

- Hell, F., Lahnsteiner, J., Frischherz, H. & Baumgartner, G. (1998). Experience with full-scale electrolysis for nitrate and hardness removal. *Desalination*, 117, 173.
- International Water Management Institute (IWMI). (2006). 'Insights' from the Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Stockholm World Water Week, Colombo, Sri Lanka.
- Kenna, E. & Zander, A.K. (1999). Survey of membrane concentrate reuse and disposal. AWWA Research Foundation, Project No. 498-97.
- Koltuniewicz, A.B. & Drioli, E. (2008). Membrane in clean technologies: Theory and practice, Vol.1. Wiley-VCH, Berlin.
- Langelier, W.E. (1936). The analytical control of anticorrosion water treatment. *Journal AWWA*, 28, 1500.
- Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S. & Matsuura, T. (2008). Advanced membrane technology and application, Wiley, Hoboken.
- Miller, G.W. (2006). Integrated concepts in water reuse managing global water needs. *Desalination*, 187, 65.
- Perttu, K.L. & Kowalik, P.J. (1997). Salix vegetation filters for purification of waters and soils. *Biomass and Bioenergy*, 12, 9.
- Pinoy, L. (2010). Hernieuwde interesse in elektrolyse. *Aquarama*, 44, 44.
- Uchida, R.S. (2000). Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. In: Silva, J.A. & Uchida, R.S., editors. *Plant nutrient management in Hawaii's soils: Approaches for tropical and subtropical agriculture*. University of Hawaii at Manoa: College of tropical agriculture and human resources, 31.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2000). Introduction to phytoremediation. Office of Research and Development, Cincinnati, EPA/600/R-99/107.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2001). Ground water issue: Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. Office of Research and Development, Washington D.C., EPA/540/S-01/500.
- Vandenbohede, A., Van Houtte, E. & Lebbe, L. (2008). Groundwater flow in the vicinity of two artificial recharge ponds in the Belgian coastal dunes. *Hydrology Journal*, 1669.
- Van der Bruggen, B., Lejon, L. & Vandecasteele, C. (2003). Reuse, Treatment, and Discharge of the Concentrate of Pressure-Driven Membrane Processes. *Environmental Science and Technology*, 37, 3733.
- Van Houtte, E. & Verbauwhe, J. (2008). Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish Coast. *Desalination*, 218, 198.
- Van Houtte, E., Berquin, S., Pinoy, L. & Verbauwhe, J. (2012). Experiment with willows to treat RO concentrate at Torreele's water re-use facility in Flanders, Belgium. AWWA/AMTA Membrane Technology Conference 2012, Glendale, Arizona, U.S.
- Zhang, Y., Ghyselbrecht, K., Meesschaert, B., Pinoy, L. & Van der Bruggen, B. (2010). Electrodialysis on RO concentrate to improve water recovery in wastewater reclamation. *Journal of Membrane Science*, 378, 101.

Identificatie van de benodigde informatie voor het beoordelen van faalmechanismen bij het rioleringsbeheer

Nikola Stanić¹, Jeroen Langeveld¹ and François Clemens¹

¹ Delft University of Technology, PO Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands, N.Stanić@tudelft.nl, J.G.Langeveld@tudelft.nl, F.H.L.R.Clemens@tudelft.nl

Trefwoorden: Asset management /rioleringsbeheer, faalmechanismen, HAZOP, rioolsysteem/rioolstelsel

Rioleringsbeheer is een eerste vereiste om het gewenste niveau van functioneren van de riolering te behouden. Welke inspanning op het gebied van rioleringsbeheer nodig is om een bepaald niveau van functioneren te bereiken is onduidelijk, omdat zowel de processen in als de structuur van de rioolstelsels complex zijn. Een belangrijke vraag hierbij is welke informatie er nodig is en hoe deze informatie verkregen moet worden. Faalmechanismen van het rioolsysteem verklaren het structurele en operationele falen van onderdelen van het rioolsysteem. Deze studie richt zich op het vaststellen welke informatie er nodig is om faalmechanismen in de riolering op te sporen en te identificeren. Om het identificeren van de faalmechanismen mogelijk te maken, is gebruik gemaakt van de zogenaamde HAZOP (Hazard+Operability) benadering. De belangrijkste processen en tekortkomingen verantwoordelijk voor het structurele en/of operationele falen van rioleringsonderdelen zijn geïdentificeerd, evenals de mogelijkheden om de ervoor benodigde informatie te verkrijgen. Deze informatie is nodig om de kans op een faalgebeurtenis te kunnen schatten en is uiteindelijk ook nodig om vast te stellen welke informatie nodig is voor goed functioneren van het systeem.

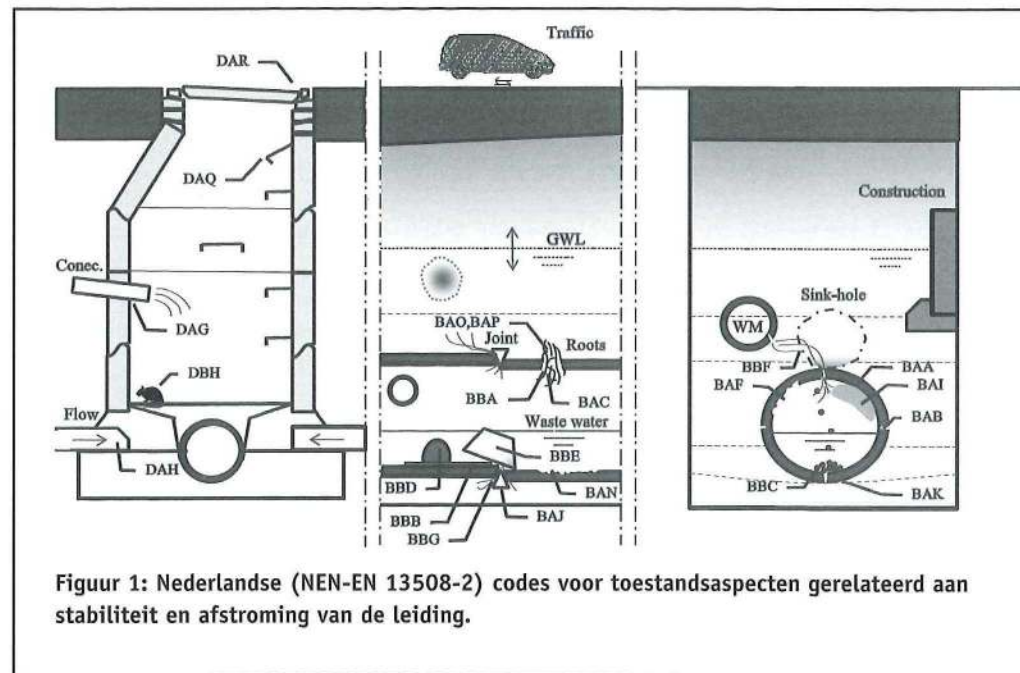
1. Inleiding

Systemen voor de inzameling en het transport van stedelijk afvalwater en regenwater vormen een kostbare infrastructuur, met als doel wateroverlast te voorkomen en de volksgezondheid in stedelijk gebied te bevorderen (Marsalek 1998). In Nederland bijvoorbeeld, werd door de gemeenten in 2009 1,2 miljard euro besteed aan riolering (overeenkomend met € 151,- per huishouding per jaar) (Walder 2011). Meer dan 65% van dit bedrag omvat investeringskosten. Een goed dagelijks beheer en onderhoud van dergelijke systemen, inclusief renovatiemaatregelen, waarborgt een lange levensduur en zorgt voor het voldoen aan de functionele eisen die aan het systeem worden gesteld.

Bij het rioleringsbeheer wordt gestreefd naar optimale besluitvorming over het benodigde onderhoud, de benodigde exploitatie en over de benodigde grote investeringen voor renovaties en vervangingen (Nederlands Normalisatie-instituut 2008). Beslissingen (over bijvoorbeeld renovaties en onderhoud) worden gedaan op basis van beschikbare informatie en ervaring. De leeftijd van de leiding en CCTV-inspecties zijn de belangrijkste bronnen van informatie die bij het beheer van de riolen worden gebruikt (Halfawy et al. 2008).

De leeftijd van de leiding is echter een onvoldoende criterium voor het nemen van een besluit (Ana en Bauwens 2007; Stone et al. 2002) en met CCTV-inspectie is het alleen mogelijk om visueel waar te nemen vanuit de binnenzijde van het riool (figuur 1) (Nederlands Normalisatie-instituut 2003; Deutsche Verein für Wasserwirtschaft 2006). Zo kunnen bijvoorbeeld holle ruimten aan de buitenzijde van het riool niet direct worden waargenomen. Bovendien concludeerde (Dirksen et al. 2009) dat er meer informatie

nodig is voor een goede besluitvorming, omdat de gegevens vanuit een visuele inspectie niet voldoende kwaliteit hebben. Het gevolg is dat beslissingen in het rioleringsbeheer slechts gedeeltelijk door kennis zijn onderbouwd door gebrek aan informatie over het functioneren en de toestand van de riolering (Elachachi et al. 2006).



Figuur 1: Nederlandse (NEN-EN 13508-2) codes voor toestandsaspecten gerelateerd aan stabiliteit en afstroming van de leiding.

Het belangrijkste onderwerp van het rioleringsbeheer om het gewenste niveau van functioneren te bereiken tegen acceptabele kosten, is het ontbreken van een goed onderbouwde relatie tussen de vereiste beheersinspanning en het te bereiken niveau van functioneren. Dit wordt veroorzaakt door de complexiteit van de processen in en de structuur van het rioolsysteem (Ashley en Hopkinson 2002).

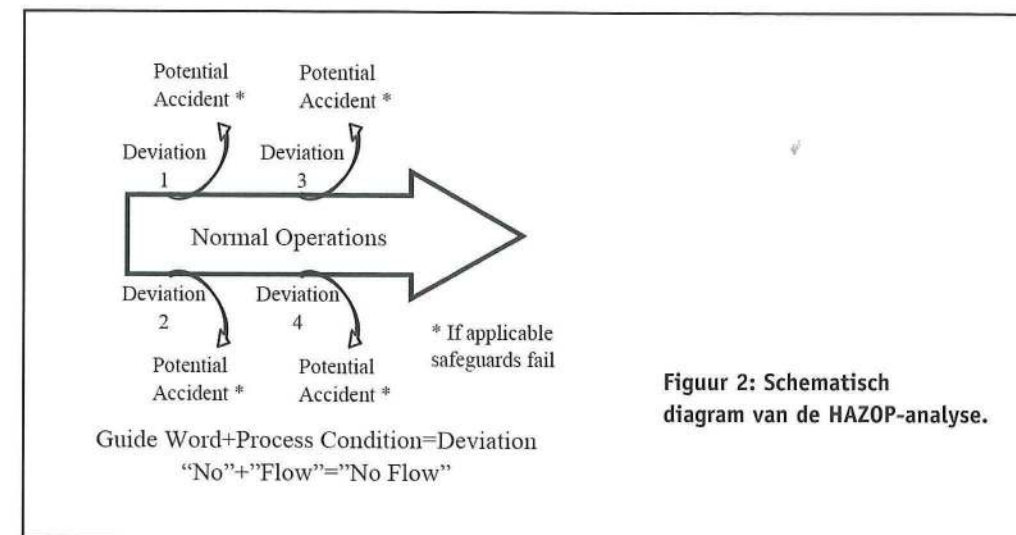
Een goed begrip van de oorzaken van het falen van riolen is nodig om een juiste zorg voor riolen te verzekeren (Murthy et al. 2002). De term faalmechanisme refereert aan een complete systematische beschrijving van het hoe, het wanneer en het waarom van de faalgebeurtenis en of de gebeurtenis gevolgen heeft voor de rest van de keten. Veel faalgebeurtenissen van riolen (kwaliteitsveranderingen) doen zich voor als een geleidelijke verslechtering van de toestand uiteindelijk leidend tot een probleem. Weer andere faalgebeurtenissen geven een plotseling probleem. Zo is bijvoorbeeld het verstopt raken van een riool vaak het gevolg van het geleidelijk opbouwen van een slib- of vetlaag door de hydraulische omstandigheden in het riool, of het gevolg van een instorting veroorzaakt door diverse factoren die de stabiliteit van het riool beïnvloeden (Marsalek en Schilling 1998).

Het is duidelijk dat de huidige veelal toegepaste informatiebronnen, als CCTV-inspectie en leeftijd van de leiding, onvoldoende zijn voor een goed rioleringsbeheer (Fenner 2000). Het is echter niet duidelijk welk type informatie en welke kwaliteit van informatie nodig is voor een echt succesvol rioleringsbeheer. Dit artikel beschrijft het gebruik van de analyse van faalmechanismen als een eerste stap om de benodigde informatie voor het beheer van riolen te identificeren. Om de relevante faalmechanismen te kunnen identificeren, is gebruik gemaakt van de HAZOP-benadering. De HAZOP-analyse maakt de iden-

tificatie van faalmechanismen mogelijk en maakt het bovendien mogelijk de voor die faalmechanismen benodigde informatiebronnen te vinden en te kwantificeren. De topgebeurtenissen in de faalanalyses zijn verkregen uit de aan riolering gestelde functionele eisen.

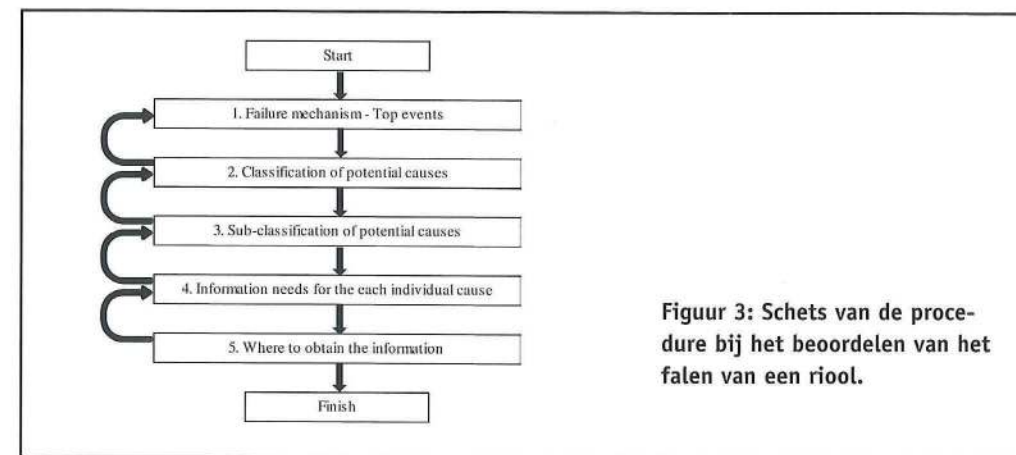
2. Methodologie

Om het identificeren van relevante faalmechanismen mogelijk te maken is een HAZOP techniek toegepast. HAZOP staat voor 'Hazard' en 'Operability' en maakt gebruik van speciale gids-woorden gecombineerd met procesomstandigheden waarbij alle mogelijke afwijkingen van normale omstandigheden systematisch worden beschouwd (figuur 2).



Figuur 2: Schematisch diagram van de HAZOP-analyse.

In een HAZOP-studie functioneert een multidisciplinaire groep van rioleringsexperts als het beoordelingsteam (Montague 1990). Teamleden moeten de volgende zaken inbrengen: kennis van het ontwerpen en construeren van riolen, ervaring met de werking van het systeem en de onderdelen, ervaring met onderzoek en onderhoud van onderdelen, kennis van hydraulische, hydrologische en geohydrologische processen, kennis van veiligheidsdoelen en procedures en ervaring met het toepassen van de HAZOP techniek.



Figuur 3: Schets van de procedure bij het beoordelen van het falen van een riool.

De volgende kwalificatietechniek is uitgevoerd tijdens een serie bijeenkomsten. Het expertteam stelde de topgebeurtenissen voor het falen van een riool vast en beoordeelde vervolgens elke topgebeurtenis volgens de HAZOP analyse door middel van de in figuur 3 weergegeven stappen. De resultaten van de HAZOP analyse zijn samengevat in tabelvorm. De uitgebreide screening van mogelijke storingen met deskundigengroepen maakt de HAZOP techniek sterk geschikt voor het uitvoeren van een risico analyse voor een gecompliceerd systeem (in termen van inzicht in functioneren en aanwezige structuur) als de riolering. Een nadeel van dergelijke risico identificatietechnieken is dat deze gebaseerd zijn op subjectieve oordelen achteraf, zodat nieuwe, onbekende risico's niet in beeld gebracht kunnen worden (Frosdick, 1997). De eindredactie van de rapportage van de studie is verricht door een beleidsmedewerker die niet heeft deelgenomen aan de bijeenkomsten van het HAZOP expertteam.

3. Resultaten en Discussie

3.1 Faalmechanismen- topgebeurtenissen

In deze studie werden de belangrijkste processen en defecten die verantwoordelijk zijn voor het structureel en operationeel falen van rioolstelsels geïdentificeerd evenals de wijze hierover nadere informatie kan worden verkregen. Tabel 1 geeft de top faalgebeurtenissen van rioolstelsels en de hoofdoorzaken.

Tabel 1: Top faalgebeurtenissen van rioolstelsels en de hoofdoorzaken.

Falen	Top gebeurtenis	Oorzaak
Systeemprestatie	Overstroming	belasting ↗ en/of capaciteit ↘
	Frequente CSOs	
	Bodemverontreiniging	belasting ↗ en/of sterkte ↘
Prestatie van onderdelen	Blootstelling aan gevaar voor de volksgezondheid	belasting ↗ en/of bescherming ↘
	Instorten van structurele onderdelen	belasting ↗ en/of sterkte ↘
	Storing in mechanische onderdelen	

Het falen wordt in twee hoofdgroepen verdeeld, namelijk de prestatie van het stelsel en de prestatie van onderdelen. Systeemfalen wordt gedefinieerd als het niet voldoen aan de eisen met betrekking tot de prestaties van het systeem, zoals wateroverlast. Elementfalen worden gedefinieerd als het falen van een specifiek rioolobject of -element, hetzij instorting of uitval. Elementfalen leiden niet altijd tot systeemfalen. Bijvoorbeeld in een vermaasd rioolstelsel hoeft het instorten van een leiding niet te leiden tot het falen van de riolering als geheel, aangezien het afvalwater ook een andere route kan volgen.

3.2 Classificatie van mogelijke oorzaken

Om een beter begrip te krijgen van de logica die leidt naar de topgebeurtenis is gebruik gemaakt van een faalboomanalyse. De complexiteit van het rioolstelsel draagt bij aan de complexiteit van de foutenboom. Dit had tot gevolg dat de HAZOP-studie resulteerde in gecompliceerde faalboomstructuren en een enorm aantal mogelijke bronnen van informatie. Eén voorbeeld van de HAZOP studie is hierna wat gedetailleerder uitgewerkt. Overstroming kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door hydraulische overbelasting van het stelsel wanneer de afvoercapaciteit niet (volledig) beschikbaar is. Overstroming als gevolg van verminderde afvoercapaciteit kan worden veroorzaakt door een menselijke fout, invloeden van buiten of een combinatie van beide (tabel 2)

Tabel 2: Classificatie van mogelijke oorzaken van overstroming door vermindering van capaciteit.

Overstroming	Oorzaken als gevolg van capaciteitsvermindering
	1. Menselijke fout
	1.1. Productiefout
	1.2. Ontwerpfout
	1.3. Constructiefout
	1.4. Fout bij bediening en onderhoud
	1.5. Misbruik
	2. Externe invloeden
	2.1. Wortelingroei
	2.2. Gedeeltelijke instorting
	2.3. Afzettingen
	2.4. Grondinstroming
	3. Menselijke fout & Externe invloeden
	3.1. Andere constructies

3.3 Subclassificatie van oorzaken

Iedere oorzaak die in tabel 2 is omschreven kan worden verklaard door een aantal sub oorzaken. Bijvoorbeeld: er is maar zeer beperkte kennis over inloop van grond (Korving et al, 2003) en inloop van grond wordt nauwelijks waargenomen tijdens visuele rioolinspectie (Ibrahim et al, 2007). De consequentie is dat er meer kennis over dit proces nodig is. In tabel 3 is de mogelijke sub classificatie van oorzaken van grondinloop weergegeven, zoals afgeleid in de HAZOP voor grondinloop die als extern effect overstroming veroorzaakt.

De mogelijke oorzaken van grondinloop zijn talrijk en kennen een grote variatie in soort. Ze kunnen worden onderverdeeld in een groep oorzaken als gevolg van onjuiste materiaalkeuze en constructieve fouten en in een groep oorzaken als gevolg van kwalitatieve achteruitgang van het riool door verschillende factoren.

3.4 Informatie die nodig is per afzonderlijke oorzaak

Tabel 3 toont reeds de informatie die per afzonderlijke oorzaak nodig is. Een aantal gevallen wordt hieronder nader toegelicht.

Uitvoeringsfouten dragen in belangrijke mate bij aan de inloop van grond. Onzorgvuldige aanleg van het riool kan de oorzaak zijn van verschillende gebreken zoals van lekkage van de verbindingen maar zelfs van een volledig structureel falen (Boden et al 1975). Infiltratie van grondwater en, eventueel, inloop van grond zal eerder plaats vinden via de buisverbinding dan via een ander defect van de leiding Fenner (1990). De hoeveelheid grond die met het infiltratiewater in de buis wordt gespoeld hangt af van de karakteristieken van het aanvulmateriaal. Kleinere deeltjes kunnen makkelijk door water meegevoerd worden de buis in. Het is daarom erg belangrijk dat de buizen op de juiste manier worden verbonden en het aanvulmateriaal de juiste kwaliteit heeft. Onjuiste verdichting van de aanvulling kan ook bijdragen aan de inloop van grond in het riool. Fenner (1991) toonde aan dat de mate waarin water en grond het riool in worden gespoeld, afhangt van de karakteristieken van de inbedding en de fundering van het riool. Door een onjuiste inbedding of fundering kunnen zettingen van het riool ontstaan waarna fijne deeltjes met water door de verbindingen kunnen spoelen. Informatie over de aanlegmethode en revisietekeningen kunnen bijdragen aan het vaststellen van de mogelijke kans op inloop van grond.

Tabel 3: Classificatie van mogelijke oorzaken van grondinloop en de bijbehorende informatieve vragen.

2.4. Grondinloop	Oorzaak	Informatie nodig over oorzaak	Waar komt informatie vandaan
2.4.1. Onjuiste ligging van de leiding	- verkeerde grondaanvulling	1. eigenschappen van de aanvulgrond	a. van de constructeur b. van de inmeting
	- gebrek aan toezicht	1. was er toezicht en wie had er toezicht	a. van de gemeente
2.4.2. Schade tijdens aanvulling /verdichting	- buizen nauwelijks/niet verbonden	1. ligging van de buizen	a. van de constructeur b. uit de inspectie
	- harde brokken in aanvulmateriaal	1. eigenschappen van het aanvulmateriaal 2. hoe is er verdicht	a. van de constructeur
2.4.3. Onjuiste inbedding/fundering	- gebrek aan toezicht	1. was er toezicht en wie had er toezicht	a. van de gemeente
	- onjuist gevormde bedding	1. kenmerken van de bedding	a. van de constructeur
2.4.4. Verkeerd geconstrueerde verbindingen	- onjuiste fundering	1. bodemeigenschappen voor fundering	a. van constructeur
	- gebrek aan toezicht	1. was er toezicht en wie had toezicht	a. van de gemeente
2.4.5. Verkeerd keus buis- en verbindingstype /materiaal	- gebrek aan deskundigheid tijdens aanleg	1. revisie tekeningen 2. inspectie resultaten	a. van de constructeur
	- gebrek aan toezicht	1. was er toezicht en wie had er toezicht	a. van de gemeente
2.4.6. Verzwakte structurele onderdelen	- improvisatie wegens lokale omstandigheden conditions	1. revisietekening 2. inspectie resultaten	a. van de constructeur
	- on/ervaren ingenieurs	1. controle ontwerpspecificatie	a. van de ontwerper
2.4.7. Grondwaterniveau	- gebrek aan kwaliteitscontrole	1. controle opleveringsrapport	a. van de constructeur
	- gebrek aan juiste gegevens	1. controle van de kwaliteit oorspronkelijke gegevens voor het ontwerp	a. bronnen van de oorspronkelijke gegevens; (b.v. materiaal →fabricage)
2.4.8. Type/locatie en onderhoud van bomen in de omgeving	- lage sterkte eigenschappen van plastic buizen	1. vervorming van de buizen	a. uit inspectie (bv tv)
	- ernstige vervorming van de buis	1. ernstige scheuren,leidingbreuken, infiltratie	a. uit inspectie (bv TV)
2.4.9. Onjuiste belastingoverdracht	- hoog grondwaterniveau	1. meting grondwaterstand	a. uit meting grondwaterniveau
	- agressief grondwater	1. grondwaterkwaliteit	a. uit meting
2.4.9. Onjuiste belastingoverdracht	- bomen met diep reikende wortels	1. sort bomen	a. van omwonenden
	- bomen dicht bij het riool	1. locatie van bomen	a. van omwonenden
2.4.9. Onjuiste belastingoverdracht	- goede grondkwaliteit	1. grond conditie	a. uit meting
	- onjuiste verkeersbelasting	1. aard en intensiteit verkeer	a. van de gemeente
2.4.9. Onjuiste belastingoverdracht	- belasting door bebouwing rond het riool	1. zijn er de juiste maatregelen getroffen tijdens de aanleg 2. belastingssituatie	a. van de gemeente b. van de inspectie

Gebrek aan toezicht is een belangrijk punt bij het maken van aansluitingen op het riool en bij het maken van de verbindingen. Het is algemeen gebruikelijk dat tijdens en na de aanleg van het riool de juiste uitvoering en de waterdichtheid van de verbindingen wordt getest. Een zelfde test moet worden uitgevoerd voor de aansluitingen die op het riool zijn gemaakt. Oeningen in de buis of andere delen moeten worden voorkomen, omdat hierdoor water en eventueel grond het riool in kan stromen. Het kan belangrijk zijn tijdens de uitvoering constructieve aanpassingen te doen in verband met lokale omstandigheden. Gebrek aan professionaliteit en improvisatietalent tijdens de aanleg kunnen de oorzaak zijn van scheuren en gaten in de buizen waardoor grond het riool in kan stromen. Zoals eerder opgemerkt, kunnen informatie over de aanleg en revisie gegevens nuttig zijn.

De keuze van het type *buis en buisverbinding en materiaal* kunnen ook aanzienlijke invloed hebben op de kans dat grond in het riool wordt gespoeld. De duurzaamheid van de leiding hangt onder andere af van de eigenschappen van het buismateriaal (Sousa et al 2009). Indien bijvoorbeeld het riool is gemaakt van kunststof, is het meest waarschijnlijke defect vervorming van de buizen (WSA/FWR 1993). De openingen ter plaatse van aansluitingen kunnen dan aanleiding zijn voor instromen van gronddeeltjes. Een inspectie kan dan waardevolle informatie geven over de actuele staat van het rioolstelsel en de onderdelen ervan en zo inloop van grond voor zijn. De belangrijkste oorzaak van structurele defecten die gerelateerd zijn aan het verbindingstype is de keuze van een ongeschikt verbindingstype (Park and Lee 1998). De keuze van een ongeschikt verbindingstype of de keuze van een onvoldoende kwaliteit kunnen binnen korte tijd makkelijk leiden tot infiltratie van water en vervolgens inloop van grond. Controle van de opleveringsrapporten en materiaalkwaliteit kan nuttige informatie opleveren voor het inschatten van de kans op grondinloop.

Met de tijd verouderen van afwateringssystemen als gevolg van materiaalveroudering, overbelasting, misbruik en onjuist beheer. Hoe meer verouderde buizen er zijn, hoe groter de kans op problemen als wortelingroei en inspoeling van grond. In de praktijk wordt de kwaliteit van de riolering bepaald met visuele inspectie. Rioolinspecties kunnen zorgen voor waardevolle informatie over de fysieke toestand van het systeem.

Infiltratie van grondwater kan plaats vinden indien de grondwaterspiegel boven het laagste niveau van het riool ligt. Gronddeeltjes kunnen dan door een bestaand defect met het grondwater infiltreren met als resultaat erosie en verlies van grond en vervolgens gebrek aan ondersteuning van het riool door verlies aan dichtheid van de grond of het ontstaan van holtes (Davies et al 2001a). Anderzijds kan erosie van grond ontstaan door hydraulische overbelasting of door een sterke wijziging van de waterniveau's in het riool. Mettertijd kunnen holtes die zijn ontstaan door erosie groter worden en leiden tot volledig verlies aan stabiliteit. Voorts kan grondwater in sterk corrosieve grond een negatief effect hebben op sommige buisverbindingmaterialen (Davies et al, 2001b). In de loop van de tijd kan dan het verbindingmateriaal genoeg degenereren om de inloop van grond in het riool mogelijk te maken. Informatie over het peil en de kwaliteit van het grondwater is noodzakelijk om te bepalen of grondwaterinfiltratie en grondinloop kunnen optreden.

Wortelingroei kan bestaande openingen in het riool groter maken en daardoor inloop van grond mogelijk maken (Schrock 1994). De boomsoort en de afstand tot het riool bepalen het risico op grondinloop en de algehele schade aan het riool (Randrup et al 2001). Als de grond nabij het riool 'aantrekkelijk' is voor de daar staande bomen zal er sneller wortelingroei optreden. Bomen zullen dan groter worden en daarmee ook hun wortels, hetgeen de kans op wortelingroei vergroot. Informatie over de soort bomen en hun positie ten opzichte van het riool kan bijdragen aan het voorkomen van wortelingroei.

Een onjuiste belasting van het riool kan een ander soort schade aan het riool veroorzaken met als gevolg daarvan inloop van grond. Een riool ondervindt verschillende soorten belasting, zoals verkeersbelasting

en belasting door bouwwerkzaamheden in de omgeving. (Davies et al 2001b) toonde aan dat de kans op schade aan het riool door verkeersbelasting toeneemt met het aantal passerende voertuigen. Er kunnen scheuren ontstaan die mettertijd groot genoeg worden om water en grond door te laten in het riool indien het grondwaterpeil hoog genoeg is. Verder kunnen bouwwerkzaamheden in de omgeving trillingen veroorzaken die in korte tijd het riool ernstig kunnen beschadigen zodat weer grondinloop kan plaats vinden. Informatie over verkeersintensiteit en bouwwerkzaamheden kan helpen bij het beoordelen van schade aan het riool.

Tabel 4: Mogelijke informatiebronnen voor het beoordelen van grondinloop.

	Revisie-gegevens	Grondeigenschappen	Inspecties	veldmetingen
Plaatsen van de buis	+	+	+	+
Aanvullen/ verdichten grond	+	+		
Inbedding/fundering	+	+		
Aansluitingen/verbindingen	+		+	
Type en materiaal leiding/verbinding	+			
Verzwakte onderdelen			+	
Grondwaterpeil				+
Wortelingroei		+	+	+
Overdracht belasting			+	+

Tabel 3 laat zien dat de meeste benodigde informatie in relatie tot grondinloop gevonden kan worden bij de gemeente en de constructeur/aannemer. In tabel 4 is aangegeven dat er vier groepen van mogelijke informatiebronnen zijn te onderscheiden. In de praktijk zijn de standaard informatiebronnen opleveringsinspecties en tv-inspecties.

Er kunnen echter nog veel meer informatiebronnen worden beschouwd. Zo kan bijvoorbeeld informatie uit verkeersdichtheidsmetingen en informatie over de bomen in de nabijheid van het riool een bijdrage leveren aan het tegengaan van grondinloop. Een groot deel van de benodigde informatie voor het beoordelen van grondinloop kan worden verkregen uit revisiegegevens en uit de beschikbare kennis van de aanwezige grond.

4. Conclusies

De HAZOP-techniek heeft bewezen toepasbaar te zijn bij de analyse van de informatiebehoefte voor het rioolbeheer. Hiermee worden de belangrijkste processen en defecten geïdentificeerd die verantwoordelijk zijn voor falen in de constructie en de werking van het riool. Tevens laat HAZOP zien hoe hierover informatie kan worden verkregen. Bovendien toont deze analyse aan dat de leeftijd van het riool en tv-inspectie, die als eerste bron van informatie worden gebruikt in het rioolbeheer en beheermodellen, slechts een beperkte kennis geven over de actuele staat van het riool. Verder laat de HAZOP-methode zien dat er naast de leeftijd van het riool en tv-inspectie nog een groot aantal andere informatiebronnen zijn, die voor het rioolbeheer nuttig zijn. Verder onderzoek zal zich richten op het kwalificeren en kwantificeren van faalprocessen, inclusief het vaststellen van de benodigde informatie. Hierbij zal gebruikt worden gemaakt van foutenboom analyses.

5. Dankwoord

De schrijvers willen hun erkentelijkheid uitspreken aan de volgende instanties voor hun financiële ondersteuning van het onderzoeksprogramma voor Stedelijke Riolerings, in alfabetische volgorde: ARCADIS, DHV, Gemeente Almere, Gemeente Breda, Gemeente 's-Gravenhage, Gemeentewerken Rotterdam, GMB Riolerings technieken, Grontmij, KWR Watercycle Research Institute, Royal Haskoning, Stichting RIONED, STOWA, Tauw, Vandervalk & De Groot, Waterboard De Dommel, Waterboard Vallei & Eem, Waternet en Witteveen+Bos.

Tevens willen de schrijvers de volgende personen bedanken voor hun hulp in de HAZOP-bijeenkomsten, Michel Moens, Ton Beenen, Harry van Luijtelaar, Martien van der Valk, Martin Nederlof, Ruud Holtzer, Michel Sikkes, Marcel Tirion, Arie Markus, Andre Klink, Cornelis de Haan, Jojanneke Dirksen, Martijn Klootwijk, Bert Verburg, Thomas Staverman en Hans Mols. ■

6. Referenties

- Ana, E., and Bauwens, W. (2007). "Sewer Network Asset Management Decision Support Tools: A Review." Presented at International Symposium on New Directions in Urban Water Management, UNESCO Paris, France.
- Ashley, R., and Hopkinson, P. (2002). "Sewer systems and performance indicators--into the 21st century." *Urban water*, 4(2), 123-135.
- Boden, J., Nath, P., Trott, J., and Farrar, D. (1975). "Research on underground pipelines at the Transport and Road Research Laboratory".
- Davies, J., Clarke, B., Whiter, J., and Cunningham, R. (2001a). "Factors influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes." *Urban Water*, 3(1-2), 73-89.
- Davies, J. P., Clarke, B. A., Whiter, J. T., Cunningham, R. J., and Leidi, A. (2001b). "The structural condition of rigid sewer pipes: a statistical investigation." *Urban Water*, 3(4), 277-286.
- Dirksen, J., Goldina, A., Ten Veldhuis, J., and Clemens, F. (2009). "The role of uncertainty in urban drainage decisions: uncertainty in inspection data and their impact on rehabilitation decisions." *Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures*, 273.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft. (2006). DWA-M 149-2: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion (Condition assessment and evaluation of drainage systems outside of buildings Part 2: Coding for visual inspection). Germany.
- Elachachi, S., Breyse, D., and Vasconcelos, E. "Uncertainties, quality of information and efficiency in management of sewer assets." Presented at Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montréal, Canada.
- Fenner, R. (1990). "Excluding groundwater infiltration into new sewers." *Water and Environment Journal*, 4(6), 544-551.
- Fenner, R. (1991). "Influence of sewer bedding arrangements on infiltration rates on soil migration." *Proceedings of ICE, Municipal Engineer (Institution of Civil Engineers)*, 8(3), 105-117.
- Fenner, R. A. (2000). "Approaches to sewer maintenance: a review." *Urban Water*, 2(4), 343-356.
- Frosdick, S. (1997). "The techniques of risk analysis are insufficient in themselves." *Disaster Prevention and Management*, 6, 165-177.
- Halfawy, M. R., Dridi, L., and Baker, S. (2008). "Integrated decision support system for optimal renewal planning of sewer networks." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22, 360.
- Ibrahim, M., Cherqui, F., Le Gauffre, P., and Wery, C. (2007). "Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators."
- Isograph. (2011). ReliabilityWorkbench 11. FaultTree+ Software. <http://www.isograph-software.com/2011/software/reliability-workbench/> (accessed 02 July 2012).
- Korving, H., Van Noortwijk, J., Van Gelder, P., and Parkhi, R. (2003). "Coping with uncertainty in

- sewer system rehabilitation." Safety and Reliability. Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBM, 90(5809), 551.
- Marsalek, J. (1998). "Challenges in urban drainage." Hydroinformatics tools for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems, NATO ASI Series, 2, 1-23.
 - Marsalek, J., and Schilling, W. (1998). "Operation of sewer systems." NATO ASI SERIES 2 ENVIRONMENT, 44, 393-414.
 - Montague, D. F. (1990). "Process risk evaluation--What method to use?" Reliability Engineering & System Safety, 29(1), 27-53.
 - Murthy, D., Atrens, A., and Eccleston, J. (2002). "Strategic maintenance management." Journal of Quality in Maintenance Engineering, 8(4), 287-305.
 - Nederlands Normalisatie-instituut. (2003). NEN-EN 13508-2: Toestand van de buitenriolering - Coderingssysteem bij visuele inspectie (Conditions of drain and sewer systems outside buildings - Part 2: Visual inspection coding system). the Netherlands.
 - Nederlands Normalisatie-instituut. (2008). NEN-EN 752: Buitenriolering (Drain and sewer systems outside buildings). the Netherlands.
 - Park, H., and Lee, I. (1998). "Existing sewer evaluation results and rehabilitation strategies: the city of Seoul, Korea." Environmental technology, 19(7), 733-739.
 - Randrup, T. B., McPherson, E. G., and Costello, L. R. (2001). "Tree root intrusion in sewer systems: review of extent and costs." Journal of Infrastructure Systems, 7(1), 26-31.
 - Schrock, B. J. (1994). "Existing sewer evaluation and rehabilitation", F.-. ASCE Manual and Report on Engineering Practice. No. 62: Water Environment Federation Manual of Practice, (ed.). The Joint Task force of the Water Environment Federation and the American Society of Civil Engineers: New York.
 - Sousa, V., Ferreira, F., Almeida, N., Saldanha, J., Martins, J., and Teixeira, A. (2009). "A simplified technical decision support tool for the asset management of sewer networks." Water Asset Management International, 5(1), 3-9.
 - Stone, S. L., Dzuray, E. J., Meisegeier, D., Dahlborg, A. S., Erickson, M., Laboratory, N. R. M. R., and Institute, L. M. (2002). Decision-support tools for predicting the performance of water distribution and wastewater collection systems: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
 - Walder, T. C. (2011). Financing of the Dutch water systems Netherlands Water Partnership.
 - WSA/FWR. (1993). Materials selection manual for sewers, pumping mains and manholes UK Water Industry Sewers and Water Mains Committee.

Agenda

September 2012

20 september 2012

Cursus Slibgisting. Cursus Handboek Slibgisting. STOWA / Stichting Wateropleidingen.
http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/Agenda/

20 september 2012

Cursus over het gebruik van het nabezinktankmodel FAST2D. Amersfoort: 13.00 - 16.30 uur
http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/Agenda/

27 september 2012

Cursus Slibgisting. Cursus Handboek Slibgisting. STOWA / Stichting Wateropleidingen
http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/Agenda/

27 september 2012

Closing cycles in the industry. TCA-werkgroep. Hotel de Nieuwe Wereld Wageningen. 9:30h
<http://www.waternetwerk.nl/agenda/evenement/155/>

27 september 2012

RIONED Maxi- en minicursussen. Jaarbeurs Utrecht.
<http://www.riool.net/riool/pages/showPage.do?itemid=6407>

28 september 2012

Nacht van de onderzoekers. Verschillende locaties. www.nachtvandeonderzoekers.be

Oktober 2012

9 oktober 2012

Negende Platformbijeenkomst Nieuwe Sanitatie.
 Kontakt der Continenten, Soesterberg: 12.00 - 17.00 uur
http://www.stowa.nl/nieuws_agenda/Agenda/

11 oktober 2012

Hoe zuiver is lozen nog?
 Waternetwerk programmagroep Bestuurlijke Aspecten. Waternet Amsterdam. 9:00 uur.
<http://www.waternetwerk.nl/agenda/evenement/154/>

11 oktober 2012

Community Stedelijk Water goes digital! Waternetwerk programmagroep Stedelijk Water.
<http://www.waternetwerk.nl/agenda/evenement/157/>

11 oktober 2012

Wat kost die zuivering? SKIW en Waternetwerk.
<http://www.waternetwerk.nl/agenda/evenement/158/>