

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

De duurzame materiaalkeuze voor zuurbestendige doorvoer- en toegangspotten in de vuilwaterriolering

PROMOTOR :

ir. Carlo BOLLEN

PROMOTOR :

Dhr. Marino MOONS

Kaat Notermans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

De duurzame materiaalkeuze voor zuurbestendige doorvoer- en toegangspetten in de vuilwaterriolering

PROMOTOR :

ir. Carlo BOLLEN

PROMOTOR :

Dhr. Marino MOONS

Kaat Notermans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde



KU LEUVEN

Woord vooraf

De masterproef is het laatste onderdeel van mijn opleiding tot industrieel ingenieur bouwkunde. Deze opdracht kon onmogelijk tot een goed einde gebracht worden zonder de hulp van verschillende mensen. Mijn interne promotor, ir. Carlo Bollen, hielp me met mijn talloze vragen. Door zijn deskundige feedback kreeg ik meer inzicht in het onderzoek en haalde ik de gewenste resultaten. Verder bracht mijn externe promotor, ing. Marino Moons, me in contact met verschillende fabrikanten van inspectieputten. Hij hielp me met een objectieve verwerking van de resultaten en bezorgde me de putinspecties, uitgevoerd door de firma M.J. Oomen. Vervolgens wil ik dhr. Bart Neyrinck bedanken voor de hulp bij de financiële kostenanalyse van riolerings- en wegeniswerken en dhr. Johan Nysen voor zijn input en feedback. Tot slot wil ik graag mijn dank betuigen aan de fabrikanten van inspectieputten die steeds bereid waren om mij te ontvangen en om de nodige informatie te bezorgen.

Bedankt!

Inhoud

Lijst van tabellen	1
Lijst van figuren	3
Lijst van afkortingen	5
Abstract	7
Abstract in English	9
1 Inleiding	11
1.1 Situering	11
1.2 Probleemstelling.....	11
1.3 Doelstellingen	12
2 Literatuurstudie	13
2.1 Biogene zwavelzuuraantasting van beton	13
2.2 Standaard putspecificaties	15
2.2.1 Betonnen toegangs- en verbindingspotten.....	15
2.2.2 Gres toegangs- of verbindingspotten	16
2.2.3 Kunststof toegangs- of verbindingspotten	17
2.3 Zuurbestendige inspectieputten	18
2.3.1 Betonnen inspectieputten	18
2.3.2 Keramische inspectieputten	21
2.3.3 Kunststof inspectieputten	21
2.3.4 Inspectieputten uit materialen in ontwikkeling	23
2.4 Prijs-kwaliteitanalyse	26
3 Onderzoek	37
3.1 Inspectie toegangs- en verbindingspotten	37
3.1.1 Materiaal en methode	37
3.1.2 Resultaten putinspecties	38
3.1.3 Bespreking resultaten putinspecties.....	44
3.2 Kostenanalyse inspectieputten	48
3.2.1 Methode.....	48
3.2.2 Resultaten kostenanalyse	49
3.2.3 Bespreking kostenanalyse	51
Besluit	55
Bibliografie	57
Bijlage A: Putinspectie reeks 1 – Inspectieputten in 2DWA stelsel.....	59
Bijlage B: Putinspectie reeks 2 – Inspectieputten aan uitlaat drukriolering	63

Lijst van tabellen

Tabel 1: Aansluitingen bij gresinspectieputten.....	17
Tabel 2: De zuurbestendigheid van inspectieputten.....	26
Tabel 3: De normering per inspectieput.....	30
Tabel 4: De CO2-productie per inspectieput.....	30
Tabel 5: De recycleerbaarheid van de verschillende inspectieputten.....	31
Tabel 6: De minimale en maximale temperatuur van het afvalwater in de inspectieput.	32
Tabel 7: De elasticiteitsmodulus per inspectieput.....	32
Tabel 8: De maximale nuttige hoogte van inspectieputten	33
Tabel 9: Het soortelijk gewicht van de materialen van de inspectieputten	34
Tabel 10: Vergelijking van de prijzen voor inspectieputten uit verschillende materialen	34
Tabel 11: Investeringskosten [28].....	48
Tabel 12: Kostenanalyse - totale herinrichting van wegenis en riolering na 40 jaar	49
Tabel 13: Kostenanalyse - totale herinrichting van wegenis en vuilwater riolering na 40 jaar	50
Tabel 14: Kostenanalyse - herinrichting wegenis na 40 jaar samen met een putrenovatie	50
Tabel 15: Kostenanalyse situatie 4 – zuurbestendige riolering.....	50
Tabel 16: Vervanging volledige riolering en wegenis na 30 jaar en na 60 jaar	51
Tabel 17: Vervanging vuilwaterriolering en wegenis na 30 jaar en na 60 jaar.....	51
Tabel 18: Renovatie inspectieput na 30 jaar en vervanging wegenis na 40 jaar.	51

Lijst van figuren

Figuur 1: Standaard opbouw inspectieput volgens Standaard bestek 250 [10, p. 23] ...	15
Figuur 2: Ronde betonnen inspectieput [25]	16
Figuur 3: Inspectieput uit gres met PUR-stroomprofiel [11, p. 8].....	17
Figuur 4: Inspectieput uit polypropyleen [12].....	17
Figuur 5: Betonnen inspectieput met epoxybekleding [16].....	19
Figuur 6: Vloeprofiel van een betonnen inspectieput met epoxybekleding [16]	19
Figuur 7: Opbouw betonnen inspectieput met PP-bekleding [17, p. 31]	20
Figuur 8: Stroomprofiel uit PP met zwaluwstaarten [17, p. 34].....	20
Figuur 9: Betonnen inspectieput met ingegoten stroomprofiel uit PP [17, p. 27]	20
Figuur 10: Inspectieput uit gres met PUR-stroomprofiel [11, p. 8]	21
Figuur 11: Inspectieput uit polypropyleen met diameter 1000 mm [12]	22
Figuur 12: Vloeprofiel van een inspectieput uit polypropyleen [21, p. 85]	23
Figuur 13: Basis putelement uit zwavelbeton [25]	25
Figuur 14: Dichting putonderdeel/ opzetstuk voor DN600 tot DN1000 [11, p. 14].....	29
Figuur 15: Dichting putonderdeel/ opzetstuk voor DN1200 tot DN1400 [11, p. 14].....	29
Figuur 16: Versterkingsribben van een polypropyleen inspectieput [21, p. 91]	34
Figuur 17: Putinspecties met putpanorama-systeem	37
Figuur 18: Reiniging van de inspectieput	38
Figuur 19: Inspectieput QS07675007 - geen aantasting zichtbaar	39
Figuur 20: QS19875802 – scheurvorming.....	39
Figuur 21: QS22722605 - granulaten zichtbaar	40
Figuur 22: QN39013801 - duidelijke aantasting: scheuren en granulaten zichtbaar.....	40
Figuur 23: Resultaten putinspecties	41
Figuur 24: Aantasting van inspectieputten per bouwjaar.....	41
Figuur 25: Aantasting van geïnspecteerde putten onderverdeeld volgens ligging	42
Figuur 26: QS14602101 - granulaten zichtbaar	43
Figuur 27: QS33826103 – duidelijke aantasting: scheuren zichtbaar.....	43
Figuur 28: QS33826103 – duidelijke aantasting: granulaten zichtbaar	43
Figuur 29: Percentage aangetaste inspectieputten	44
Figuur 30: Aantasting van inspectieputten i.f.v. het bouwjaar	44
Figuur 31: Typische verouderingscurve van beton [27, p. 22]	45
Figuur 32: QS05817801 - aangetaste deksel.....	46
Figuur 33: Uitlaat drukriolering naar aanliggende buis – inspectieput QS23647110.....	47
Figuur 34: Uitlaat drukriolering in inspectieput	47
Figuur 35: Net present cost - wegenwerken en rioleringswerken in synergie [prijs/m]..	52
Figuur 36: Net present cost - wegenwerken en rioleringswerken vervroegd aangetast [prijs/m]	53

Lijst van afkortingen

Term	Definitie
2DWA	2DWA verwijst naar de riolering van droogweerafvoer. 2DWA staat voor het ontwerpdebiet van een vuilwaterriolering dat gebaseerd is op tweemaal het DWA-dagvolume gespreid over veertien uur.
$3\text{CaSO}_4 \cdot \text{C}_3\text{A} \cdot 31\text{H}_2\text{O}$	Ettringiet
aq	Opgelost in water
AW	Actuele waarde
C_3A	Tricalciumaluminaat
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Gips/ calciumsulfaatdihydraat
CE	Conformité Européenne
CO_2	Koolstofdioxide
COPRO	Onpartijdige Instelling voor de Controle van de Bouwproducten
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWA	Droogweerafvoer
EPDM	Ethyleen-Propyleen-Dieën Methyleen
EW	Eindwaarde
g	Gasvormig
H_2S	Diwaterstofsulfide
H_2SO_4	Zwavelzuur
IKOBKB	Instelling die kwaliteit van bouwmaterialen en bouwprojecten garandeert
INISMA	Institut Interuniversitaire des Silicates, sols et Matériaux
KOMO	Keurmerk voor producten en bouwprocessen
MFPA	Keuringsorganisme voor dichtingen
N	Newton
NAK	Netto actuele kost
NAW	Netto actuele waarde
NBN	Normalisation Belge/ Belgische Normalisatie
NFPA	National Fire Protection Association
NPC	Net present cost
NPV	Net present value
Pa	Pascal
pH	Zuurtegraad
PP	Polypropyleen
PTV	Technisch voorschrift
PUR	Polyurethaan
RWA	Regenweerafvoer
S	Zwavel
Φ	Diameter

Abstract

Droogweerafvoer bevat geconcentreerd afvalwater en kan biogene zwavelzuuraantasting van beton veroorzaken. Infrac plaatst daarom rioleringsbuizen in het keramisch materiaal gres. De inspectieputten worden wel nog vervaardigd uit beton. Betonnen inspectieputten die gelegen zijn in een 2DWA stelsel of aan de uitlaat van drukriolering halen hun vooropgestelde levensduur van 80 jaar niet. Putinspecties toonden aan dat na een gemiddelde levensduur van dertien jaar, reeds 59% van de inspectieputten gelegen in een 2DWA stelsel een aantasting vertoont. Volgens de gemiddelde verouderingscurve van beton zouden deze putten na 40 jaar aan vervanging toe zijn. Toegangspoten aan de uitloop van een drukriolering geven blijk van een verder gevorderde aantasting. Het percentage aangetaste putten is in dit geval 92%. Deze putten zullen slechts ongeveer twintig jaar oud worden. Niet-zuurbestendige inspectieputten zijn niet langer een verstandige keuze, aangezien de markt van rioolputten intussen kwaliteitsvolle alternatieven biedt. Ook op financieel vlak is het voordeliger om zuurbestendige inspectieputten te plaatsen. Verder toont een kostenanalyse dat de keuze om vijftien jaar geleden betonnen inspectieputten te plaatsen niet per se onverstandig is. Een tijdige en kwalitatieve putrenovatie is immers een financieel evenwaardig alternatief in vergelijking met de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput. Het is echter wel belangrijk dat de technologie van deze inspectieputten en de putrenovaties zich blijft verbeteren.

Abstract in English

The waste water sewer system contains a big concentration of sulfur compounds, which can cause biogenic sulfuric acid corrosion. To avoid the attack of concrete Infrac places vitrified clay sewer pipes. The manholes are however still manufactured from concrete. Concrete manholes in waste water sewer systems or at the end of pressure mains will not reach the predetermined age of 80 years. The inspection of manholes demonstrates that after an average lifespan of thirteen years, 59% of the inspected manholes in waste water sewer systems shows considerable damage. According to the average aging rate of concrete, these manholes must be replaced after circa 40 years. The percentage of damaged manholes at the end of pressure mains amounts 92%. These manholes will only achieve a lifespan of circa twenty years. Concrete manholes are no longer an intelligent choice because the market of the acid proof manholes now offers high-quality alternatives. Also, it is financially more advantageous to place acid proof manholes. Furthermore, the cost-sensitivity analysis shows that the choice to place concrete manholes fifteen years ago was not necessarily unwise. A timely and qualitative renovation of the manhole is a financially equal alternative. However, it is still important to improve the renovation technology.

1 Inleiding

1.1 Situering

Infrac is een bedrijf in Vlaanderen dat zich toespitst op de verdeling van elektriciteit, aardgas, warmtenetten en kabeltelevisie en kan zich het grootste netbedrijf voor riolering in Vlaanderen noemen. Naast de uitvoerende tak van Infrac, telt dit bedrijf ook heel wat onderzoekscentra zodat het steeds kwalitatieve en innovatieve oplossingen kan bieden. Deze masterproef wordt opgesteld in opdracht van Infrac onder leiding van het kenniscentrum van riolering [1].

Volgens de gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratie-, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afval- en hemelwater moet het regenwater en afvalwater gescheiden worden voor nieuwbouw en grondige renovatie. Deze woningen met gescheiden regen- en afvalwater moeten ook kunnen aansluiten op de gescheiden riolering [2]. Infrac zet daarom in op een nieuw of gedeeltelijk gerenoveerd rioleringsstelsel. De droogweerafvoer wordt apart behandeld en het regenwater infiltreert ter plaatse, wordt afgevoerd via grachten of wordt naar een waterloop gebracht. Infrac koos om de hemelwaterriolering uit beton te vervaardigen en de vuilwaterriolering uit gres. De inspectieputten voor beide stelsels werden echter in prefabbeton uitgevoerd. Deze beslissing werd genomen, ondanks de kennis dat biogene zwavelzuuraantasting, die voorkomt in de vuilwaterriolering, geen gres maar wel beton aantast. Aangezien de wanddikte van inspectieputten dikker is dan die van buizen omwille van stabiliteitsredenen, werd aangenomen dat de inspectieputten toch nog hun opgelegde levensduur zouden halen. Daarnaast was de technologie om zuurbestendige putten te vervaardigen op het tijdstip van deze keuze nog niet ver genoeg gevorderd.

Op dit ogenblik zijn meer en meer rioolstelsels gescheiden. De concentratie van het afvalwater neemt dus toe door het afkoppelen van het regenwater. Daarnaast verhogen de verblijftijden in de vuilwaterriolering. Hierdoor stijgt de kans op biogene zwavelzuuraantasting. Deze masterproef bestudeert de biogene zwavelzuuraantasting in betonnen inspectieputten en voert onderzoek naar inspectieputten uit zuurbestendige en innoverende materialen.

1.2 Probleemstelling

Biogene zwavelzuuraantasting van beton is een veel voorkomend probleem in vuilwaterriolering. Tijdens deze aantasting reageren de aanwezige zwavelverbindingen in het afvalwater onder anaerobe omstandigheden tot sulfiden, die op hun beurt aan de wand van de buis omgezet worden naar zwavelzuur. Hierdoor lost het calcium in het cement op en wordt gips en ettringiet gevormd. Deze reactie zorgt voor een volumetoename, de granulaten komen dan bloot te liggen en de wanddikte van de put neemt af. Ook bij scheuren in de betonnen wand kan de aantasting een grote impact hebben [3], [4], [5]. De oplossing voor deze aantasting werd gevonden door gresbuizen te gebruiken in de vuilwaterriolering in plaats van betonnen. De inspectieputten worden echter wel nog uitgevoerd in beton. Toen deze beslissing genomen werd door Infrac leek het voldoende om de Benor gekeurde putten uit zelfverdichtend beton te behouden, aangezien de gladde wand voor verminderde aantasting zou zorgen. Na dertien jaar wordt deze beslissing in vraag gesteld. Hoe groot is de kans dat betonnen inspectieputten niet voldoen aan de voorgeschreven levensduur van 80 jaar? De biogene zwavelzuuraantasting komt vooral voor aan de uitlaat van de drukriolering maar in deze masterproef wordt niet alleen deze

situatie nagegaan. Ook de kans en de impact van de aantasting op de levensduur van inspectieputten in gravitaire, perfect gescheiden stelsels worden gecontroleerd. Naast het onderzoek naar de invloed en de frequentie van de biogene zwavelzuuraantasting bij bestaande putten, zullen ook alternatieve, zuurbestendige inspectieputten op vlak van prijs en kwaliteit vergeleken worden. Dit kan leiden tot een voorstel van materiaalkeuze en/of ontwerpregels voor inspectieputten in vuilwaterriolering.

In deze masterproef wordt volgende onderzoeksvraag bestudeerd:

'Wat is de beste materiaalkeuze voor doorvoer- en toegangspoten in de vuilwaterriolering, zodat deze zuurbestendig zijn?'

Deelvragen die hierbij gesteld worden, zijn:

'Bereiken betonnen inspectieputten in een vuilwaterriolering hun vooropgestelde levensduur van 80 jaar en in welke gevallen is twijfel mogelijk?'

'Welke mogelijkheden bestaan voor het oplossen van de biogene zwavelzuuraantasting in betonnen inspectieputten?'

1.3 Doelstellingen

De doelstellingen voor deze masterproef zijn:

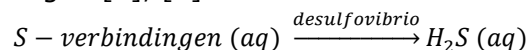
- 94 inspectieputten testen en beoordelen op biogene zwavelzuuraantasting met een 3D camera door het bedrijf M.J. Oomen [6].
- Indien er biogene zwavelzuuraantasting aangetroffen wordt, de inspectieresultaten linken aan de omstandigheden, ouderdom en ligging van de inspectieputten
- De verschillende opties voor zuurbestendige putten onderzoeken in gres, beton en kunststof op:
 - structurele eigenschappen,
 - prijs,
 - materiaaleigenschappen,
 - duurzaamheid,
 - inschatting van de levensduur.
- Prijs-kwaliteit vergelijken van de verschillende, nieuw ontwikkelde zuurbestendige putten.
- Inschatten in hoeverre de technologische ontwikkeling gevorderd is om meer duurzame materiaalkeuzes te kunnen maken.
- Eventuele aanbevelingen doen naar de sector waar ze in hun verdere technologische ontwikkeling de focus op moeten leggen.

2 Literatuurstudie

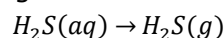
2.1 Biogene zwavelzuuraantasting van beton

Biogene zwavelzuuraantasting is een aantasting door zwavelzuur dat gevormd wordt door de biogene anaerobe omzetting van zwavelverbindingen. De aantasting door het biogene zwavelzuur doet zich voor in cementgebonden rioleringsbuizen en betonnen inspectieputten. Er kunnen twee soorten probleemzones onderscheiden worden. Enerzijds komt de biogene zwavelzuuraantasting voor aan de uitmonding van een drukriolering. Het afvalwater dat via persleidingen wordt vervoerd, heeft een zeer lange verblijftijd, vanaf de pompput tot aan de uitmonding in de inspectieput. Tijdens deze periode bevindt het water zich in anaerobe toestand. Zo kunnen anaerobe bacteriën de zwavelverbindingen zonder problemen omzetten tot diwaterstofsulfide. Indien dit water met een hoge concentratie H_2S in de inspectieput komt en terug in contact komt met zuurstof zal H_2S omgezet worden tot zwavelzuur, met mogelijke aantasting tot gevolg. Anderzijds wordt biogene zwavelzuuraantasting waargenomen in inspectieputten waar 2DWA leidingen op toekomen. De omstandigheden in deze leidingen zijn volledig anders dan in drukrioleringen aangezien hier constant zuurstof aanwezig is en het afvalwater niet stilstaat. De anaerobe vorming van H_2S gebeurt hier voornamelijk in de sliblaag die blijft liggen op de bodem van de buis. De hoge concentratie zwavelverbindingen en de trage stroming zijn medeverantwoordelijk voor deze omzetting. Aangezien in de buizen constant zuurstof aanwezig is, zal H_2S eenvoudig omgezet kunnen worden naar zwavelzuur met aantasting van zowel de buizen als de inspectieputten tot gevolg. Door de keuze om de buizen uit te voeren in gres, kunnen deze niet meer aangetast worden maar verplaatst de volledige concentratie zwavelzuur zich naar de betonnen inspectieputten.

Het proces van biogene zwavelzuuraantasting start met de aanwezige zwavelverbindingen in het rioolwater die in anaerobe omstandigheden omgezet worden naar sulfiden door sulfaat reducerende bacteriën, *desulfovibrio*. De anaerobe condities treden voornamelijk op ten gevolge van de lange verblijftijden van het rioolwater in de persleidingen of in de sliblaag van de 2DWA leidingen [5], [7].



De aanwezigheid van H_2S veroorzaakt een pH-verlaging. Bij turbulentie in het rioolwater gebeurt ontgassing. Dit kan ernstige geurhinder veroorzaken.



Onder invloed van aerobe bacteriën die zich op de vochtige buiswand bevinden, kan diwaterstofsulfidegas geoxideerd worden tot het agressieve zwavelzuur. Volgende reacties kunnen optreden.

$2 * \left(H_2S \xrightarrow{\text{oxidatie}} S + 2e^- + 2H^+ \right)$ $1 * \left(O_2 + 4e^- + 4H^+ \xrightarrow{\text{reductie}} 2H_2O \right)$ <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> $2H_2S + O_2 \rightarrow 2S + 2H_2O$ $\text{elementaire } S \xrightarrow{\text{Thiobacilli}} H_2SO_4$ <p>[5], [7]</p>	$1 * \left(H_2S + 4H_2O \xrightarrow{\text{oxidatie}} H_2SO_4 + 8e^- + 8H^+ \right)$ $2 * \left(O_2 + 4e^- + 4H^+ \xrightarrow{\text{reductie}} 2H_2O \right)$ <hr style="width: 80%; margin: 5px auto;"/> $H_2S + 2O_2 \xrightarrow{\text{aerobe bacteriën}} H_2SO_4$ <p>[8]</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tot slot begint de aantasting van de betonnen rioolwand of de wand van de inspectieput door het zwavelzuur. Het ontstane zwavelzuur reageert met calciumhydroxide in het cement tot calciumsulfaatdihydraat, beter bekend als gips.



De aanwezigheid van gips zorgt voor een volumetoename met een factor 1,2 tot 2,2. Toch blijkt de reactie van gips met tricalciumaluminaat aanwezig in cement tot ettringiet in dit corrosieproces meer doorslaggevend.



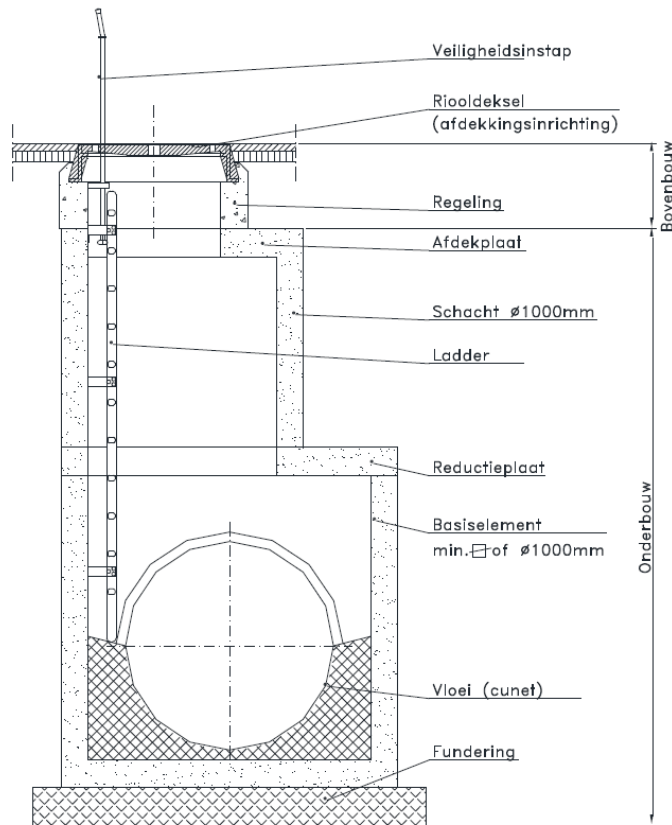
Door de aanwezigheid van het groot aantal watermoleculen is ettringiet volumineuzer dan de initiële verbindingen. Deze volumetoename zorgt voor trekkrachten die op hun beurt de barsten in het beton veroorzaken [5], [9].

De vorming van zwavelzuur zorgt dus voor een sterke vermindering van de levensduur van de inspectieput. De mate van aantasting wordt bepaald door de lengte van de verblijftijd in een drukriolering. Indien de verblijftijd van het vuile water langer dan tien uur is, dienen er constructieve oplossingen uitgevoerd te worden aan het uiteinde van de persleiding, zoals het gebruik van corrosievast materiaal.

Op dit moment worden de rioleringsbuizen voor 2DWA leidingen vervaardigd in het keramische materiaal gres, de inspectieputten echter in beton. De aantasting van de buizen wordt dus vermeden door het gebruik van dit inert materiaal. Voor de inspectieputten is in bepaalde omstandigheden een oplossing noodzakelijk.

2.2 Standaard putspecificaties

Rioleringsonderdelen worden steeds door Infracx voorgeschreven volgens de specificaties van het Standaard bestek 250¹ en met Benor keurmerk². Deze specificaties kunnen onderverdeeld worden volgens materiaal. Een inspectieput wordt standaard opgebouwd zoals in Figuur 1.



Figuur 1: Standaard opbouw inspectieput volgens Standaard bestek 250 [10, p. 23]

2.2.1 Betonnen toegangs- en verbindingsputten

Betonnen toegangs- en verbindingsputten worden in het Standaard bestek 250 steeds als mantoegankelijk voorgeschreven. Dit betekent dat de opening van het mangat minstens 700 mm moet zijn en dat de put een binnendiameter van minstens 1000 mm moet hebben. Deze putten worden de grote toegangspotten genoemd. De maximale binnendiameter van een grote toegangspot is 1250 mm, grotere diameters zijn ook mogelijk maar vallen niet binnen de categorie van toegangs- en verbindingsputten. Toch kan ook de maatvoering van putten met een diameter 800 mm gebruikt worden, deze putten kunnen mantoegankelijk gemaakt worden maar worden meestal enkel gebruikt voor inspectie en schoonmaak en krijgen de naam 'kleine toegangspotten'. Inspectieputten met een diameter tussen 600 mm en 800mm zijn verbindingsputten en niet mantoegankelijk.

¹ Het Standaard bestek 250 is het basisdocument voor het opstellen van bestekken en bij de uitvoering van wegenwerken voor zowel ingenieurs, werftoezichters als controleurs [11].

² Indien een product een Benor label heeft, wil dit zeggen dat het voldoet aan een kwaliteitsreferentiekader opgesteld en goedgekeurd door alle betrokken partijen en het bureau van normalisatie [33].

Verder moeten alle betonnen inspectieputten steeds voldoen aan verkeersklasse één, indien ze in de rijweg geplaatst worden.

Vooraleer de betonnen inspectieputten gebruikt worden op de werf, dient er voorafgaand een externe keuring van de put uitgevoerd te worden. De put mag ook gebruikt worden indien hij 28 dagen heeft uitgehard bij de leverancier, zonder externe keuring.

De regeling van de inspectieput tussen de dekplaat en de afdekkingsinrichting wordt uitgevoerd uit ter plaatse gestort beton met pasringen als verloren bekisting of uit een prefab constructie met draadstangen. De hoogte van de regeling moet steeds kleiner of gelijk aan 400 mm zijn.

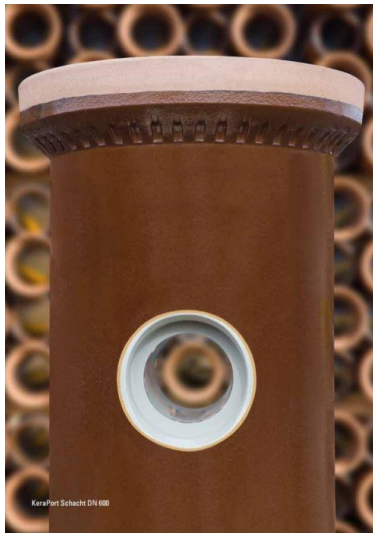
Tot slot dient het stroomprofiel glad en vloeiend uitgevoerd te worden zodat er geen verstoppingen kunnen plaatsvinden. Alle hoeken moeten afgerond worden en de minimale bochtstraal bedraagt 150 mm [10].



Figuur 2: Ronde betonnen inspectieput [25]

2.2.2 Gres toegangs- of verbindingsputten

Toegangsputten uit gres hebben een diameter tussen 800 mm en 1000 mm met een minimale opening van het mangat van 700 mm. De verbindingsputten moeten een minimale diameter van 600 mm hebben. Het stroomprofiel wordt standaard uitgevoerd uit een gladde gresschaal of uit een gladde en vloeiende polyurethaanschaal. Ook hier hebben de bochten een minimale straal van 150 mm. De bermen van de gres inspectieput kunnen uitgevoerd worden uit epoxybekleding of polyurethaan. De kruindruksterkte van een inspectieput uitgevoerd in gres moet minstens 60 kN/m bedragen, dit komt overeen met sterkteklasse L. Afdichtingen tussen gres delen worden steeds uitgevoerd met een epoxylijm. Verder wordt de onderkant van de inspectieput opgevuld met gewapend beton. De afdekplaat van de doorvoer- of toegangsput wordt ook uitgevoerd met gewapend beton, deze plaat kan wel bekleed worden met een epoxycoating of PUR-bekleding. De afdekplaat moet beschikken over een roestvrijstaal verankeringsysteem en is steeds waterdicht uitgevoerd. De regeling tussen de afdekplaat en de afdekkingsinrichting wordt uitgevoerd in ter plaatse gestort beton met behulp van pasringen of in een prefabconstructie met draadstangen. De maximale hoogte van deze regeling bedraagt 400 mm. Tot slot kunnen er aansluitingen gemaakt worden voor verschillende diameters, zoals weergegeven in Tabel 1 [10].



Figuur 3: Inspectieput uit gres met PUR-stroomprofiel [11, p. 8]

Tabel 1: Aansluitingen bij gresinspectieputten

Putdiameter	Stroomprofiel	
	Gresschaal	PU
DN 600	DN 100-400	DN 100-500
DN 800	DN 100-600	DN 100-400
DN 1000	DN 100-800	DN 100-500

2.2.3 Kunststof toegangs- of verbindingsputten

- Polyethyleen of polypropyleen

Inspectieputten vervaardigd uit polyethyleen of polypropyleen moeten volgens het Standaard bestek 250 steeds een diameter groter dan 800 mm hebben om mantoegankelijk te zijn. Er bestaan inspectieputten met een diameter van 250 mm tot 400 mm, deze putten worden vervaardigd volgens NBN EN 13598-1. Putten met een diameter groter dan 400 mm en kleiner dan 1200 mm zijn opgebouwd volgens NBN EN 13598-2 [10].



Figuur 4: Inspectieput uit polypropyleen [12]

2.3 Zuurbestendige inspectieputten

Het afgelopen jaar werden verschillende inspectieputfabrikanten gecontacteerd om nieuwe ideeën voor zuurbestendige inspectieputten te lanceren of te bedenken. De mogelijke oplossingen voor de biogene zwavelzuuraantasting van inspectieputten worden hieronder uitgebreid gesproken. Deze moeten telkens voldoen aan de normen voor inspectieputten:

- Waterdichtheid tot 100 kPa
- Levensduur 80 jaar
- Sterkte-eis volgens Belgische norm of PTV (keurmerk Benor, Copro of gelijkwaardig)
- Verkeersbestendigheid (klasse één)

2.3.1 Betonnen inspectieputten

- Betonnen inspectieput

Prefab betonnen inspectieputten worden gefabriceerd door het gieten van beton in een mal, waarin de uitsparingen voor de aansluitingen worden gemaakt en het stroomprofiel wordt gevormd. Vervolgens hardt de put uit in de mal en wordt ontkist na het bereiken van de gewenste sterkte.

Een inspectieput kan cilinder- of balkvormig uitgevoerd worden. De vorm heeft echter geen sterke invloed op de sterkte van de put indien deze vervaardigd is uit beton. Vroeger werden inspectieputten uitgevoerd uit metselwerk. Voor dit soort putten is de ronde vorm wel een eis voor de sterkte van de put. Wel heeft de vorm invloed op het krachtenverloop van de inspectieput. Een put met een ronde vorm wordt enkel belast op druk, terwijl een vierkante put ook trekkrachten moet opnemen.

De standaard inspectieputten die op dit moment geplaatst worden in een vuilwaterrioleringsstelsel zijn betonnen inspectieputten zonder bekleding op de schacht. Beton zonder bekleding is echter niet bestand tegen biogene zwavelzuuraantasting en zal dus op termijn aangetast worden, zoals beschreven in sectie 2.1. Een mogelijke oplossing om toch de betonnen inspectieput te blijven gebruiken is het verdikken van de schachtwand. Hiervoor zou dan een schatting gemaakt moeten worden over de graad van vervuiling van het water, het lozingsgedrag en de concentratie van het vuilwater, om op basis hiervan de wanddikte te bepalen. Deze factoren schommelen echter sterk door de jaren heen, zijn afhankelijk van de plaats van de inspectieput en van de luchtdrukschommelingen die zorgen voor de verplaatsing van H₂S.

Op dit moment worden alle betonnen inspectieputten vervaardigd uit zelfverdichtend beton. Dit soort beton is beter bestand tegen biogene zwavelzuuraantasting dan aardvochtig beton, maar heeft als nadeel dat het sneller scheurt. De degradatie van de put zal echter nog steeds een grote invloed op de sterkte van het beton uitoefenen. Daarom is het bij gebruik van beton zonder beschermlaag nodig om na enkele jaren een putrenovatie uit te voeren. Deze renovatie kost tussen € 1500 en € 4000 en is dus een zeer dure oplossing voor het resistent maken van inspectieputten voor biogene zwavelzuuraantasting [13], [14], [15].

- Epoxybekleding

Indien ervoor gekozen wordt om toch betonnen inspectieputten te blijven gebruiken, kan een vezel versterkte epoxybekleding zorgen voor een zuurbestendige laag. Hierbij wordt het beton bekleed met een epoxyhars. De hars wordt op de put gespoten. Het eindresultaat

is dus een betonnen inspectieput met een coating. Deze techniek is reeds genormeerd [13].



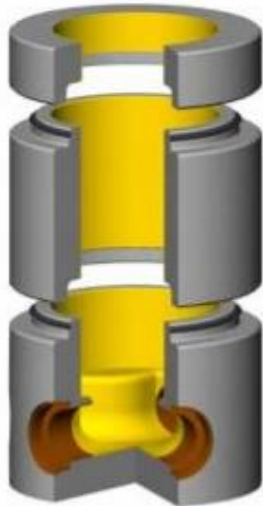
Figuur 5: Betonnen inspectieput met epoxybekleding [16]



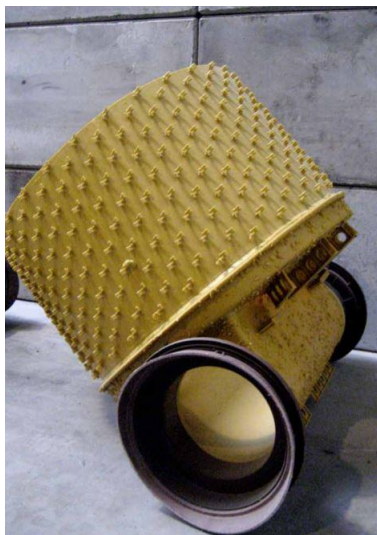
Figuur 6: Vloeiprofiel van een betonnen inspectieput met epoxybekleding [16]

- Polypropyleenbekleding

Een betonnen inspectieput kan ook bekleed worden met polypropyleen. Doordat de PP-laag uitgevoerd is met een grove structuur en verlijmd wordt met chemische verankering, ontstaat een zeer goede hechting. Niet alleen de wanden maar ook het stroomprofiel worden met PP bedekt. Deze techniek heeft een Benor keuring en is conform met het Standaard bestek 250 [15].



Figuur 7: Opbouw betonnen inspectieput met PP-bekleding [17, p. 31]



Figuur 8: Stroomprofiel uit PP met zwaluwstaarten [17, p. 34]



Figuur 9: Betonnen inspectieput met ingegoten stroomprofiel uit PP [17, p. 27]

2.3.2 Keramische inspectieputten

- Gres

Gres is het materiaal waarin op dit moment de buizen van de vuilwaterriolering uitgevoerd worden. Dit is een gebakken keramisch materiaal bestaande uit een mengeling van klei, chamotte en water. Chamotte is een mengeling van gebakken keramische materialen en zorgt voor de sterkte van gres en de porositeit ervan tijdens het bakken zodat het water uit het mengsel kan verdampen. De verhouding tussen chamotte en klei is respectievelijk 70%-30%. Bij buizen met grote diameters vergroot het aandeel chamotte. Tijdens het bakproces krimpt het materiaal 8-10%, waardoor er steeds een kleine tolerantie op de maten zit. Aangezien gres een volledig inert product is, beschikt het over een hoge chemische bestendigheid, is het resistent voor corrosie en wordt dit materiaal niet aangetast door zwavelzuur. Er bestaan inspectieputten met diameter 600 tot 1000 mm (op aanvraag diameter 1200 mm en 1400 mm). Aangezien de bodemplaat uitgevoerd in gres een te hoekige vorm vertoont, wordt het vloei-profiel vervaardigd uit PUR. De bodem wordt aan de onderzijde opgevuld met beton. De wand van de put en het bodemelement dat op een groef rust, dienen hierbij als bekisting. De inspectieputten worden steeds binnen en buiten geglazuurd. De dekplaat op de gres inspectieput wordt nog steeds uitgevoerd in beton met ofwel een gelijkde tweecomponenten epoxylaag, ofwel een gespoten PUR laag om de inertie van de put te garanderen. Tussen de inspectieput en de putdeksel wordt een compressiedichting aangebracht om de waterdichtheid en puntkrachtverspreiding te garanderen. De maximale hoogte van een gres inspectieput is 1,70 m. Hogere putten worden uitgevoerd met opzetstukken van maximaal 2,50 m. Een gres inspectieput wordt gemaakt met hoekverdraaiingen naar keuze om de 9 ° (1 gon). De plaatsing van gres inspectieputten mag niet gebeuren op een bevroren ondergrond. De inspectieputten uit gres zijn conform met EN 752, EN 1610 en EN 12056 en hebben het Benor keurmerk [18].



Figuur 10: Inspectieput uit gres met PUR-stroomprofiel [11, p. 8]

2.3.3 Kunststof inspectieputten

- Polypropyleen

Inspectieputten die vervaardigd worden uit polypropyleen, worden gemaakt aan de hand van het spuitgietproces. Deze putten zijn conform met NBN EN 13598-2 en BENOR-

gecertificeerd. PP is volledig bestand tegen concentraties van zwavelzuur tot 50% en tot een pH van 1 tot 13. [19] Deze inspectieput is dus resistent tegen biogene zwavelzuuraantasting. De put is opgebouwd uit een conus, een recht element met hoogtes tussen 250 mm en 1000 mm en een bodemelement. De putdeksel wordt vervaardigd uit gietijzer en gelegd op een betonnen ring. Deze ring komt niet in contact met het zure milieu aan de binnenkant van de put door afscheiding met een kunststofplaat. De putten zijn bestand tegen een verkeerslast tot 60 ton indien gebruik gemaakt wordt van een steunende fundering. Dit komt overeen met verkeersklasse E 600, vanaf 12 ton dient een betonnen verdeelplaat geplaatst te worden. [20] De profielbermen van de put zijn gestructureerd uitgevoerd en voorzien van een antisliplaag en de wanden worden vol gemaakt met een minimale dikte van 12 mm. Verder is het volledige binnenoppervlak glad, zodat er geen opstopping van vuil kan plaatsvinden. De dichting tussen de verschillende elementen wordt gegarandeerd door een meervoudige lippen-dichtring conform met DIN 4060 en NBN 681-1. De plaatsing van de putten is eenvoudig door de vlakke bodem en de structuur die bestendig is tegen vervorming. De installatie dient te gebeuren aan de hand van draagrings. De aansluiting van buizen op de inspectieput kan gemaakt worden op 180 ° en dan steeds met stappen van 15 °. Er is echter een manier om andere hoeken aan te sluiten door de flexibele moffen. Deze moffen bestaan voor aansluitdiameters van 200 mm, 250 mm of 315 mm en kunnen variëren tot 7.5 ° [12], [21], [22], [23], [24].



Figuur 11: Inspectieput uit polypropyleen met diameter 1000 mm [12]



Figuur 12: Vloeiprofiel van een inspectieput uit polypropyleen [21, p. 85]

2.3.4 Inspectieputten uit materialen in ontwikkeling

- Zwavelbeton

Zwavelbeton of sulphure concrete is een soort beton waarin cement en water vervangen wordt door elementaire zwavel. Op dit ogenblik is er een zeer grote overschot van zwavel. De elementaire zwavel die voor deze toepassing gebruikt wordt, is afgescheiden van aardgas en is 99.9% zuiver. Zwavelbeton wordt opgebouwd uit elementaire zwavel, granulaten, filler en een modifier. De productie gebeurt aan de hand van een chemisch warmteproces. Eerst wordt het vloeibaar zwavelbeton gemaakt. Door zwavel op te warmen tot 119°C wordt het vloeibaar en bevindt het zich in een monokliene kristalstructuur. Vervolgens wordt zand en grind opgewarmd tot boven 100°C. Het vloeibare zwavel dat verder tot een temperatuur van 140°C is opgewarmd, de opgewarmde grind, het zand, de vliegassen en een modifier worden gemixt en vervolgens gecontroleerd afgekoeld naar 115°C om te stollen en vervolgens tot de transitietemperatuur van 95°C. Op deze temperatuur zal de kristalstructuur van zwavel veranderen naar een orthorombische structuur. De dichtheid van het mengsel zal daardoor 5% hoger worden en er ontstaan krimp en spanningen. Hier wordt echter op voorhand rekening mee gehouden zodat dit proces geen invloed heeft op de duurzaamheid van het product. De krimp kan gedeeltelijk opgevangen worden door toegevoegde fillers, zoals vliegassen. Vervolgens kan het koelproces verder plaatsvinden tot een temperatuur van 70°C. Nu kan de inspectieput ontkist worden. Het materiaal bereikt al na 24 uur 70 à 80% van zijn volledige sterkte op kamertemperatuur.

De modifier die eerder in de geschiedenis van zwavelbeton gebruikt werd, was giftig. Bovendien had het een sterke geur en zorgde dat de zwavel zijn monokliene structuur behield. De modifier die nu gebruikt wordt, laat de kristalstructuur van zwavel veranderen en is niet giftig. Door de toevoeging van de modifier worden de ringvormige S₈-moleculen na stolling in een stabiele toestand (orthorombische kristalstructuur) gehouden. Daarnaast zorgt de modifier voor een betere waterstabiliteit. Het werkt als een soort lijm tussen de zwavel en het inert skelet met een hydrofoob oppervlak tot gevolg. Ook de viscositeit verlaagt door de modifier.

De ideale korrelkromme wordt gehanteerd met een minimaal gebruik van zwavel (10%). Zo kunnen de spanningen die ontstaan tijdens de transformatie van de kristalstructuur onder controle gehouden worden. Minder zwavel zorgt immers voor minder krimp. Verder

werd ook de ideale korrelstructuur gezocht, waarin de toevoeging van de fijne vliegassen een grote rol speelt. Het risico bij het gebruik van zwavel is echter de reactie van H_2S met koolwaterstoffen bij een temperatuur van boven $180^{\circ}C$. Hiervoor is een alarm ingebouwd in de machines. Deze temperatuur wordt in normale omstandigheden echter nooit bereikt tijdens het productieproces.

Een belangrijk kenmerk van zwavelbeton is de volledige recycleerbaarheid zonder het fenomeen downcycling. Dit wil zeggen dat het product volledig cradle tot cradle is en dit komt door de opbouw van zwavelbeton uit elementaire elementen, zoals zwavel, zand en stenen die hun eigenschappen steeds behouden. Verder zijn al heel wat testen uitgevoerd tijdens proefprojecten verspreid over Vlaanderen om de chemische bestendigheid, de mechanische sterkte en de erosie van zwavelbeton te meten. Het zwavelbeton werd getest in inspectieputten met een zeer hoge biogene zwavelzuuraantasting. Deze proeven bewezen telkens dat in vergelijking met beton zonder beschermlaag het zwavelbeton zeer goed scoorde. Daarnaast werd zwavelbeton getest op wateropslorping. Sulphure concrete heeft een wateropslorpingspercentage van minder dan 0,3% ten opzichte van 3 à 5% bij beton. Ook werd zwavelbeton op slijtweerstand getest. Hier scoorde zwavelbeton minder goed dan beton door de cementshuid aan de oppervlakte bij betonnen materialen. De zwavelshuid is dunner dan de cementshuid, hierdoor zal deze sneller slijten. Deze test was echter zeer streng en de slijtage aangebracht in deze proef komt in werkelijkheid niet voor in riolering. Tot slot werd ook de waterdichtheid getest. Sulphure concrete is waterdicht tot 1 bar, zoals het PTV voorschrijft.

Zwavelbeton is geen nieuw product. Er werd namelijk in de vroege twintigste eeuw al onderzoek naar het gebruik van zwavel in bouwmaterialen gedaan. Het zwavelbeton, zoals het nu op de markt zal komen is echter een nieuw product. Er diende dus een nieuw PTV opgemaakt te worden voor zowel de buizen als de inspectieputten uit dit materiaal. Het goedgekeurd PTV voor inspectieputten uit zwavelbeton is gebaseerd op de Europese norm voor beton en de strengste nationale aanvullingen in Europa. Daarnaast is de CE-markering en de COPRO-keuring in aanvraag. De opbouw van de inspectieput is dus ook volledig gelijklopend met een betonnen inspectieput conform aan het Standaard bestek 250: de hoekverdraaiing gebeurt in de put, de inspectieput is rond en heeft een mof-spieverbinding waarop buizen in elk materiaal aangesloten kunnen worden. De putten met een diameter kleiner dan 1250 mm bevatten geen wapening en worden geleverd met een dekplaat die voldoet aan een breuk- en scheurlast van 300 kN, ondanks dat de norm voor scheurlast slechts 120 kN voorschrijft. Verder kan zwavelbeton het hele jaar door geplaatst en gestort worden, zelfs bij temperaturen onder het vriespunt. De prijs van zwavelbeton wordt geschat op anderhalf keer de prijs van een standaard betonnen inspectieput [25].



Figuur 13: Basis putelement uit zwavelbeton [25]

- Geoton

Geoton is een product dat opgebouwd is uit zand, kiezel en een pasta van chemische componenten of polymeren. Het is dus vergelijkbaar met beton waarin het cement vervangen wordt door polymeren of met cementloos beton. Dit product is verkrijgbaar in aardnat geoton en zelfverdichtend geoton. Doordat deze samenstelling geen cement en dus ook geen kalk bevat is geoton minimaal aantastbaar door biogeen zwavelzuur. Dit is een nieuw product in de rioleringsmaterialen en is dus nog niet opgenomen in het Standaard bestek 250 en heeft nog geen Benor keuring. Het product werd wel al getest op een startbaan voor vliegtuigen en zal in 2018 praktijktesten ondergaan in verband met biogene zwavelzuuraantasting. De prijs van geoton zal hoger liggen dan een standaard betonnen put maar wordt wel lager geschat dan een inspectieput uit gres of uit beton met bekleding [14].

- Beton met Conshield

Een andere innoverende oplossing om biogene zwavelzuuraantasting van beton te voorkomen is een gewijzigde betonsamenstelling. Bij deze oplossing wordt het betonadditief, Conshield, toegevoegd aan het betonmengsel. Hierdoor krijgt het beton een lading zodat de aerobe bacterie (thiobacillus), die zorgt voor de omzetting van H_2S naar H_2SO_4 op de buiswand, niet meer kan ontstaan op het beton. Dit toevoegsel hecht zich aan de cementdeeltjes en heeft geen invloed op de samenstelling van het beton en dus ook niet op de sterkte van de buizen of inspectieputten. Door deze mengeling ontstaat er geen H_2SO_4 en is het dus ook niet nodig om de put te beschermen tegen het zwavelzuur dat zorgt voor aantasting. Voor een inspectieput uit beton met Conshield wordt een meerprijs van 40% ten opzichte van een standaard betonnen inspectieput verwacht [13].

2.4 Prijs-kwaliteitanalyse

- Zuurbestendigheid

De eigenschap zuurbestendigheid kan opgedeeld worden in de resistentie tegen zwavelzuur en tegen andere zuren. Elke materiaal dat besproken werd in sectie 2.3 is bestand tegen zwavelzuur behalve beton en het beton met Conshield. Er is echter een duidelijk verschil tussen de zuurbestendige inspectieputten die volledig homogeen zijn en de putten die opgebouwd zijn uit verschillende lagen waarvan de binnenste laag enkel zuurbestendig is. Inspectieputten die opgebouwd zijn in de massa, zoals gres, geoton en zwavelbeton, zijn volledig resistent. Geoton en zwavelbeton gebruiken wel nog steeds zand waarin een kleine hoeveelheid kalk zit die ook aangetast kan worden. Deze hoeveelheid is zeer klein en de aantasting hiervan heeft geen invloed op de sterkte en stabiliteit van de inspectieput. Gres is volledig inert. De inspectieputten die opgebouwd zijn uit meerdere materialen hebben meer kans op aantasting. Indien er een barst of kras in het binnenste materiaal gemaakt wordt, kan het zwavelzuur de betonnen buitenkant alsnog aantasten. Dit is het geval voor beton met een epoxycoating of PP-bekleding. Beton en beton met Conshield zijn niet bestand tegen zwavelzuur. In betonnen inspectieputten in vuilwaterrioleringsstelsels of aan de uitlaat van drukriolering zal er biogene zwavelzuuraantasting optreden. Bij inspectieputten die opgebouwd worden uit het Conshield beton zal er geen zwavelzuur gevormd worden door het biogeen proces doordat de zwavelzuurvormende bacterie niet ontstaat op de wand van de put. De put is echter niet bestand tegen zwavelzuur dat eerder in het stelsel gevormd werd. Deze oplossing kan dus enkel slagen indien het volledige rioleringsstelsel uit dit materiaal wordt vervaardigd. Verder komen er ook nog andere zuren voor in de vuilwaterriolering. Gres is het meest inerte materiaal dat besproken werd in sectie 2.3 en kan gebruikt worden van zeer zure tot zeer basische milieus, van een pH 0 tot 14. Zwavelbeton is resistent tegen een pH-waarde tussen 0 en 12. Kunststof behoudt zijn eigenschappen in een milieu tussen pH 1 en 13. Een PP-bekleding en epoxylaag zijn bestand tegen een pH van 2 tot 12. Verder is beton en beton met Conshield slechts bruikbaar tussen een pH van 4,5 en 12. De maximale en minimale pH voor inspectieputten zijn vaak gelimiteerd door de rubberen dichtingen, deze worden verder besproken. De zuurbestendigheid van alle materialen wordt weergegeven in Tabel 2 [8], [13], [14], [15], [18], [22], [25], [26].

Tabel 2: De zuurbestendigheid van inspectieputten

	Beton			Gres
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy bekleding [13]	PUR-schaal [18]
Chemische bestendigheid [pH]	4.5-12	1-13	1-13	0-14
Bestand tegen H₂SO₄	Nee	Enkel de bekleding	Enkel de bekleding	Ja
Vorming H₂SO₄	Ja	Ja	Ja	Ja

	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Chemische bestendigheid [pH]	1-13	4,5-12	1-12	/
Bestand tegen H₂SO₄	Ja tot een PH van 1	Nee	Ja	Ja
Vorming H₂SO₄	Ja	Nee, enkel vorming H ₂ S	Ja	Ja

- Productieproces

Het productieproces van elke inspectieput werd reeds uitgelegd in sectie 2.3. De fabricage van een product kan invloed hebben op de kwaliteit. Een volledig geautomatiseerd proces zorgt voor minder fouten dan een product dat volledig handmatig gemaakt wordt. Het productieproces van betonnen inspectieputten zonder bekleding, geotonnen inspectieputten en putten uit beton met Conshield gebeurt volledig machinaal en heeft dus een kleine foutenmarge. De bekleding van een betonnen put door epoxyhars kan echter wel voor problemen zorgen. Bij dit proces zijn omstandigheden zoals vochtigheid en temperatuur zeer belangrijk. Daarnaast zal de kwaliteit van het product ook afhangen van de vaardigheid van de techniker die de epoxyhars aanbrengt. Indien de dikte, de hechting of de kwaliteit van de hars niet voldoen, zal de levensduur van deze put beïnvloed worden. Verder wordt een PP-bekleding ingestort in de betonnen put. Deze techniek geeft dus een hogere garantie op een kwaliteitsvol product. Zowel gres inspectieputten als putten uit zwavelbeton moeten na het warmteproces afgekoeld worden. Zwavelbetonnen putten koelen af in een mal waardoor de maatvoering constant blijft. In het geval van gres inspectieputten gaat de afkoeling gepaard met krimp en zorgt voor een tolerantie op de maatvoering. Het fabricageproces zelf is wel machinaal en geeft dus ook een garantie op weinig kwalitatieve fouten. Bij gres putten is het wel zo dat de gresschaal handmatig gemaakt wordt. Gresschalen worden daarom nog weinig gebruikt en vervangen door een vloeiprofiel uit PUR. Tot slot zijn inspectieputten uit PP volledig vervaardigd door middel van spuitgieten. Ook dit productieproces is geautomatiseerd en geeft een zeer kleine foutenmarge [13], [14], [15], [18], [22], [25].

- Opbouw

De opbouw van de put bestaat uit de schacht, het vloeiprofiel, de dekplaat en de verbindingen.

- De schacht

De schacht van betonnen putten met een bekleding van epoxyhars en PP zijn niet monolithisch. De sterkte van deze putten hangt af van de verbinding tussen het beton en de bekleding. Bij een epoxybekleding gebeurt de hechting door middel van de hars zelf. De dikte van de bekleding is niet overal dezelfde en de kwaliteit ervan hangt af van de manier waarop de epoxyhars is aangebracht. Bij de PP-bekleding is de verbinding met het beton afhankelijk van een chemische verankering en de grove structuur van de PP laag. De polypropyleenlaag wordt mee gestort in de put en zit dus zeer goed vast aan de betonnen buitenlaag. Deze laag heeft op elke plaats dezelfde dikte. Beide bekledingen zijn niet meer zuurbestendig indien er een kras of scheur in komt. Alle andere materialen die

besproken worden in sectie 2.3 zijn volwandig opgebouwd uit één materiaal [13], [14], [15], [18], [22], [25].

- Het vloei-profiel

Het vloei-profiel moet steeds glad en vloeiend gemaakt worden. Een gres schaal is niet vloeiend en wordt daarom vervangen door een polyurethaan schaal. Ook de betonnen putten kunnen vervaardigd worden uit een kunststof schaal in PP of volledig uit beton. Voor de andere inspectieputten wordt het vloei-profiel uit hetzelfde materiaal gemaakt als de schacht [13], [14], [15], [18], [22], [25].

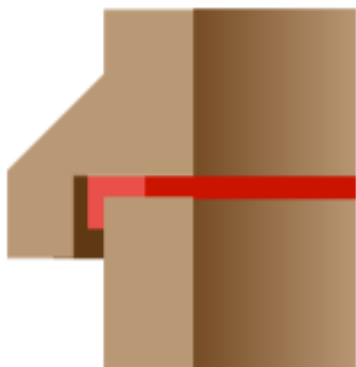
- De dekplaat

De dekplaat van de inspectieput wordt sterk aangetast door biogene zwavelzuuraantasting. Voor betonnen putten kan de dekplaat gemaakt worden uit beton maar om een zuurbestendig geheel te verkrijgen moet deze bekleed worden met Polypropyleen of epoxy. Een gres inspectieput wordt vervolledigd met een betonnen dekplaat met een polyurethaan bekleding. Inspectieputten uit geoton, zwavelbeton en Conshield beton hebben een dekplaat uit hetzelfde materiaal als de schacht. Tot slot hebben de PP putten een dekplaat uit beton maar met een PP laag tegen de aantasting door zwavelzuur [13], [14], [15], [18], [22], [25].

- De verbindingen

Een inspectieput kan opgebouwd worden uit een schacht uit één geheel of een schacht bestaande uit meerdere elementen. Indien de schacht is opgebouwd uit meerdere delen moeten deze elementen goed verbonden worden zodat de aansluiting waterdicht en corrosievrij is. Een betonnen, geotonnen, zwavelbetonnen of conshield betonnen inspectieput wordt gestort met een hoogte naar keuze. Inspectieputten uit polypropyleen hebben een maximale hoogte van 1 m en kunnen niet hoger verkregen worden. Voor gres inspectieputten kan dit wel. Een put uit één geheel heeft een maximale hoogte van 1,7 m. Maar er kan nog een opzetstuk op geplaatst worden tot 2,5 m. De verbinding tussen de verschillende elementen in putten met een diameter tussen 600 mm en 1000 mm gebeurt met een PUR-afdichting zoals weergegeven in Figuur 14. Voor inspectieputten met een grotere diameter wordt dit uitgevoerd zoals in Figuur 15 [13], [14], [15], [18], [22], [25]. Verder dienen er ook aansluitingen gemaakt te worden tussen de buizen en de inspectieputten. Voor betonnen, zwavelbetonnen en Conshield betonnen inspectieputten gebeurt dit aan de hand van aansluitmoffen met een geïntegreerde glijdichting conform met NBN-EN 681-1 en PTV 8681-1. Dit principe is een mof-spieerverbinding met een bijhorende rubberdichting. Voor gres inspectieputten is de mofverbinding ook volledig in de putwand geïntegreerd. De inspectieputten uit geoton hebben een mof waarin de rubberen band niet vast zit maar tijdens de werken geplaatst moet worden. In polypropyleen inspectieputten wordt deze verbinding gemaakt door een safety lock

dichting. Deze dichting wordt vervaardigd uit EPDM. Deze dichting heeft een NFPA-certificaat [23].



Figuur 14: Dichting putonderdeel/ opzetstuk voor DN600 tot DN1000 [11, p. 14]



Figuur 15: Dichting putonderdeel/ opzetstuk voor DN1200 tot DN1400 [11, p. 14]

- Keuring

Elk van de producten beschreven in sectie 2.3 dient een Benor of Copro keuring uit te voeren, zodat het product voldoet aan de gangbare normering. Tabel 3 bespreekt de normering per inspectieput.

Tabel 3: De normering per inspectieput

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy-bekleding [13]	Gres [18]
Normering	<ul style="list-style-type: none"> • Benor • Standaardbestek 250 • NBN-EN-1917 • NBN B21-101 • KOMO 	<ul style="list-style-type: none"> • Benor • Standaardbestek 250 • COPRO (PP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Benor • Standaardbestek 250 	<ul style="list-style-type: none"> • Benor • Standaard bestek 250 • EN 12056; EN 295-1; EN 296-6 • DIN4043 (dekplaat en conus) • DIN-plus • KEYMARK • CSTB • IKOBKB • COPRO • GRIS • SWISS QUALITY
	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel-beton [25]	Geoton [14]
Normering	<ul style="list-style-type: none"> • Benor • Bouwtoezichts-goedkeuring van DIBt • DBS 918064 • MFPA (dichting) • DIN EN 1852 	<ul style="list-style-type: none"> • Standaard bestek 250 	<ul style="list-style-type: none"> • Copro • Standaard bestek 250 • PTV 823 deel 1 en 2 	<ul style="list-style-type: none"> • KOMO • NBN-EN-1917

- Milieuvriendelijkheid

De eigenschap milieuvriendelijkheid is zeer breed, maar wordt afgebakend door enkel de recycleerbaarheid en de CO₂-uitstoot van de inspectieputten en hun productieproces te analyseren. De CO₂-productie van de verschillende inspectieputten wordt in Tabel 4 weergegeven, hierin zit zowel de ontginning van de materialen als het productieproces.

Tabel 4: De CO₂-productie per inspectieput

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy-bekleding [13]	Gres [18]
CO₂-productie [kg CO₂/kg]	0,15	0,50	0,50	0,41

	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
CO₂-productie [kg CO₂/kg]	0,35	0,15	0,08	/

Daarnaast is de recycleerbaarheid van een materiaal een belangrijke eis voor een milieuvriendelijk materiaal. Beton zonder bekleding en PP putten zijn recycleerbaar maar de kwaliteit degradeert tijdens dit proces. Betonnen inspectieputten met een PP-bekleding of epoxycoating zijn zeer moeilijk te recyclen door de heterogeniteit van de put. Gres is volledig recycleerbaar en heeft dus het Cradle to Cradle label. Om een gres inspectieput te recyclen, moet echter eerst het PUR-vloeioprofiel en de betonnen onderkant verwijderd worden. Geoton en Conshield beton zijn niet recycleerbaar. Zwavelbeton is ook Cradle to Cradle en is dus volledig recycleerbaar zonder het fenomeen downcycling. Tabel 5 geeft de recycleerbaarheid van de materialen weer [13], [14], [15], [18], [22], [25].

Tabel 5: De recycleerbaarheid van de verschillende inspectieputten

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
Recycleerbaar	Downcycling	Niet mogelijk	Niet mogelijk	Cradle to cradle
	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Recycleerbaar	Downcycling	Niet mogelijk	Cradle to cradle	Niet mogelijk

- Plaatsing

De plaatsing van een inspectieput kan invloed hebben op de kwaliteit van de inspectieput. Daarnaast is het belangrijk dat een inspectieput eenvoudig geplaatst kan worden. De plaatsing van een inspectieput gebeurt aan de hand van de hijslussen en de put dient geplaatst te worden op een vlakke ondergrond. Gres is een bros materiaal, er bestaat dus een kans op haarscheurtjes of brose breuk tijdens de plaatsing [13], [14], [15], [18], [22], [25].

- Temperatuur

In industriegebieden kan zeer warm of zeer koud water geloosd worden. Het is dus belangrijk dat de inspectieput bestand is tegen grote temperatuurverschillen. De maximale en minimale temperatuur waartegen de verschillende inspectieputten uit sectie 2.3 bestand zijn, worden weergegeven in Tabel 6. Beton, beton met Conshield, gres en zwavelbeton zijn bestand tegen temperaturen van het afvalwater onder het vriespunt. Een inspectieput uit polypropyleen is begrensd tot -20°C. Zowel PP-bekleding als epoxybekleding mogen niet gebruikt worden onder 0°C. De maximale temperatuur van het afvalwater in de inspectieput uit beton en gres ligt op meer dan 100°C, voor een PP-

bekleding en epoxylaag bedraagt dit maximaal 90°C en putten uit PP en zwavelbeton zijn resistent tegen temperaturen tot respectievelijk 60°C met pieken tot 90°C en 65°C. Zwavelbeton verliest echter al 50% van zijn sterkte bij een constante temperatuur van 90 à 100°C. De doorslaggevende factor in deze maximale en minimale temperaturen is in veel gevallen de rubberen dichting [13], [14], [15], [18], [22], [25].

Tabel 6: De minimale en maximale temperatuur van het afvalwater in de inspectieput

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15], [16]	PP-bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
Minimale temperatuur [°C]	<0	0	0	<0
Maximale temperatuur [°C]	>100	90	95	>100
	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Minimale temperatuur [°C]	-20	<0	<0	/
Maximale temperatuur [°C]	60 met pieken van 90	>100	65	/

- Elasticiteitsmodulus

De elasticiteitsmodulus geeft de verhouding weer tussen de spanning en de rek in het materiaal (zie Tabel 7). Dit is dus een goede indicatie van de vormvastheid en brosheid van de inspectieput. Voor het materiaal gres is deze waarde zeer hoog. Dit is dus een zeer bros materiaal dat weinig vervormbaar is. De kunststof polypropyleen daarentegen toont een zeer lage waarde voor de elasticiteitsmodulus en kan dus snel vervormen. Voor alle andere materialen ligt deze waarde rond de elasticiteitsmodulus van beton en tussen de twee uiterste in. Dit wil zeggen dat het niet zeer brosse of zeer vervormbare materialen zijn [13], [14], [15], [18], [22], [25].

Tabel 7: De elasticiteitsmodulus per inspectieput

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP- bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
Elasticiteits- modulus [N/mm²]	35000	35000	42000	50000

	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Elasticiteits- modulus [N/mm ²]	1500	42000	30000	/

- Maximale nuttige hoogte

De maximale nuttige hoogte is de hoogte van de inspectieput vanaf het vloei-element tot de dekplaat. Deze kan uit één element bestaan of opgebouwd worden uit meerdere gestapelde elementen. Indien de inspectieput uit meerdere delen bestaat, moeten deze steeds met een rubberen dichting verbonden worden zodat de put waterdicht blijft. Een rubberen dichting zorgt voor een vermindering van de resistentie tegen zuren en kan dus best vermeden worden in een volledig zuurbestendige put [13], [14], [15], [18], [22], [25].

Tabel 8: De maximale nuttige hoogte van inspectieputten

	Beton			Keramsich
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP- bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
Maximale nuttige hoogte uit een stuk [mm]	Φ800: 2000 Φ1000: 2500	Φ800: 2000 Φ1000: 2500	Φ800: 1100 Φ1000: 2500	Φ800: 1700 Φ1000: 1700
	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Maximale nuttige hoogte uit een stuk [mm]	Φ800: 1000 Φ1000: 1000	Φ800: 1100 Φ1000: 2500	Φ800: 3000 Φ1000: 3000	Φ800: 1300 Φ1000: 1300

- Soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht van het materiaal van de inspectieput bepaalt of een leegstaande put zal opdrijven indien deze in het grondwater geplaatst wordt. Zo zal een put uit het materiaal polypropyleen drijven, als er geen maatregelen genomen worden. De putten uit polypropyleen worden echter opgebouwd met versterkingsribben die de inspectieput op zijn plaats in de grond houden, zoals weergegeven in Figuur 16. De andere materialen zullen geen probleem hebben met het opdrijven van de put indien de put niet te diep ligt in het grondwater. Het soortelijk gewicht van water is ca. 10 kN/m³. In Tabel 9 wordt het soortelijk gewicht van de verschillende materialen weergegeven [12] [22].



Figuur 16: Versterkingsribben van een polypropyleen inspectieput [21, p. 91]

Tabel 9: Het soortelijk gewicht van de materialen van de inspectieputten

	Beton			Keramisch
	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
Soortelijk gewicht [kN/m³]	23	Beton: 23 PP: 9	Beton: 23 Epoxy: 13,5	17
	Kunststof	Innoverende materialen		
	PP [21], [22], [23], [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
Soortelijk gewicht [kN/m³]	9	24	24	23,5

- Prijs

De prijs van de verschillende putten wordt in Tabel 10 weergegeven.

Tabel 10: Vergelijking van de prijzen voor inspectieputten uit verschillende materialen

		Beton			Keramisch
Diameter	Nuttige hoogte	Geen bekleding [13], [14], [15]	PP-bekleding [15]	Epoxy- bekleding [13]	Gres [18]
		DN800	1,5m	€ 585,00	/
DN800	2,0m	€ 645,00	/	€ 1612,50	€ 1948,01
DN800	2,5m	€ 755,00	/	€ 1887,50	€ 2078,01
DN1000	1,5m	€ 685,80	€ 1749,16	€ 1714,60	€ 2108,73
DN1000	2,0m	€ 756,00	€ 2074,16	€ 1890,20	€ 2334,73
DN1000	2,5m	€ 853,80	€ 2399,16	€ 2134,60	€ 2560,73

		Kunststof	Materialen in ontwikkeling		
Diameter	Nuttige hoogte	PP [24]	Conshield beton [13]	Zwavel- beton [25]	Geoton [14]
DN800	1,5m	€ 782,00	€ 819,00	€ 877,50	
DN800	2,0m	€ 810,00	€ 903,00	€ 967,50	
DN800	2,5m	€ 858,00	€ 1057,00	€ 1132,50	/
DN1000	1,5m	€ 1129,50	€ 960,20	€ 1012,50	
DN1000	2,0m	€ 1170,00	€ 1058,50	€ 1102,50	
DN1000	2,5m	€ 1239,30	€ 1195,40	€ 1275,00	

3 Onderzoek

3.1 Inspectie toegangs- en verbindingsputten

3.1.1 Materiaal en methode

Dit onderzoek bevat een kritische evaluatie van de putinspecties, die werden uitgevoerd door de firma M.J. Oomen op betonnen inspectieputten in Limburg. Na de verwerking van deze resultaten zal duidelijk worden waar zuurbestendige doorvoer- en toegangspotten dienen geïmplementeerd te worden [6].

Om een overzicht te krijgen van de aantasting van de inspectieputten door biogeen zwavelzuur van de inspectieputten in Limburg werden 81 putinspecties van inspectieputten gelegen in 2DWA riolering en dertien putinspecties van inspectieputten aan de uitloop van een drukriolering uitgevoerd door het bedrijf M.J. Oomen. Deze proeven gebeuren met behulp van het putpanoramo-systeem (Figuur 17). Dit systeem maakt gebruik van een hoge resolutie camera met twee vervormingsvrije groothoeklenzen, hiermee maakt de camera driedimensionale foto's van beneden tot aan de bovenkant van de put. De beweging van de camera wordt daarna volledig gecorrigeerd door de software. Dit putpanoramo-systeem zorgt voor een visuele output van de put maar ook voor een volledige geometriebepaling achteraf. Vooraleer de putinspectie plaatsvond, werd de put gereinigd zoals weergegeven in Figuur 18. [6].



Figuur 17: Putinspecties met putpanoramo-systeem



Figuur 18: Reiniging van de inspectieput

Na deze inspecties worden alle putten gecontroleerd op biogene zwavelzuuraantasting via de gemaakte beelden tijdens de inspectie. De eventuele aantasting van de putten kan dan gelinkt worden aan de ligging of de ouderdom van de put om zo de nood aan eventuele zuurbestendige putten vast te leggen. Om de putten onder te verdelen volgens aantasting werden verschillende labels aan een put gekoppeld. De verschillende labels zijn:

- niet aangetast: er zijn nog geen sporen van aantasting in de inspectieput te zien;
- granulaten en scheuren zichtbaar: er zijn duidelijk granulaten en scheuren zichtbaar;
- scheuren zichtbaar: de inspectieput vertoont enkel scheuren;
- granulaten zichtbaar: de granulaten in het beton zijn zichtbaar;
- deksel aangetast: de deksel vertoont roest.

Vervolgens worden deze resultaten ingedeeld volgens de leeftijd en de ligging van de inspectieputten.

3.1.2 Resultaten putinspecties

De resultaten van de eerste putinspecties gelegen in een vuilwaterriolering worden ingedeeld volgens aantastingsgraad. Een inspectieput die behoort tot de groep 'goed', is niet aangetast. Er zijn in deze putten nog geen scheuren of afschilfering te zien. Figuur 19 toont zo een put waar geen scheuren of afschilfering waarneembaar zijn.



Figuur 19: Inspectieput QS07675007 - geen aantasting zichtbaar

Verder werden putten waargenomen met scheuren. Deze scheuren kunnen zowel afkomstig zijn van biogene zwavelzuuraantasting, als van plaatsing of overbelasting. Aan de hand van de visuele inspectie is het niet mogelijk om de oorzaak van de scheuren vast te leggen. Een scheur zorgt echter wel voor een versnelling van de degradatie door biogeen zwavelzuur, aangezien de aantasting sneller de wapening zal bereiken. Vervolgens werden de putten met afschilfering of zichtbare granulaten ook in een aparte groep geplaatst. Deze aantasting is te wijten aan biogeen zwavelzuur. Tot slot zijn er nog enkele inspectieputten die zowel scheuren als granulaten vertonen. De aantasting van deze putten is al verder gevorderd. Figuur 20, Figuur 21 en Figuur 22 tonen de aantasting van geïnspecteerde putten.



Figuur 20: QS19875802 – scheurvorming

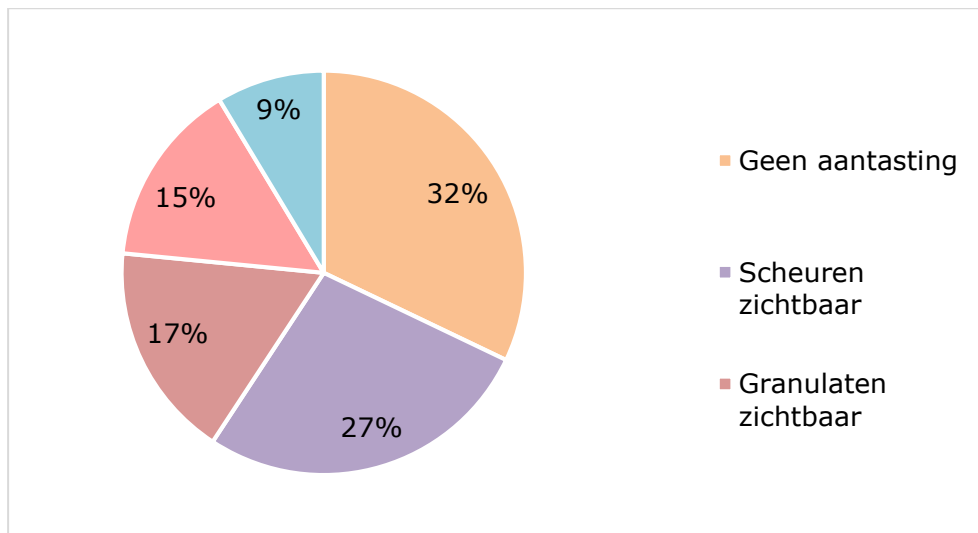


Figuur 21: QS22722605 - granulaten zichtbaar



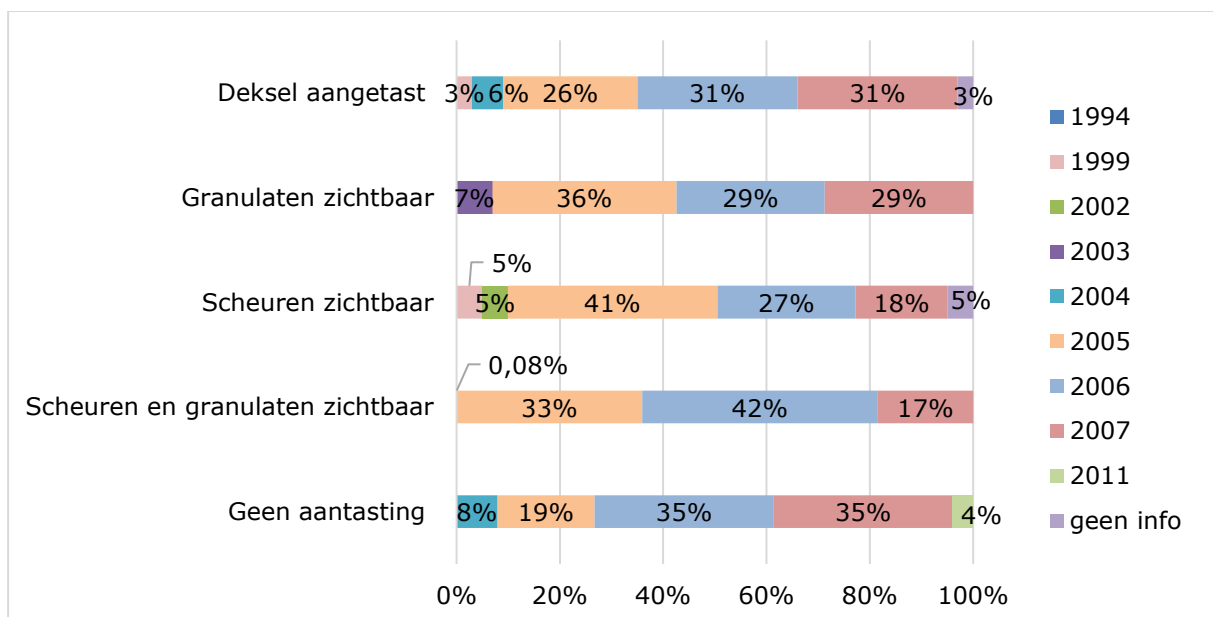
Figuur 22: QN39013801 - duidelijke aantasting: scheuren en granulaten zichtbaar

De eerste reeks putinspecties van 2DWA rioleringsstelsels werden verwerkt en geven resultaten die worden weergegeven in Bijlage A. Om een duidelijk beeld te krijgen van de hoeveelheid aangetaste inspectieputten werd een diagram gemaakt. Figuur 23 geeft aan dat slechts 32% van de geïnspecteerde putten gecatalogeerd kan worden in de groep 'niet aangetast'. Meer dan de helft van de gecontroleerde putten vertoont beginselen van aantasting. Dit kan opgedeeld worden in 15% sterk aangetaste inspectieputten, hier zijn granulaten en scheuren reeds zichtbaar. Verder vertoont 27% van de inspectieputten scheuren en in 17% zijn granulaten waarneembaar.

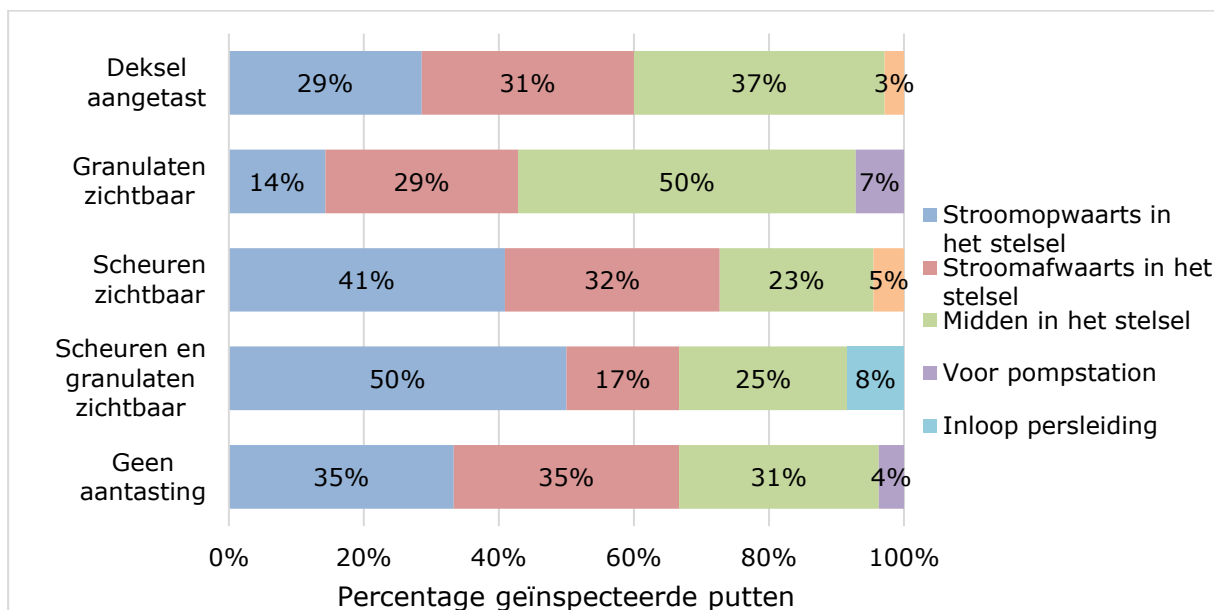


Figuur 23: Resultaten putinspecties

Niet alleen de inspectieput maar ook de deksel van de put is zichtbaar op de beelden van de putinspecties. Er is duidelijk een groot deel van de deksels aangetast door corrosie, namelijk 43%. Verder zijn de resultaten van de putinspecties opgedeeld volgens ligging en bouwjaar. Deze gegevens zijn weergegeven in Figuur 24 en Figuur 25. In deze grafieken wordt telkens het totaal aantal putten per categorie gelijkgesteld aan 100% en vervolgens opgedeeld naargelang het bouwjaar of de ligging.



Figuur 24: Aantasting van inspectieputten per bouwjaar



Figuur 25: Aantasting van geïnspecteerde putten onderverdeeld volgens ligging

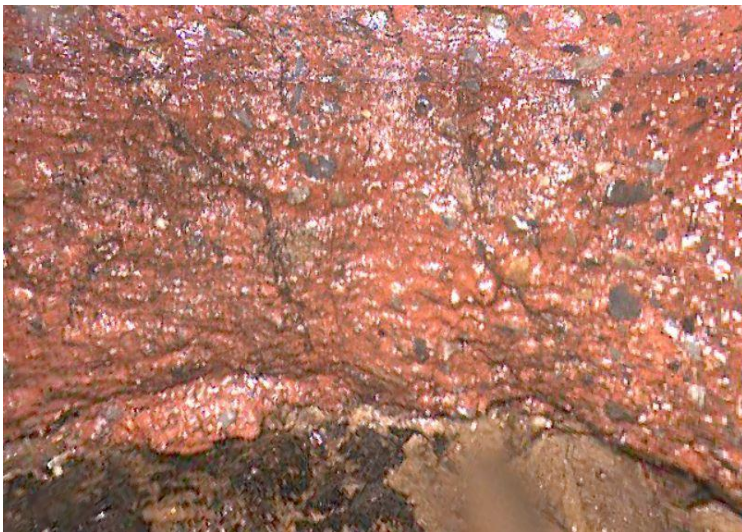
Verder werd nog een tweede reeks putinspecties uitgevoerd, de resultaten zijn weergegeven in Bijlage B. Deze inspectieputten zijn gelegen aan de uitlaat van een drukriolering. De resultaten van deze reeks inspecties werden volgens dezelfde methode als de eerste reeks ingedeeld, eerst volgens de graad van aantasting en vervolgens naargelang het bouwjaar. De ligging van deze inspectieputten is steeds dezelfde: aan de uitlaat van een drukriolering. Figuur 29 geeft de resultaten weer in functie van de aantastingsgraad. Slechts één inspectieput van de dertien geïnspecteerde toegangspotten kan gecatalogeerd worden als goed. 92% van de inspectieputten is aangetast. Hiervan zijn bij de helft van de putten granulaten zichtbaar en bij de andere helft scheuren en granulaten. Er werden geen putten gevonden met enkel scheurvorming. Toch kan de opdeling die gebruikt werd in de eerste reeks putinspecties niet zonder meer gebruikt worden voor de inspectieputten van de tweede reeks inspecties aangezien de aantasting in reeks twee veel verder gevorderd is dan in reeks één. Figuur 26 geeft de zichtbaarheid van granulaten weer bij inspectieputten aan de uitlaat van een drukriolering. Het is duidelijk dat de aantasting van deze inspectieput al verder gevorderd is dan de inspectieputten gelegen in een 2DWA stelsel, zichtbaar in Figuur 21. Dit geldt ook voor de inspectieputten die zowel granulaten als scheuren vertonen. Figuur 22, Figuur 27 en Figuur 28 geven dit weer.



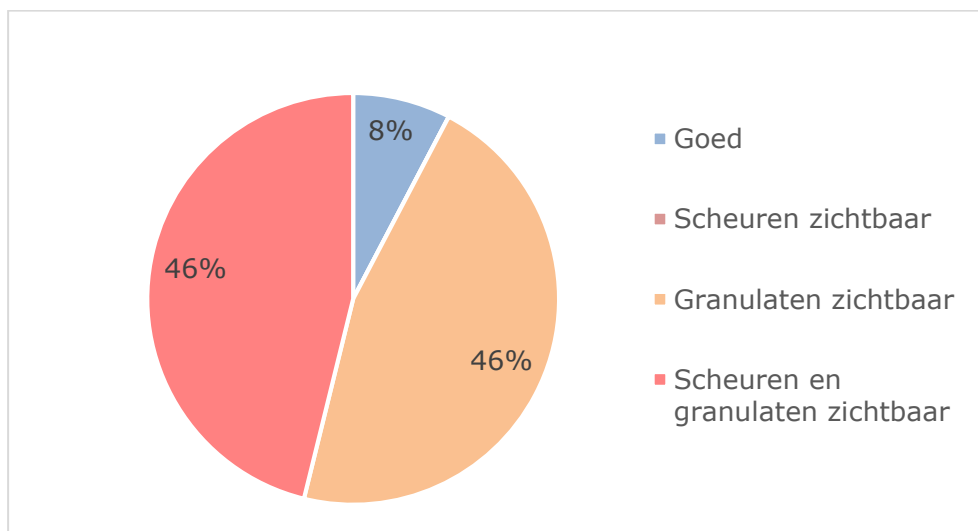
Figuur 26: QS14602101 - granulaten zichtbaar



Figuur 27: QS33826103 – duidelijke aantasting: scheuren zichtbaar

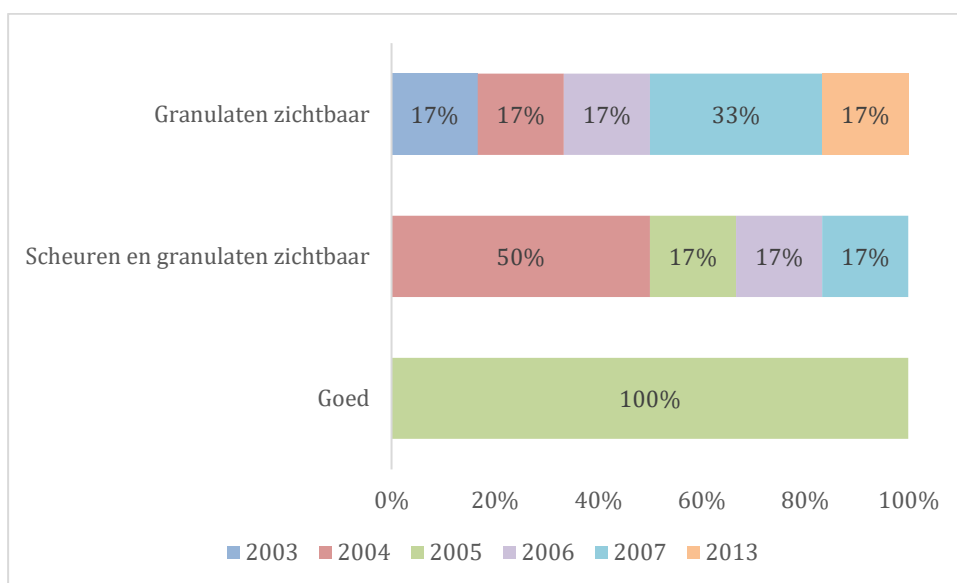


Figuur 28: QS33826103 – duidelijke aantasting: granulaten zichtbaar



Figuur 29: Percentage aangetaste inspectieputten

Vervolgens toont Figuur 30 het verband tussen het bouwjaar van de inspectieputten en de aantastingsgraad. Net zoals in Figuur 24 wordt het aantal putten per aantastingsgraad voorgesteld als 100% en daarna verder opgedeeld volgens leeftijd.

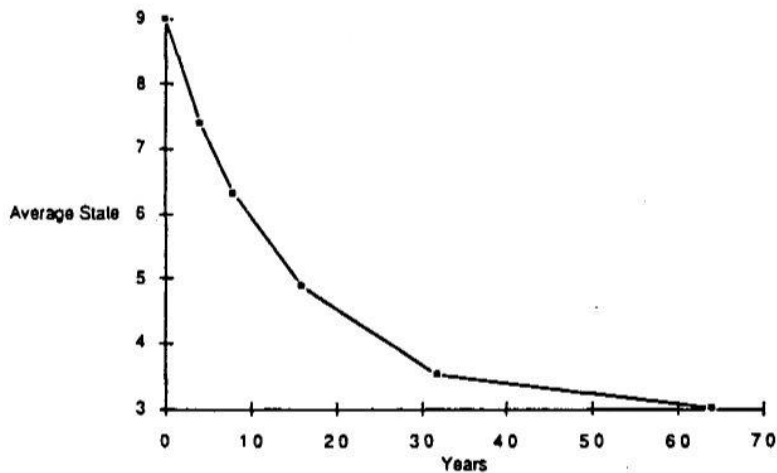


Figuur 30: Aantasting van inspectieputten i.f.v. het bouwjaar

3.1.3 Bespreking resultaten putinspecties

De resultaten van de eerste reeks van inspecties wordt weergegeven in Figuur 23, Figuur 24 en Figuur 25. In Figuur 23 wordt duidelijk dat meer dan de helft van de geïnspecteerde putten sporen van aantasting vertoont. Deze inspectieputten zullen naar alle waarschijnlijkheid hun opgelegde levensduur van 80 jaar niet halen. Er is reeds aantasting zichtbaar na een gemiddelde levensduur van dertien jaar. Aan de hand van de gemiddelde verouderingscurve van beton kan aangenomen worden dat de inspectieputten uit de laatste drie groepen slechts een levensduur van 40 jaar halen. Deze aanname kan gestaafd worden aan de hand van Figuur 31. De curve geeft weer dat wanneer na een gemiddelde

levensduur van dertien jaar het beton slechts een score van vijf op tien haalt, de inspectieput na 40 jaar sterk gedegradeerd is en duidelijk aan vervanging toe is.



Figuur 31: Typische verouderingscurve van beton [27, p. 22]

Een volgende vaststelling is dat uit Figuur 25 geen duidelijk verband blijkt tussen de ligging van de inspectieput in het stelsel en de aantasting ervan. Dit is te wijten aan de ontgassing van H_2S . Een gas zal niet met de stroom meebewegen maar zich verspreiden over de volledig buisholte, zodat zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts H_2S zal afgezet worden op de buiswand om vervolgens H_2SO_4 te vormen. Ook het bouwjaar van de inspectieput kan niet gelinkt worden aan de aantasting ervan. De leeftijd van de inspectieputten ligt namelijk zeer dicht bij elkaar en bedraagt gemiddeld dertien jaar.

Tot slot geven de putinspecties informatie over de toestand van de deksels van de inspectieputten. Op ongeveer de helft van de geïnspecteerde putten is corrosie waar te nemen. Indien de inspectieput zelf is aangetast, is de kans zeer groot dat de deksel ook onderhevig is aan corrosie. Toch zijn er ook resultaten van putten die nog in zeer goede staat zijn maar een gecorrodeerde deksel vertonen. De aantasting van de deksels kan door deze proeven niet perfect gelinkt worden aan de biogene zwavelzuuraantasting. Verder is de snelheid van de aantasting niet onderzocht. Om dit te testen kan bijvoorbeeld de massa van de deksel gemeten worden gedurende een bepaalde periode om de degradatie in kaart te brengen. Uit deze test kan dan besloten worden of de deksel aan vervanging toe is. Een ander besluit zou kunnen zijn dat de roestlaag een passiveringslaag is en dat de deksel nog in goede staat is, ondanks de zichtbare roestlaag. Om de deksel te beoordelen is dus verder onderzoek nodig. Figuur 32 toont een voorbeeld van een deksel onderhevig aan corrosie.



Figuur 32: QS05817801 - aangetaste deksel

De tweede reeks gegevens toont aan dat 92% van de geïnspecteerde putten na een gemiddelde levensduur van dertien jaar sterk zijn aangetast. Deze putten vertonen zichtbare granulaten en/of scheuren. Dit is een zeer hoog percentage waardoor ervan uitgegaan kan worden dat putten aan de uitlaat van een drukriolering hun opgelegde levensduur van minstens 80 jaar niet halen. Verder is het duidelijk dat deze inspectieputten reeds in een verder stadium van aantasting zitten. Ondanks dat deze putten slechts gemiddeld dertien jaar oud zijn, kan de aantasting vergeleken worden met een score van minder dan 4/10 volgens Figuur 31. Dit zou overeenkomen met een leeftijd van 30 jaar. De reden waarom deze putten na slechts dertien jaar al een zware aantasting vertonen, is de lange verblijftijd van het vuilwater in de drukriolering. In de persleiding heerst een volledig anaeroob milieu. De zwavelverbindingen kunnen dus tijdens die lange verblijftijd in anaerobe toestand worden omgezet tot H_2S . Tijdens het persen van het water uit de leiding, komt het water terecht in de inspectieput met veel turbulentie. Dit bevordert de ontgassing van de H_2S . Indien dit gebeurd is, is het slechts een kwestie van tijd voor het diwaterstofsulfidegas zal neerslaan op de putwand. Vervolgens wordt dan de H_2S in aerobe omstandigheden en onder invloed van de bacteriën die zich op de putwand bevinden, geoxideerd tot zwavelzuur. Dit proces zal een grotere productie van zwavelzuur met zich meebrengen door de langere verblijftijd en de anaerobe omstandigheid in drukriolering dan in een 2DWA stelsel. Een inspectieput aan de uitlaat van een drukriolering zal op basis van deze resultaten slechts een geschatte levensduur van gemiddeld twintig jaar halen. Daarnaast geeft Figuur 30 de aantasting van de inspectieputten weer in functie van de veroudering. De mate van aantasting kan niet gelinkt worden aan ouderdom. Een geïnspecteerde put van het jaar 2013 vertoont een grote aantasting dan de andere putten ondanks dat deze het minst lang geleden geplaatst is. Verder is er slechts één put die geen aantasting toont. Dit kan te wijten zijn aan de opbouw van deze inspectieput, deze is namelijk anders dan de twaalf andere putten, zoals zichtbaar in Figuur 33 en Figuur 34. Bij alle putten mondt de uitlaat van de persleiding rechtstreeks uit in de inspectieput maar bij put QS23647110 wordt de persleiding tot in de aanliggende buis gebracht en pas daar kan het water uit de buis verder lopen. Toch kan niet met zekerheid gezegd worden of de opbouw van de inspectieput zorgt voor deze verminderde aantasting. Dit kan immers ook te maken hebben met de lengte van de persleiding, de concentratie van het afvalwater of de verblijftijden van het water.



Figuur 33: Uitlaat drukriolering naar aanliggende buis – inspectieput QS23647110



Figuur 34: Uitlaat drukriolering in inspectieput

3.2 Kostenanalyse inspectieputten

3.2.1 Methode

De kostenanalyse gaat steeds uit van resultaten van de putinspecties. Elke analyse is een aanname van een situatie die mogelijk kan voorkomen. De zuurbestendige inspectieputten die in deze analyse in rekening gebracht worden, zijn steeds 100% zuurbestendig en zullen dus zonder problemen een levensduur van 80 jaar behalen. Verder zijn ook de putrenovaties tijdig en kwalitatief uitgevoerd zodat deze steeds de nodige verlenging van de levensduur van de inspectieputten garanderen.

In de kostenanalyse van de riolering wordt rekening gehouden met de aanleg en de herstelling van de weg en met de aanleg of renovatie van de regenwaterafvoer of van de droogweerafvoer. Tabel 11 geeft een schatting van de kostprijs weer van elke mogelijke investering. De prijzen worden steeds per meter weergegeven. De meerprijs van een putrenovatie per inspectieput kost gemiddeld € 3000. Aangezien ervan uit wordt gegaan dat een inspectieput geplaatst wordt om de 50 m, kan deze kostprijs omgerekend worden naar € 60 per meter. Hetzelfde principe geldt voor de meerprijs van een zuurbestendige inspectieput. Een zuurbestendige toegangspot kost gemiddeld € 1000 meer dan een betonnen put. Dit wil zeggen dat een zuurbestendige put € 20 per meter meer kost dan een betonnen inspectieput.

Tabel 11: Investeringskosten [28]

Investing	Kostprijs per meter
Volledige wegherinrichting exclusief riolering	€ 600
Aanleg riolering – eerste net	€ 360
Aanleg riolering – tweede net	€ 240
Aanleg volledig rioleringsnet	€ 600
Volledige wegherinrichting inclusief riolering	€ 1200
Herstel wegnis bij aanleg riolering – eerste net exclusief volledige wegherinrichting	€ 300
Herstel wegnis bij aanleg riolering – tweede net exclusief volledige wegherinrichting	€ 100
Aanleg volledig rioleringsnet exclusief volledige wegherinrichting	€ 1000
Meerkost putrenovatie	€ 60
Meerkost zuurbestendigheid	€ 20

Om de kosten van een riolering te analyseren wordt gebruik gemaakt van de netto actuele kost van een investering. Dit is de netto actuele waarde die een investering kost op het moment van investeren, in jaar nul dus. De investering wordt telkens weergegeven in het jaar waarin deze uitgevoerd wordt. Hierbij dient steeds rekening gehouden te worden met de inflatie van 2%, via formule (1).

$$EW = I * (1 + i)^n \quad (1)$$

Met EW = eindwaarde [€]

I = investering [€]

i = inflatie [%]

n = jaar

Om deze waarden te actualiseren wordt een actualisatievoet van 6,25% in rekening gebracht, deze waarde is inclusief inflatie en investeringskost. Dit gebeurt aan de hand van formule (2).

$$AW = \frac{1}{(1+d)^n} EW \quad (2)$$

Met AW= actuele waarde [€]

d= discontovoet [%]

n= jaar

EW= eindwaarde [€]

Ook de restwaarde wordt bepaald. Eerst wordt de kost van de investering geïndexeerd naar 80 jaar en daarna wordt deze gedegeerd met 5% per jaar in gebruik, zie formule (3).

$$RW = I * (1 + i)^n * (1 - d)^t \quad (3)$$

Met RW = restwaarde

I = investering [€]

i = inflatie [%]

n = jaar

d = degradatie [%]

t = volbrachte levensduur [jaar]

Vervolgens wordt de som van de geactualiseerde bedragen gemaakt, dit is de net present cost van een investering. De NPC's van de verschillende investeringen kunnen dan vergeleken worden [28] [29].

3.2.2 Resultaten kostenanalyse

Volgende situaties zijn steeds toepasbaar op een gescheiden rioleringsstelsel met een droogweerafvoernet en regenwaterafvoernet. De kostenanalyse gaat uit de aanname dat het RWA-stelsel een levensduur van gemiddeld 80 jaar bereikt. Het DWA-net met betonnen inspectieputten zou al na gemiddeld 40 jaar aan vervanging toe zijn.

- Situatie 1: Totale herinrichting van wegenis en riolering na 40 jaar

In situatie 1 wordt de volledige riolering en wegenis vervangen na 40 jaar. Dit wil zeggen dat in jaar nul een volledige wegherinrichting inclusief riolering wordt uitgevoerd met een betonnen inspectieput. Dit kost € 1200. In jaar 40 zal zowel de volledige riolering als de volledige weginrichting vervangen worden. Ook dit zal € 1200 kosten. Na 80 jaar zal er geen restwaarde meer zijn. Deze situatie wordt weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Kostenanalyse - totale herinrichting van wegenis en riolering na 40 jaar

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1200	€ 1200
40	€ 1200	€ 2649,65
Restwaarde in jaar 80	€ 0	€ 0
Net Present Cost		€ 1434,05

- Situatie 2: Totale herinrichting van wegenis en vuilwater riolering na 40 jaar

Situatie 2 is gelijkaardig aan situatie 1 maar houdt er rekening mee dat de RWA-leiding na 40 jaar niet aan vervanging toe is. Aangezien de inspectieputten gelegen in een 2DWA stelsel na 40 jaar niet meer voldoen, zal de rioleringsstreng van het vuilwater vervangen worden aan een kostprijs van € 360. Ook de wegenis zal na 40 jaar heraangelegd worden

met een investeringskost van € 600. Dit zorgt in het totaal voor een investering van € 960. Deze situatie wordt weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Kostenanalyse - totale herinrichting van wegenis en vuilwater riolering na 40 jaar

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1200	€ 1200
40	€ 960	€ 2119,72
Restwaarde in jaar 80	€ 0	€ 0
Net Present Cost		€ 1387,24

- Situatie 3: herinrichting wegenis na 40 jaar samen met een putrenovatie
De derde analyse gebeurt voor een totaalproject met 2DWA-riolering uit gres buizen en een betonnen inspectieput, maar met een putrenovatie na 40 jaar. Deze renovatie kost € 3000 en zal de levensduur van de inspectieput verlengen tot jaar 80. Na een totale levensduur van 80 jaar zullen zowel de 2DWA- als de RWA-leidingen vervangen worden. Na 40 jaar zal echter ook de wegenis aan vervanging toe zijn. Dit zorgt voor een extra kost van € 600. Deze analyse wordt getoond in Tabel 14.

Tabel 14: Kostenanalyse - herinrichting wegenis na 40 jaar samen met een putrenovatie

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
1	€ 1200	€ 1200
41	€ 660	1457,31
Restwaarde in jaar 80	€ 0	€ 0
Net Present Cost		€ 1328,73

- Situatie 4: zuurbestendige riolering
Een vierde analyse, zie Tabel 15, bestaat uit de aanleg van een volledig zuurbestendige rioleringsstreng. De rioleringsbuizen worden uit gres vervaardigd en de inspectieputten worden volledig zuurbestendig uitgevoerd. Zo zal deze riolering een minimale levensduur van 80 jaar halen. In deze analyse wordt ervan uitgegaan dat de geplaatste put volledig zuurbestendig is en dus helemaal niet wordt aangetast door biogeen zwavelzuur. Een zuurbestendige inspectieput kost gemiddeld € 1000 meer dan een standaard betonnen inspectieput. Deze investering moet in een periode van 80 jaar slechts eenmaal gebeuren. De wegenis zal echter wel na 40 jaar vervangen worden aan een kostprijs van € 600 per meter.

Tabel 15: Kostenanalyse situatie 4 – zuurbestendige riolering

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1220	€ 1220
40	€ 600	€ 1324,82
Restwaarde in jaar 80	€ 0	€ 0
Net Present Cost		€ 1337,03

- Situatie 5: snellere aantasting van riolering

Op dit moment zijn nog niet alle rioleringsstelsels gescheiden. In de toekomst zal dit echter wel het geval zijn. Aangezien de concentratie van afvalwater zal toenemen indien de volledige scheiding een feit is, wordt ook een kostenanalyse gemaakt voor de vervanging van de inspectieputten na 30 jaar en na 60 jaar. De weg wordt in deze analyse ook na 30 jaar en na 60 jaar heraangelegd zodat alle werken in synergie gebeuren. Verder wordt ook een analyse gemaakt voor de renovatie van de inspectieput na 30 jaar, de wegeniswerken zullen in deze analyse wel na 40 jaar uitgevoerd worden aangezien deze geen invloed op elkaar hebben. In Tabel 16 is de kostenanalyse zichtbaar voor de vervanging van de volledige riolering en de wegenis na 30 jaar en na 60 jaar. Tabel 17 geeft de analyse weer voor de vervanging van de vuilwaterriolering en de weg na 30 jaar. Daarnaast toont Tabel 18 de renovatie van de inspectieputten na 30 jaar. Er wordt vanuit gegaan dat na de renovatie van de inspectieputten, deze een levensduur van 80 jaar bereiken zonder noodzakelijke ingrepen.

Tabel 16: Vervanging volledige riolering en wegenis na 30 jaar en na 60 jaar

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1200	€ 1200
30	€ 1200	€ 2173,63
60	€ 1200	€ 2649,65
Restwaarde in jaar 80	€ -403,18	€ -2097,33
Net Present Cost		€ 1769,90

Tabel 17: Vervanging vuilwaterriolering en wegenis na 30 jaar en na 60 jaar

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1200	€ 1200
30	€ 980	€ 1775,13
60	€ 980	€ 3215,41
Restwaarde in jaar 80	€ -351,32	€ -1712,82
Net Present Cost		€ 1558,70

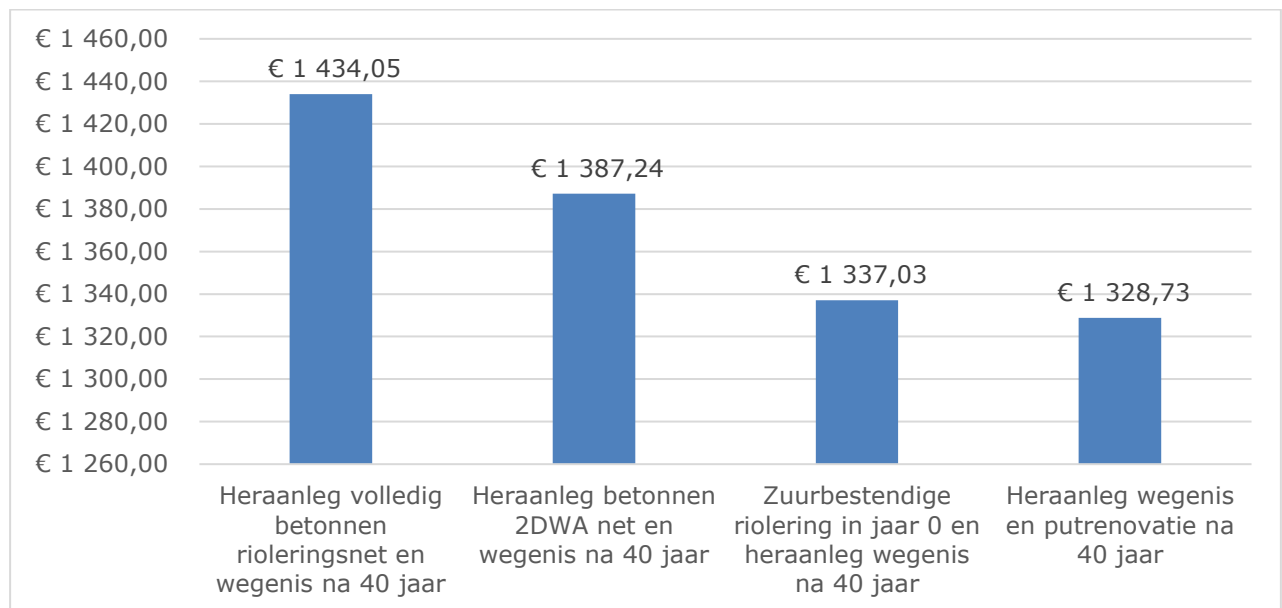
Tabel 18: Renovatie inspectieput na 30 jaar en vervanging wegenis na 40 jaar.

Jaar	Niet geïndexeerde uitgaven	Geïndexeerde uitgaven
0	€ 1200	€ 1200
30	€ 60	€ 108,68
40	€ 600	€ 1324,82
Restwaarde in jaar 80	€ 0	€ 0
Net Present Cost		€ 1334,64

3.2.3 Bespreking kostenanalyse

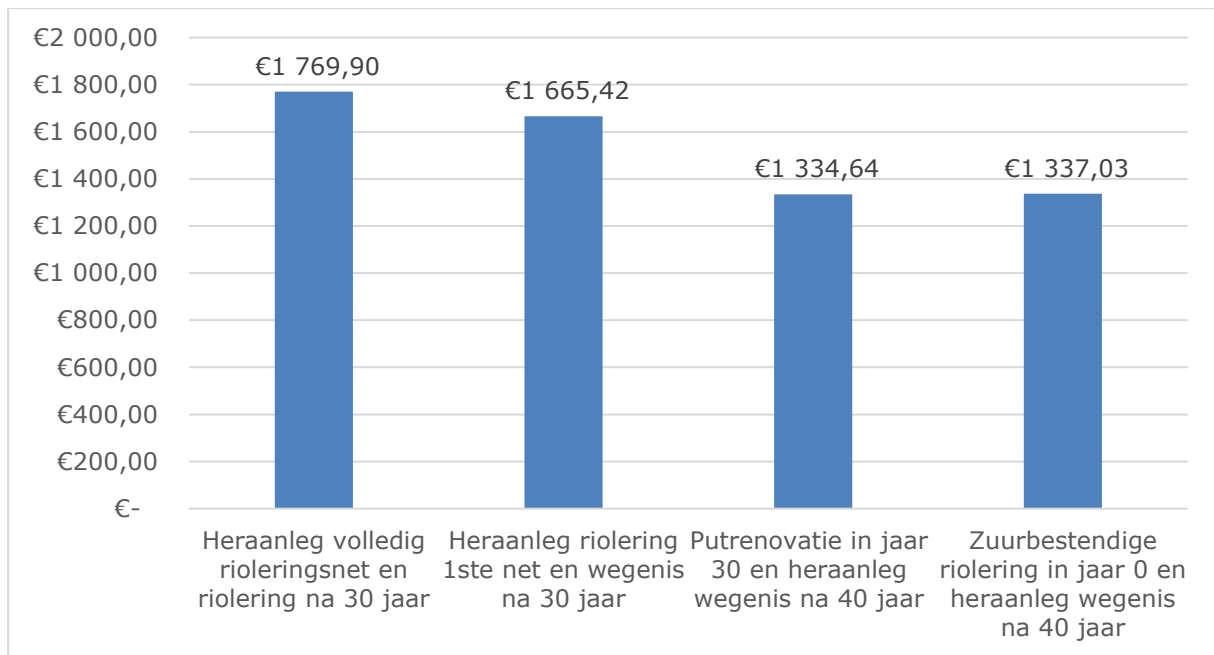
Uit de resultaten van de verschillende kostenanalyses blijkt dat indien de wegenwerken en de rioleringswerken in synergie gebeuren de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput duidelijk financieel voordeliger is dan de plaatsing van een betonnen inspectieput. Dit wordt duidelijk in Figuur 35. De financiële analyse geeft echter minder duidelijke resultaten

voor de keuze tussen vanaf dag nul zuurbestendige putten voorzien of betonnen putten plaatsen en ze tijdig renoveren. Beiden lijken financieel min of meer evenwaardige alternatieven. Indien de werkelijkheid licht afwijkt van de aannamen kan dit de keuze doen kantelen in het voor- of nadeel van het ene of het andere alternatief. Een afwijking kan bijvoorbeeld een verschil in kostprijs of levensduur zijn. Verder toont een kostenanalyse dat de keuze om vijftien jaar geleden betonnen inspectieputten te plaatsen niet per se onverstandig is. Een tijdige en kwalitatieve putrenovatie is immers een financieel evenwaardig alternatief in vergelijking met de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput. Het is echter wel belangrijk dat de technologie van deze inspectieputten en de putrenovaties zich blijft verbeteren.



Figuur 35: Net present cost - wegniswerken en rioleringswerken in synergie [prijs/m]

Op dit moment is de riolering nog niet overal volledig gescheiden. Dit is echter in de toekomst wel de bedoeling. De concentratie afvalwater in het 2DWA stelsel zal dus toenemen. Door deze verandering is het mogelijk dat de degradatie van de betonnen inspectieputten nog sneller zal verlopen en dat de vervanging of restauratie van de inspectieputten al na 30 jaar nodig zal zijn. Figuur 36 toont dat ook in dit geval de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput financieel voordelig is ten opzichte van de plaatsing van een betonnen inspectieput en de vervanging ervan. In deze situatie is er weinig verschil tussen de financiële situatie van de putrenovatie en van de zuurbestendige inspectieput. Dit wil zeggen dat het geen probleem is om de inspectieputten die de afgelopen vijftien jaar uitgevoerd werden in beton na 30 jaar kwalitatief te renoveren. De voorkeur gaat echter wel naar de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput in jaar nul.



Figuur 36: Net present cost - wegenwerken en rioleringswerken vervroegd aangetast [prijs/m]

Besluit

Uit de resultaten van de putinspecties blijkt dat betonnen inspectieputten aangetast worden door biogeen zwavelzuur. 59% van de geteste putten in een 2DWA stelsel en 92% van de geteste putten aan de uitlaat van een drukriolering geven blijk van een aanzienlijke degradatie na een gemiddelde ouderdom van dertien jaar. Uit een typische verouderingscurve van beton kan de levensduur van de betonnen putten respectievelijk 40 jaar en twintig jaar geschat worden. Het is dus niet langer een verstandige, duurzame keuze om betonnen putten zonder bescherming te plaatsen in een vuilwater rioleringsstelsel. In de geïnspecteerde putten die als aangetast beschouwd worden, zijn granulaten en scheuren zichtbaar. Verder onderzoek zal moeten aantonen of deze scheuren enkel veroorzaakt worden door biogeen zwavelzuur. Overbelasting of productie kunnen deze schade eventueel ook met zich meebrengen.

Op dit moment kan een doordachtere materiaalkeuze gemaakt worden, aangezien de markt van de zuurbestendige inspectieputten nu wel kwalitatieve alternatieven biedt. Er dient echter nog steeds ingezet te worden op kwaliteitsverbetering en innovatie. Verder blijkt uit de kostenanalyse dat zuurbestendige inspectieputten op lange termijn ook financieel voordeliger zijn dan onbeschermd betonnen inspectieputten.

Op dit moment bestaan er een aantal soorten inspectieputten die technologisch voldoende gevorderd zijn en tegemoetkomen aan de vereisten van een zuurbestendige put: inspectieputten uit beton met een polypropyleen- of een epoxybekleding en inspectieputten uit gres of polypropyleen. Toch kunnen ook deze opties nog enkele verbeteringen doorvoeren zodat de vooropgestelde levensduur van 80 jaar zeker gehaald wordt. Een inspectieput uit het inerte materiaal gres is de duurste oplossing. Op dit moment wordt echter de regeling tussen de afdekplaat en de afdekkingsinrichting nog vervaardigd uit ter plaatse gestort beton of prefabbeton. Dit deel is dus niet zuurbestendig en kan wel aangetast worden door biogeen zwavelzuur. Hier is dus nog kwaliteitsverbetering mogelijk. Een tweede zuurbestendige oplossing zijn toegangs- of verbindingsputten uit polypropyleen. Deze putten zijn de goedkoopste oplossing. De fabrikanten kunnen echter nog inzetten op een verbetering van de materiaaleigenschappen, zoals temperatuurbestendigheid, een verhoging van de maximale nuttige hoogte en een optimalisatie van de recyclage. Ten derde kunnen betonnen putten met een polypropyleenbekleding toegepast worden in een zuurbestendige riolering, indien de volledige put en niet enkel het stroomprofiel bekleed wordt. Ook hier dient geïnvesteerd te worden in het recyclageproces. Tot slot zijn er betonnen inspectieputten met een epoxylaag op de markt. Een optimalisatie van de hechting van de epoxybekleding met het beton blijkt nodig. Daarnaast kan er nog ingezet worden op de kwaliteitsgarantie op vlak van dikte, hechting en hars. Deze eigenschappen zijn namelijk nog afhankelijk van de vochtigheid, de temperatuur en het vakmanschap.

Naast de zuurbestendige inspectieputten die nu al op de markt verkrijgbaar zijn, wordt ook heel wat onderzoek gevoerd naar innovatieve zuurbestendige materialen. Deze oplossingen voor biogene zwavelzuuraantasting in riolering zijn nog in ontwikkeling maar blijken veelbelovend. Ten eerste wordt er onderzoek gedaan naar zwavelbeton. Dit materiaal werd in de twintigste eeuw reeds bestudeerd en toegepast maar bleek niet aan de verwachtingen te voldoen. Innoverend onderzoek en een nieuwe opbouw lijken het tegendeel te bewijzen. Dit moet echter nog in praktijk aangetoond worden. Verder wordt dit materiaal gefabriceerd aan de hand van een warmteproces. Een minimalisatie van de tolerantie ten gevolge van krimp tijdens het afkoelingsproces is dus onmisbaar. Daarnaast

is er nog innovatie mogelijk op vlak van de temperatuurbestendigheid van zwavelbeton. Een tweede veelbelovend innovatief materiaal is het cementloos beton, geoton. Verder onderzoek naar recyclage is vereist. Ook dienen er nog duurzaamheidsproeven uitgevoerd te worden. Tot slot wordt er onderzoek gedaan naar beton met het additief Conshield. Dit type beton zorgt ervoor dat de thiobacilli niet meer hecht aan het beton waardoor er geen zwavelzuur kan ontstaan. Het nadeel van deze oplossing is dat de volledige riolering uit dit materiaal opgebouwd moet worden vooraleer er geen biogeen zwavelzuur meer kan gevormd worden. Verder dient er hier nog geïnvesteerd te worden in het recyclageproces en in duurzaamheidstesten.

Vijftien jaar geleden werd door Infracx gekozen voor betonnen inspectieputten in de vuilwaterriolering. De putinspecties tonen dat deze putten de vooropgestelde levensduur niet zullen halen. De kostenanalyse toont echter dat deze keuze niet per se onverstandig was. Een tijdige en kwalitatieve putrenovatie biedt immers een financieel evenwaardig alternatief in vergelijking met de plaatsing van een zuurbestendige inspectieput. Het is echter wel belangrijk dat de technologie van de putrenovaties blijft innoveren. Er dient dus ingezet te worden op een kwalitatieve renovatiemethode die de totale levensduur van 80 jaar garandeert. Niet enkel de kwaliteit van de renovatie is cruciaal, ook een tijdige renovatie is zeer belangrijk. Er moet dus geïnvesteerd worden in een monitoringsysteem zodat een tijdige kwalitatieve putrenovatie mogelijk wordt.

Dit onderzoek focust zich enkel op inspectieputten in vuilwaterriolering en aan de uitlaat van een drukriolering. Om een beeld te krijgen van biogene zwavelzuuraantasting in gemengde riolering en op industrieterreinen is extra onderzoek noodzakelijk. Verder kan de vraag gesteld worden of zuurbestendige buizen in combinatie met betonnen inspectieputten leiden tot een versnelde aantasting. Dus zal mogelijke aantasting van betonnen inspectieputten samen met betonnen buizen bestudeerd moeten worden. Tot slot moet de vraag gesteld worden of een gietijzeren deksels op een zuurbestendige inspectieput een duurzame oplossing is.

Bibliografie

- [1] „Infracx,” [Online]. Available: <https://www.infracx.be/>.
- [2] W. Francken, C. Bollen, K. Vandeveld, B. Verstraete en J. Debuysere, *Waterwegwijzer: bouwen en verbouwen*, VMM.
- [3] „Zwavelzuuraantasting,” Beton Lexicon, [Online]. Available: <http://betonlexicon.nl/Z/Zwavelzuuraantasting/>.
- [4] A. Beeldens, „Biogene zwavelzuuraantasting,” Katholieke Universiteit Leuven, 1999. [Online]. Available: <https://www.cementonline.nl/artikel/biogene-zwavelzuuraantasting>.
- [5] J. Monteny, E. Vincke, A. Beeldens, N. De Belie, L. Taerwe , D. Van Gemert en W. Verstraete, „Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete,” Pergamon, 2000.
- [6] „Putinspectie mbv. 3D camera,” MJO, [Online]. Available: <http://www.mjoomen.nl/nl/inspectie/ondergrondse-infra/putinspectie-mbv-cameras>.
- [7] N. De Belie, J. Monteny, A. Beeldens, E. Vincke, D. Van Gemert en W. Verstraete , „Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes,” 2004.
- [8] Cement & Beton Centrum, „Aantasting door zuren”.
- [9] D. Mara, Handbook of water and wastewater microbiology, Elsevier Science, 2003.
- [10] *Standaard bestek 250 - Hoofdstuk 2, 3 en 7*, 2016.
]
- [11] Steinzeug Keramo, „Keraport Schachtprogramm,” [Online]. Available: https://www.sk-data.com/files/bro-schacht_2015_05.pdf. [Geopend 5 december 2017].
- [12] Rehau, „Awaschacht PP DN 1000 Inspectieput,” Rehau, [Online]. Available: <https://www.rehau.com/be-nl/installatie-bouwbedrijf/water--en-afvalwaterbehandeling/afwateringstechnieken/rioolinspectieputten/awaschacht-pp-dn-1000-rioolinspectieput#tab4>. [Geopend 10 december 2017].
- [13] M. Heylen, Interviewee, *Stradus Aqua*. [Interview]. 17 augustus 2017.
]
- [14] P.-P. Ooms, Interviewee, *Martens Beton*. [Interview]. 8 november 2017.
]
- [15] J. Welkenhuysen, Interviewee, *Webeco*. [Interview]. 9 september 2017.
]
- [16] GWW bouw, „Waterdichte en zuurbestendige coating betonoppervlakken,” [Online]. Available: <http://www.gww-bouw.be/waterdichte-en-zuurbestendige-coating-betonoppervlakken/>.
- [17] Webeco, „DWA- inspectieputten,” [Online]. Available: <http://www.webeco.be/upload/dwa-inspectieputten.pdf>. [Geopend 5 december 2017].
- [18] P. Aengeveld, Interviewee, *Keramo*. [Interview]. 22 augustus 2017.
]
- [19] VBV, „De chemische bestendiheid van kunststoffen,” [Online]. Available: http://www.vbv.nl/download/pdf/technische_specificaties/Chemische%20kunststoffen.pdf. [Geopend 10 december 2017].

- [20 Aquafix milieu, „Verkeersklasse,” Aquafix Milieu, [Online]. Available:
] <https://aquafix.nl/nl/verkeersklasse>. [Geopend 10 december 2017].
- [21 Rehau, „Awaschacht PP DN 1000 Inspectieputten,” [Online]. Available:
] <https://www.rehau.com/download/1744816/catalog-cei-awaschacht-pp-dn-1000.pdf>.
[Geopend 10 december 2017].
- [22 Rehau, „Awaschacht PP DN 1000 als Twinschacht - technische informatie,” [Online].
] Available: <https://www.rehau.com/download/1744644/technische-informatie-awaschacht-pp-dn-1000-als-twinschacht-nl.pdf>. [Geopend 10 december 2017].
- [23 Rehau, „katalog-kanaltechnik,” [Online]. Available:
] <https://www.rehau.com/download/1859210/katalog-kanaltechnik.pdf>. [Geopend 16 december 2017].
- [24 Renau, „awaschacht pp DN800 - brochure,” [Online]. Available:
] <https://www.rehau.com/download/1744766/awaschacht-pp-dn-800---brochure.pdf>.
[Geopend 16 december 2017].
- [25 G. Doumen, Interviewee, *De Bonte Beton - Thiotube*. [Interview]. 14 november 2017.
]
- [26 WSV Kunststoffen, „PP - Polypropeen,” WSV, [Online]. Available:
] <http://wsvkunststoffen.nl/polypropeen/>. [Geopend 10 december 2017].
- [27 Instituut voor materiaal- en milieu-onderzoek B.V. (INTRON), „Inventarisatie kunstwerkbeheer,” 1996.
- [28 B. Neyrinck, Interviewee, *Kostenanalyse riolering*. [Interview]. 20 mei 2018.
]
- [29 M. Vanbeuren, *Bedrijfmanagement (3209)*, UHasselt, 2017.
]
- [30 Martens, „put 100 x 100 standaard - producttypering,” Martens, [Online]. Available:
] http://www.utopis.net/martens_nl/utopis_2.asp?rubr=01&prod=put_100_x_100_standard_MB. [Geopend 5 december 2017].
- [31 Webeco, „Inspectieputten,” [Online]. Available: http://www.webeco.be/upload/standaard-inspectieputten_2.pdf. [Geopend 5 december 2017].
- [32 Webeco, „Standaard inspectieputten,” [Online]. Available:
] <http://www.webeco.be/standaard-inspectieputten>. [Geopend 5 december 2017].
- [33 E. Politiek en J. Kupfernagel, „Ketenanalyse kunststof recycling CO2-prestatieladder,” 18 augustus 2016. [Online]. Available:
] http://www.sita.nl/media/CO2prestatieladder/Ketenanalyse_kunststof_2016.pdf.
[Geopend 10 december 2017].
- [34 Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, „Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringssystemen,” 2012.
- [35 BENOR, „Benor - Trouw aan kwaliteit,” Benor, [Online]. Available:
] <http://www.benor.be/menu.asp?id=847&lng=nl&m=0>. [Geopend 11 april 2018].

Bijlage A: Putinspectie reeks 1 – Inspectieputten in 2DWA stelsel

Tabel 29: Resultaten putinspecties van inspectieputten gelegen in 2DWA systemen

	Gemeente	Putnummer	Materiaal Put	Materiaal deksel	Jaar	Ligging in stelsel	Goed	Granulaten en scheuren	Granulaten zichtbaar	Scheuren zichtbaar	Deksel aangetast	Opmerkingen
1	Kortesseem	QS22722605	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts			1		/	
2	Alken	QS13747110	Beton	Gietijzer	2007	Stroomafwaarts				1		
3	Alken	QS13746201	Beton	Gietijzer	2007	Midden	1					
4	Alken	QS13747201	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts				1		
5	Sint-Truiden	QS07665906	Beton	Gietijzer	2006	Midden	1					
6	Sint-Truiden	QS07665802	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts				1		
7	Sint-Truiden	QS07675007	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts	1					
8	Sint-Truiden	QS04675804	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts				1		
9	Sint-Truiden	QS04674802	Beton	Gietijzer	2006	Midden	1					
10	Sint-Truiden	QS04673811	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts	1				1	
11	Kortesseem	QS22721601	Beton	Gietijzer	2005	Midden			1		1	
12	Kortesseem	QS22721602	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts		1				
13	Hasselt	QS23821310	Beton	Gietijzer								Geen info
14	Hasselt	QS23823507	Beton	Gietijzer								Geen info
15	Hasselt	QS17812401	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts	1				1	
16	Hasselt	QS23823507	Beton	Gietijzer								Geen info
17	Hasselt	QS17812504	Beton	Gietijzer	2007	Midden				1	1	
18	Hasselt	QS17812502	Beton	Gietijzer	2007	Stroomafwaarts	1				1	
19	Hasselt	QS13858103	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts				1		
20	Hasselt	QS13859204	Beton	Gietijzer	2005	Midden		1			/	
21	Herk-de-Stad	QS05817801	Beton	Gietijzer	2006	Midden			1		1	
22	Herk-de-Stad	QS05817805	Beton	Gietijzer	2007	Midden	1				1	Valput
23	Herk-de-Stad	QS05819802	Beton	Gietijzer	2006	Midden				1	1	Valput

24	Herk-de-Stad	QS05819705	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts		1			/	
25	Halen	QS02814704	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts				1	/	
26	Halen	QS02814705	Beton	Gietijzer	2005	Midden				1	/	
27	Halen	QS02815805	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts				1	/	
28	Ham	QS06974604	Beton	Gietijzer	2007	Midden	1				1	
29	Ham	QS06974701	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts	1					
30	Ham	QS06974608	Beton	Gietijzer	1971	Stroomafwaarts	1				/	Valput
31	Ham	QS01977313	Beton	Gietijzer	2005	Midden			1		1	
32	Ham	QS02970308	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts				1	1	
33	Ham	QS02973610	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts				1	1	
34	Ham	QS07990602	Beton	Gietijzer	2004	Stroomopwaarts	1				1	
35	Ham	QS06999601	Beton	Gietijzer	2004	Stroomafwaarts	1				1	
36	Zonhoven	QS20871902	Beton	Gietijzer	2006	Midden			1			
37	Zonhoven	QS20871907	Beton	Gietijzer								Geen info
38	Zonhoven	QS20870902	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts	1				1	
39	Zonhoven	QS19875802	Beton	Gietijzer	2006	Midden				1	/	
40	Zonhoven	QS19884010	Beton	Gietijzer	2003	Midden			1		/	
41	Zonhoven	QS19883003	Beton	Gietijzer	2002	Stroomafwaarts				1	/	
42	Zonhoven	QS19883101	Beton	Gietijzer	1999	Stroomafwaarts				1	1	
43	Zonhoven	QS19884202	Beton	Gietijzer	2007	Midden				1		
44	Zonhoven	QS19884108	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts			1			
45	Maasmechelen	QS42846606	Beton	Gietijzer	2005	Midden		1			1	
46	Maasmechelen	QS42845708	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts			1		1	
47	Opglabbeek	QS34919702	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts	1				1	
48	Opglabbeek	QS34917602	Beton	Gietijzer	2005	Midden	1				1	
49	Opglabbeek	QS34914403	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts	1				1	Put ligt verdekt
50	Hasselt	QS14850201	Beton	Gietijzer								
51	Houthalen-Helchteren	QS21921703	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts		1			1	Vierkant

52	Houthalen-Helchteren	QS21921501	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts		1			1	Vierkant
53	Houthalen-Helchteren	QS21920601	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts				1	/	Vierkant
54	Houthalen-Helchteren	QS21944303	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts	1				1	
55	Houthalen-Helchteren	QS21944307	Beton	Gietijzer	2007	Midden			1		1	
56	Hechtel-Eksel	QN21054606	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts			1		1	
57	Hechtel-Eksel	QN21054805	Beton	Gietijzer	2006	Midden	1				1	
58	Hechtel-Eksel	QN21053701	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts				1	1	
59	Peer	QN25077308	Beton	Gietijzer	1994	Inloop persleiding		1			/	
60	Peer	QN25078307	Beton	Gietijzer	2005	Voor pompstation			1		/	
61	Peer	QN25078312	Beton	Gietijzer	2005	Voor pompstation	1				/	
62	Peer	QN25079303	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts		1			/	
63	Hechtel-Eksel	QN12058201	Beton	Gietijzer						1	1	Vierkant
64	Hechtel-Eksel	QN12057008	Beton	Gietijzer	2007	Midden	1				1	Vierkant
65	Hechtel-Eksel	QN12054002	Beton	Gietijzer	2007	Stroomafwaarts	1				1	
66	Bree	QN36052502	Beton	Gietijzer	2005	Voor collector	1				/	
67	Bree	QN36051403	Beton	Gietijzer	2005	Stroomafwaarts				1	/	
68	Bree	QN35059206	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts				1	/	
69	Bree	QN35059211	Beton	Gietijzer	2005	Stroomopwaarts				1	/	
70	Bree	QN35059209	Beton	Gietijzer								Put ligt verdekt
71	Bree	QN36054507	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts	1				1	
72	Bree	QN36054505	Beton	Gietijzer	2006	Midden			1		1	
73	Bree	QN36055510	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts	1				/	
74	Bree	QN39014804	Beton	Gietijzer	2006	Stroomafwaarts		1			/	
75	Bree	QN39013801	Beton	Gietijzer	2006	Midden		1			/	Zwaar aangetast
76	Bree	QN39012905	Beton	Gietijzer	2006	Stroomopwaarts	1				/	

77	Bree	QN39025101	Beton	Gietijzer								Put ligt verdekt	
78	Bree	QN40013104	Beton	Gietijzer	2007	Stroomafwaarts			1				
79	Bree	QN40013107	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts			1		1		
80	Kinrooi	QN45059012	Beton	Gietijzer	2007	Stroomopwaarts		1				Vloei is zwaar aangetast	
81	Kinrooi	QN45059006	Beton	Gietijzer	2007	Stroomafwaarts		1			1	Vloei is zwaar aangetast	
Totaal								26	12	14	22	35	
Percentage								32%	15%	17%	27%	43%	

Bijlage B: Putinspectie reeks 2 – Inspectieputten aan uitlaat drukriolering

Tabel 30: Resultaten putinspecties van inspectieputten gelegen aan de uitlaat van drukriolering

	Gemeente	Putnummer	Materiaal put	Materiaal deksel	Jaar	Goed	Granulaten en scheuren zichtbaar	Granulaten zichtbaar	Scheuren zichtbaar	Deksel aangetast
1	Peer	QN25077308	Beton	Gietijzer	2005		1			geen info
2	Bree	QN36055511	Beton	Gietijzer	2006		1			1
3	Kinrooi	QN45045303	Beton	Gietijzer	2003			1		geen info
4	Maaseik	QN42012104	Beton	Gietijzer	2004		1			geen info
5	Dilsen-Stokkem	QS44906802	Beton	Gietijzer	2004			1		1
6	Maasmechelen	QS46834406	Beton	Gietijzer	2006			1		geen info
7	Zutendaal	QS33816802	Beton	Gietijzer	2004		1			geen info
8	Zutendaal	QS33826103	Beton	Gietijzer	2004		1			geen info
9	Tongeren	QS23647110	Beton	Gietijzer	2005	1				1
10	Heers	QS14602101	Beton	Gietijzer	2013			1		geen info
11	Hasselt	QS17775203	Beton	Gietijzer	2007			1		1
12	Halen	QS00864001	Beton	Gietijzer	2007			1		1
13	Lummen	QS08895605	Beton	Gietijzer	2007		1			0
Totaal						1	6	6	0	5
Percentage						8%	46%	46%	0%	38%

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

De duurzame materiaalkeuze voor zuurbestendige doorvoer- en toegangsputten in de vuilwaterriolering

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Notermans, Kaat

Datum: **3/06/2018**