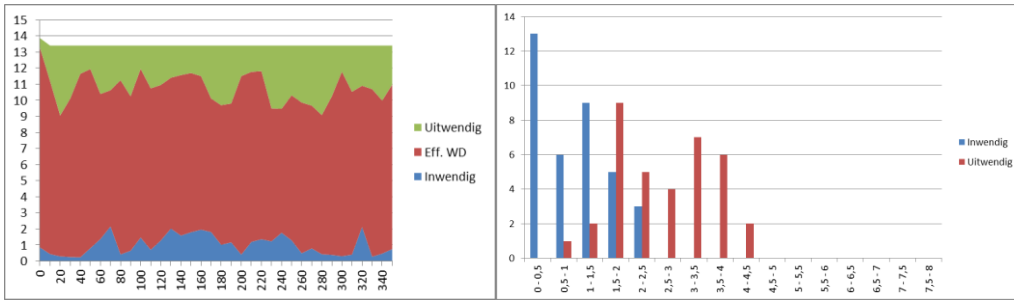
WERKGAT 1, BREUKVLAK 1



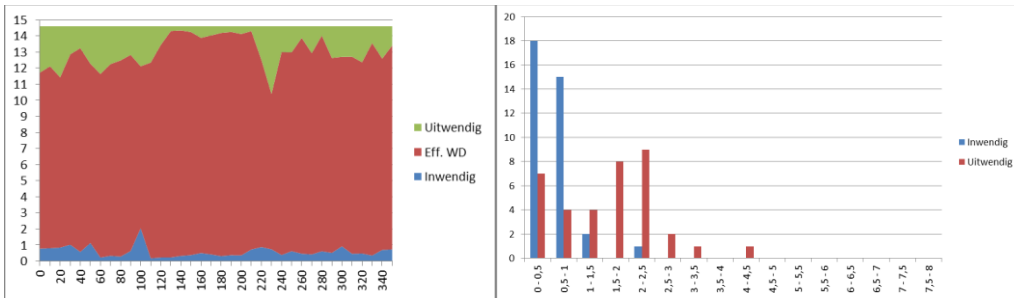
WERKGAT 1, BREUKVLAK 2



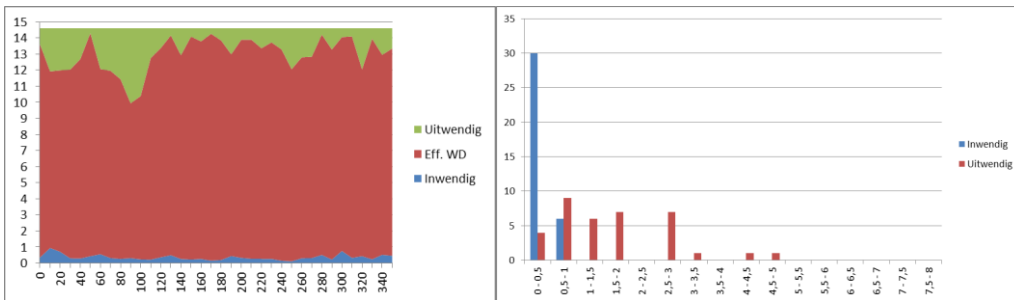
WERKGAT 1, BREUKVLAK 3



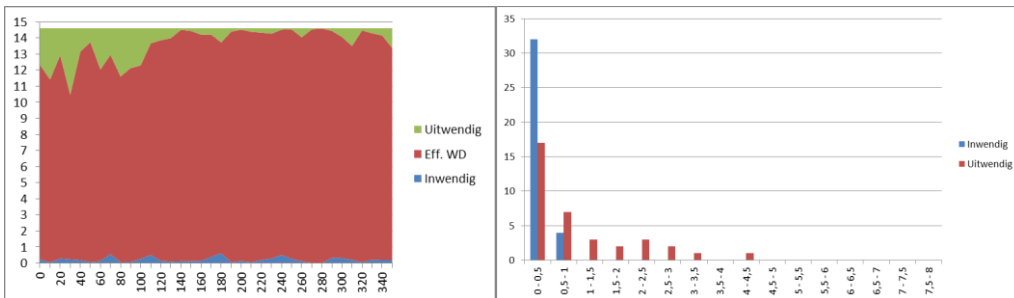
WERKGAT 1, BREUKVLAK 4



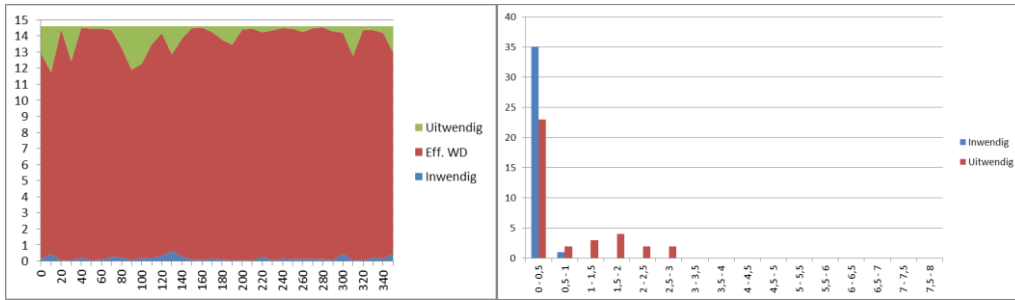
WERKGAT 2, BREUKVLAK 1



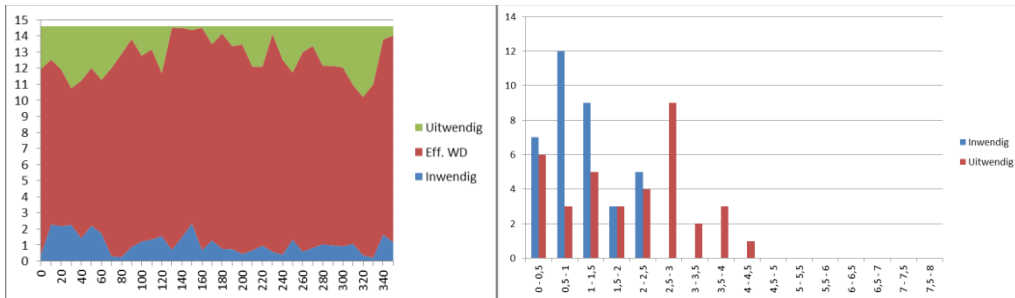
WERKGAT 2, BREUKVLAK 2



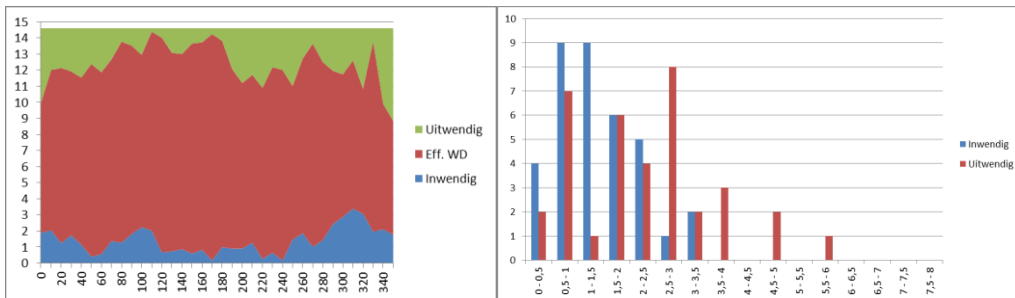
WERKGAT 2, BREUKVLAK 3



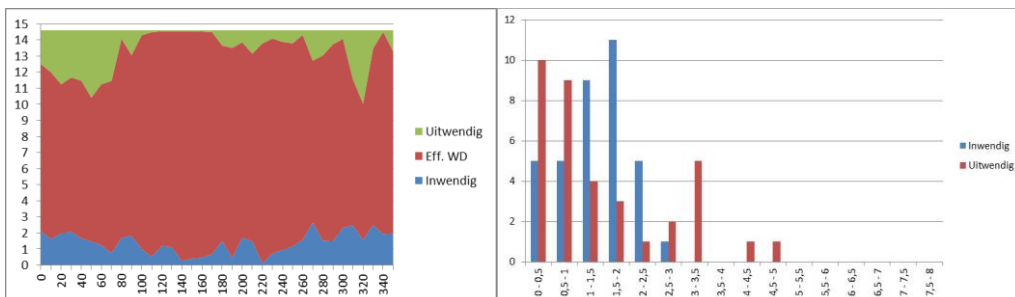
WERKGAT 2, BREUKVLAK 4



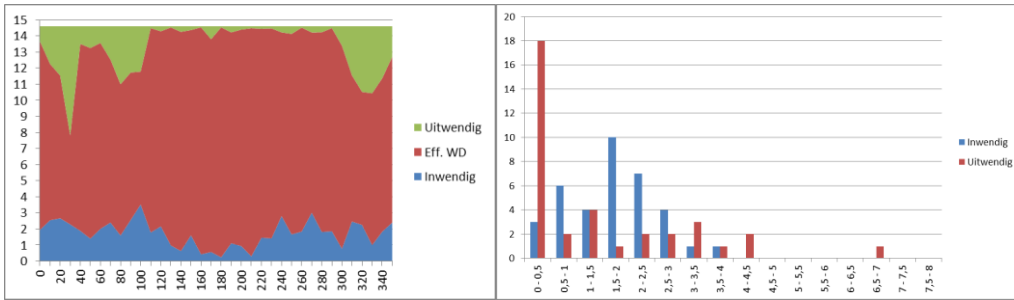
WERKGAT 3, BREUKVLAK 1



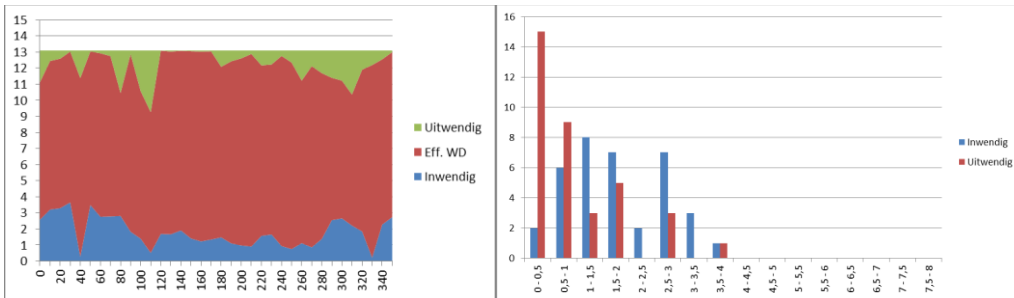
WERKGAT 3, BREUKVLAK 2



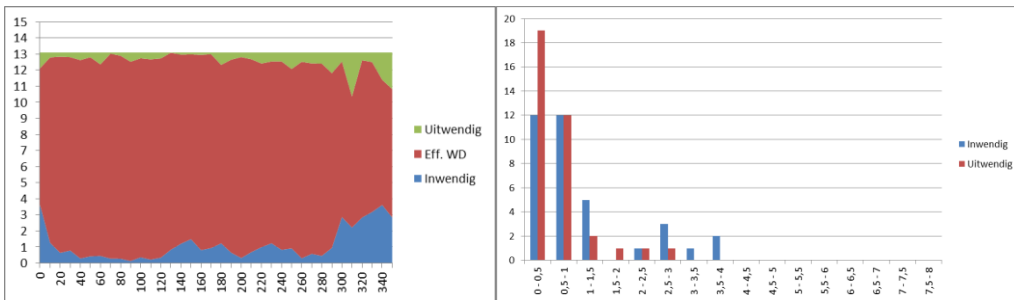
WERKGAT 3, BREUKVLAK 3



WERKGAT 3, BREUKVLAK 4



WERKGAT LEK, BREUKVLAK 1



WERKGAT LEK, BREUKVLAK 2

