



Duurzaamheid en onderhoud van ondergrondse infiltratiesystemen

Inleiding

Geïntegreerd Regenwaterbeheer (GRB) is een aanpak die recent door steden is aangenomen om twee grote uitdagingen aan te pakken: de toenemende verharding van stedelijke oppervlakken en de klimaatontregeling. De uitbreiding en verdichting van steden hebben geleid tot een quasi-systematische opvang van regenwater door de rioleringsnetwerken, na afstroming over ondoorlatende oppervlakken. Tegelijkertijd versterkt de toename van periodes van droogte en hevige regenval, gekoppeld aan de klimaatopwarming, de verzadiging van de rioleringsnetwerken en verhoogt dit de overstromingsrisico's in kwetsbare gebieden.

GRB heeft in de eerste plaats tot doel de natuurlijke infiltratie van regenwater in stedelijk gebied te herstellen, waardoor de afhankelijkheid van riolering wordt verminderd (Bruxelles Environnement & Bruxelles Mobilité, 2023; VLARIO, 2025). Wanneer de aanleg van groene oppervlakken niet haalbaar is, worden alternatieve oplossingen zoals ondergrondse infiltratiesystemen overwogen. Deze systemen maken het mogelijk om afstromend water tijdelijk te bufferen én geleidelijk in de bodem te laten infiltreren.

Ondergrondse infiltratiesystemen kunnen worden onderverdeeld in verschillende categorieën: opslagkamers (zoals infiltratiekratten of infiltratiekelders), verticale infiltratieputten of -bakken, geperforeerde horizontale of verticale buizen, en oplossingen die geïntegreerd zijn in de wegconstructie. Talrijke publicaties over deze systemen hebben hun vermogen om piekdebieten af te vlakken en de risico's van zware regenval te beperken in de kijker gezet, en hebben tevens de goede praktijken voor de aanleg ervan gespecificeerd (COPRO, 2021a, 2021b; Sidek et al., 2002, October 14-16; Vanelstraete et al.).

Bovendien vertonen deze systemen een gemeenschappelijke kwetsbaarheid voor verstopping. De geotextiële membranen zijn bedoeld om het water te filteren en de zwevende deeltjes buiten het systeem tegen te houden, ten koste van een geleidelijke verstopping van hun poriën. Daarom moet er een periodiek onderhoud via hogedrukspoeling worden uitgevoerd, vooral wanneer er geen voorbehandeling van het water stroomopwaarts van het betreffende systeem plaatsvindt. Het gebrek aan ervaringsgegevens maakt het echter momenteel onmogelijk om de impact van dit onderhoud op de prestaties en de levenscyclus van deze systemen te kwantificeren.

Doelstellingen van het project

Om deze kennislacune op te vullen, heeft OCW een project opgestart rond een ondergronds infiltratiesysteem op ware grootte in een hiervoor aangepaste container, aangesloten op een watercircuit met een standaard anorganische verontreinigende stof. De materialen en methoden die voor de ontwikkeling ervan zijn gebruikt, voldoen aan de gangbare lastenboeken. Het eerste doel van deze testopstelling bestaat erin na te gaan of het protocol de levenscyclus van infiltratiesystemen getrouw kan simuleren, via cycli van verstopping en reiniging. In een tweede fase bestaat het doel van dit project erin verstoppingsscenario's te reproduceren, de doeltreffendheid van reinigingsprotocollen te verifiëren, en de impact op lange termijn op de infiltratiecapaciteit na te gaan. De uitgevoerde experimenten hebben betrekking op initieel vastgelegde parameters, zoals het infiltratieregime, de inerte verontreinigende stof die verantwoordelijk is voor de verstopping, het infiltratiesysteem en de reinigingsmethoden.

Ontwerp en methodologie

Het ontwerp van de testopstelling vereiste aspecten van civiele techniek, hydraulica, instrumentatie, automatisering en een grondige kennis van de technische voorschriften van de sector. De testopstelling bestaat uit zeven componenten: een waterbuffer container, leidingelementen in gesloten circuit, twee pompen met variabel debiet, een toegangspuit, een menger voor de verontreinigende stof, een beproevingscontainer met daarin de drainerende bodem en het infiltratiesysteem, en een magnetisch-inductieve debietmeter (Figuur 1). Een achtste component, de technische container, centraliseert de bedieningen en zorgt voor real-time monitoring van de experimentparameters, wat veiligheid en automatisering garandeert.



Figuur 1 – Geannoteerde luchtfoto van de testopstelling, geïnstalleerd langs het gebouw van OCW in Wavre.

De montage van de testopstelling bracht talrijke technische uitdagingen met zich mee, met name de noodzaak om de containers met grote precisie te positioneren, om redenen van balans en waterafvoer. Het aanpassen van de beproevingscontainer aan de vereiste aansluitingen van in- en uitgaande leidingen, evenals een bescherming tegen corrosie. Na voorbereiding van de container (zandstralen, anticorrosieverf) werd een dubbele bodem aangebracht, bestaande uit geperforeerde belastingsplaten in gegalvaniseerd staal om de waterafvoer te vergemakkelijken. Een op maat gemaakte scheidingsgeotextiel werd nauw aansluitend aan de wanden en de bodem geplaatst.

Het infiltratiezand werd geselecteerd op basis van criteria uit de gangbare bestekken en technische aanbevelingen, met name op basis van zijn korrelgrootte – uniform en met een beperkt gehalte aan fijne deeltjes – en conforme mechanische weerstandswaarden. Het gekozen zand is een gewassen infiltratiezand 0/4 mm van Holcim S.A., waarvan de Proctorcurve en de doorlatendheid in het laboratorium werden gemeten. De vulling van de beproevingscontainer gebeurde in lagen van twintig centimeter bovenop een scheidingsgeotextielmembraan, conform de technische vereisten van de bestekken. Het infiltratiesysteem wordt afhankelijk van het type omhuld met een filtratiegeotextielmembraan, vervolgens omhuld en bedekt met de volgende zandlagen, verdicht volgens hetzelfde protocol (Figuur 2). De verdichtingskwaliteit van elke laag wordt gecontroleerd via gammadensimetrie, waarna het geheel wordt gevalideerd door controleproeven met de slagsonde type OCW en met de Panda-penetrometer.

Er werden twee eerste infiltratiesystemen getest: de ultralichte honingraatstructuren (SAUL) (Figuur 2A) en de geperforeerde buis (Figuur 2B), beide in polypropyleen. De afdichting van de verbindingen wordt verzekerd door siliconenvoegen, een rubberen afdichtband, een laag geotextiel, eventueel vastgelijmd en versterkt met polyurethaanschuim. De holle kratten werden binnen in de container gemonteerd, terwijl de geperforeerde buis als één geheel werd ingebouwd. Een derde infiltratiesysteem, bestaande uit twee in elkaar gestoken buizen in poreus beton, wordt momenteel geanalyseerd. Door de aard zelf van het poreuze beton is de aanwezigheid van het filtratiegeotextielmembraan niet nodig, maar de voorschriften voor de aansluiting van de leidingen blijven identiek aan die van de geperforeerde buis.

Het watercircuit van de testopstelling bestaat voornamelijk uit leidingen in PVC-HD, met diverse adapters en verbindingstukken in inox, evenals afgeschuinde secties vervaardigd via 3D-printen om de perfecte aansluiting van de verschillende aanwezige diameters te garanderen. Een geheel van kleppen regelt het openen/sluiten van de waterbuffer, de richting van het water in gesloten circuit of de eventuele afvoer naar het rioleringsnetwerk, en maakt tevens het vullen van de waterbuffer mogelijk (Figuur 1).



Figuur 2 – Installatie van de twee eerste infiltratiesystemen in de testopstelling.

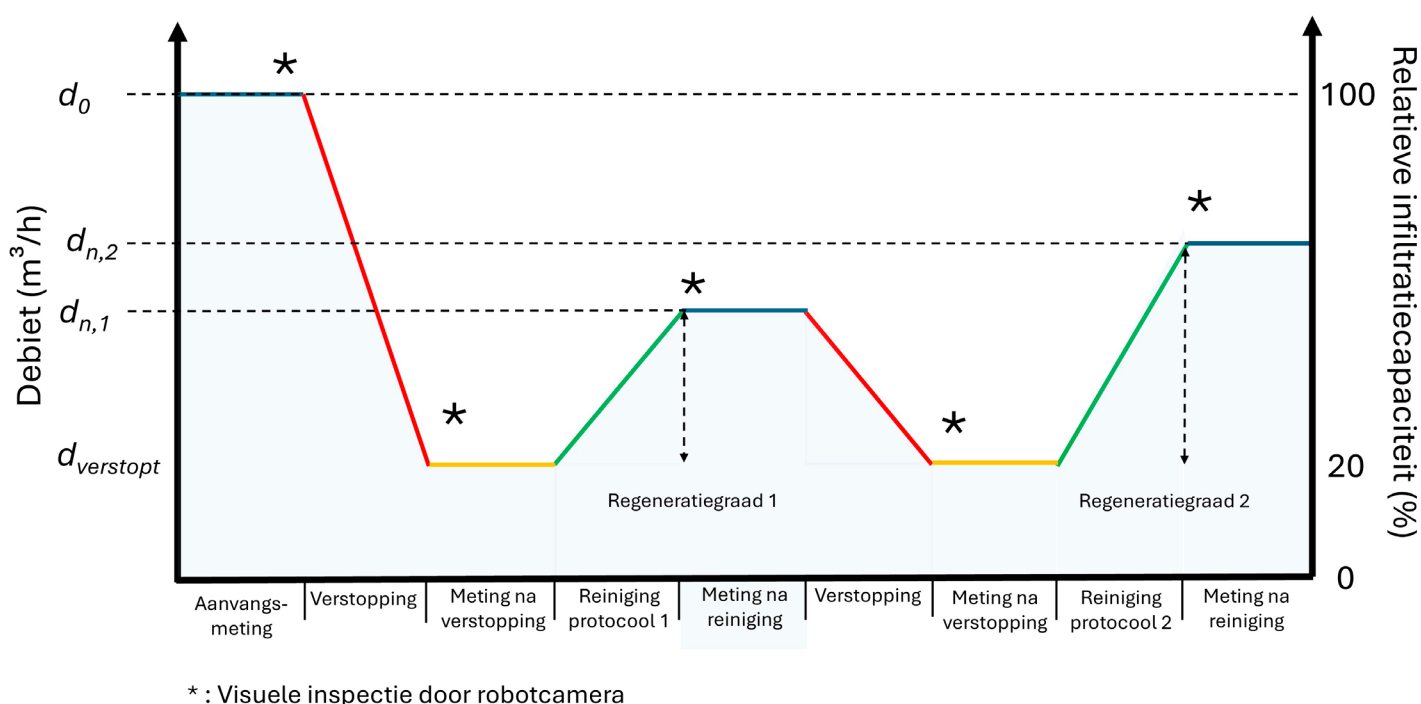
A: Ultralichte honingraatstructuren (holle kratten) tijdens montage binnenin het filtratiegeotextielmembraan type 5.3 (COPRO, 2024); B: Geperforeerde buis, geleverd omhuld met hetzelfde type membraan.

Bovenop het waterreservoir bevindt zich een structuur van stalen lamellen, geïnstalleerd om de opname van afval en de groei van algen te voorkomen, wat de zuiverheid van het water en de veiligheid van het systeem waarborgt (Figuur 1).

De menger bevindt zich tot slot boven het gehele circuit (Figuur 1). Via deze tank wordt de verontreinigende stof – een kwartszand (Millisil® W4), waarvan de korrelverdeling ontworpen is om de verstopping van de geotextielmembranen te maximaliseren – in suspensie gebracht alvorens in het hoofdcircuit te worden opgenomen.

Proeven

Een volledige proef beoogt eerst de infiltratiecapaciteit van het systeem in nieuwe staat vast te stellen. Vervolgens wordt de verontreinigende stof trapsgewijs toegevoegd, waarbij de daling van de infiltratiecapaciteit in real time wordt gemonitord. De verstopping eindigt wanneer deze daling de arbitraire waarde van 80% van de initiële capaciteit heeft bereikt, of wanneer de waarde stagneert ongeacht de hoeveelheid toegevoegde verontreinigende stof (Figuur 3). Daarna volgt een reinigingsproef, uitgevoerd door een gespecialiseerd bedrijf, waarbij het infiltratiesysteem wordt ontstopt, en de capaciteit van het systeem na reiniging wordt gemeten om de regeneratiegraad van het systeem te kwantificeren. Het testprotocol voorziet dat elk systeem tweemaal wordt verstopt, zodat twee afzonderlijke reinigingsprotocollen kunnen worden uitgevoerd (Figuur 3). Bij elke stap wordt een visueel onderzoek van de binnenkant van het infiltratiesysteem uitgevoerd met een robotcamera die via de toegangspuit wordt ingebracht, wat de hoeveelheid en het gedrag van de verontreinigende stof doorheen het systeem onthult.

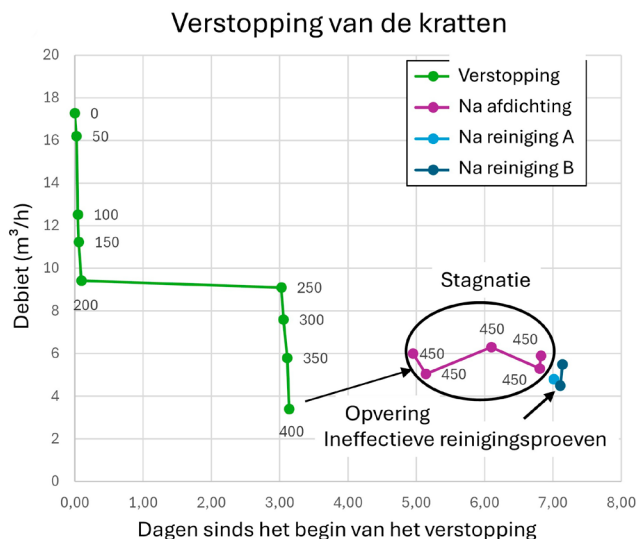


Figuur 3 – Theoretisch principe van een proef, onderverdeeld in de verschillende stappen ervan, uitgedrukt in termen van schijnbare debieten, of ten opzichte van de initiële infiltratiecapaciteit van het systeem.

Resultaten

Ultralichte honingraatstructuren

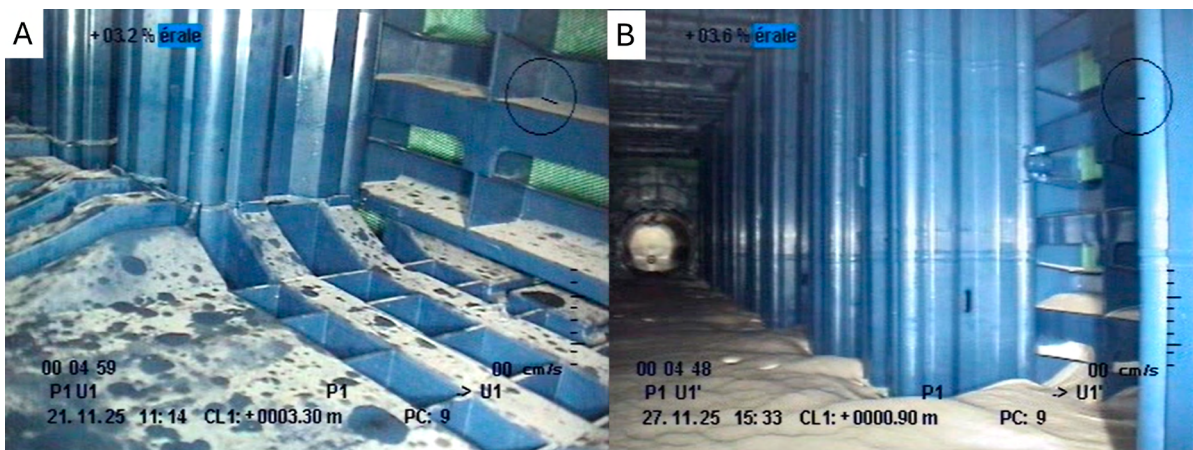
Tijdens de verstoppingsproeven van de holle kratten werd al snel vastgesteld dat een aanzienlijke hoeveelheid Millisil® W4 nodig was om een significante verstopping te bekomen (Figuur 4). Daartoe werd de verontreinigende stof in cycli van 50 kg toegevoegd via de menger, wat resulteerde in de vorming van zichtbare afzettingen in de toegangspuit. De analyse van het debiet, gecorreleerd aan de pompfrequentie, toonde een lineair verband met de aan het systeem toegevoegde massa Millisil®. Deze lineaire afname stopte toen het debiet daalde tot 3,4 m³/u, wat overeenkomt met 20% van de initiële infiltratiecapaciteit. Metingen die twee dagen later uitgevoerd werden, toonden echter, bij gelijkblijvende verzanding, een stijging van de infiltratiecapaciteit tot een waarde van 30%, wat suggereert dat het laten rusten van het systeem gedurende meerdere uren het lineaire verstoppingsregime doorbreekt (Figuur 4). De bijkomende toevoeging van Millisil® maakte het niet mogelijk opnieuw de drempel van 20% resterende capaciteit te bereiken.



Figuur 4 – Debietmetingen van de holle kratten tijdens een experiment, met in de bijschriften de totale toegevoegde hoeveelheden verontreinigende stof, in kg.

Een eerste reinigingspoging werd uitgevoerd met een spuitkop aangedreven door waterstralen onder druk. De voortgang van de spuitkop werd belemmerd door de rechthoekige structuur van de kratten, wat het gebruik van een zwaardere kop en geleiding door middel van een koord – ingebracht via het andere uiteinde van de container – noodzakelijk maakte, een methode die niet overeenkomt met de reële omstandigheden van een ondergronds systeem. Na twee doorgangen van de spuitkop vertoonde de infiltratiecapaciteit geen enkele verbetering. Er werd een tweede reinigingsprotocol geprobeerd met een andere spuitkop en een verhoogde druk, zonder significante verbetering van de infiltratiecapaciteit van het systeem (Figuur 4).

De visuele onderzoeken, uitgevoerd met een robotcamera zoals gebruikt bij visuele onderzoeken van rioolleidingen, maakten het mogelijk elke fase van de experimenten in beeld te brengen: in nieuwe staat, na verstopping, en vervolgens na elke reiniging (Figuur 5). Er werd een zeer homogene afzetting van Millisil® waargenomen op het onderste oppervlak van de kratten, in tegenstelling tot de wanden, die relatief vrij bleven voorbij de eerste centimeters, waardoor het geotextielmembraan zichtbaar bleef (Figuur 5). De reinigingen verminderden de hoeveelheid verontreinigende stof binnenin het systeem, hoewel een aanzienlijk deel op zijn plaats bleef, vooral in de tussenruimtes.



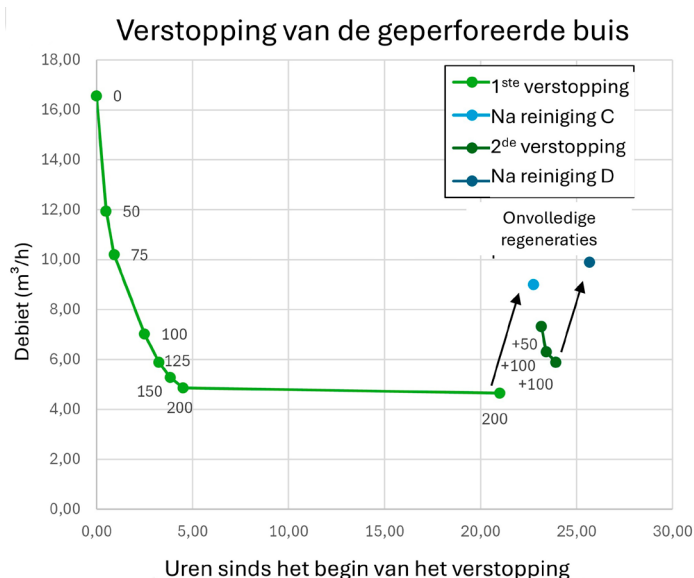
Figuur 5 – Visuele inspectie van de binnenkant van de holle kratten, in nieuwe staat (A) en verstopt (B).

De structuur van de holle kratten in meerdere rijen had ook een impact op de doeltreffendheid van de reiniging, aangezien de spuitkop enkel langs de centrale as kon voortgaan. Het bed van verontreinigende stof in het zijvak bleef nagenoeg intact. Tot slot werd vastgesteld dat niet de volledige toegevoegde massa Millisil® heeft bijgedragen aan de verstopping: een deel van het zand bezonk op de bodem van de toegangspuit en de aansluitende leiding, terwijl een ander deel doorheen het geotextielmembraan drong.

Gesleufde buis

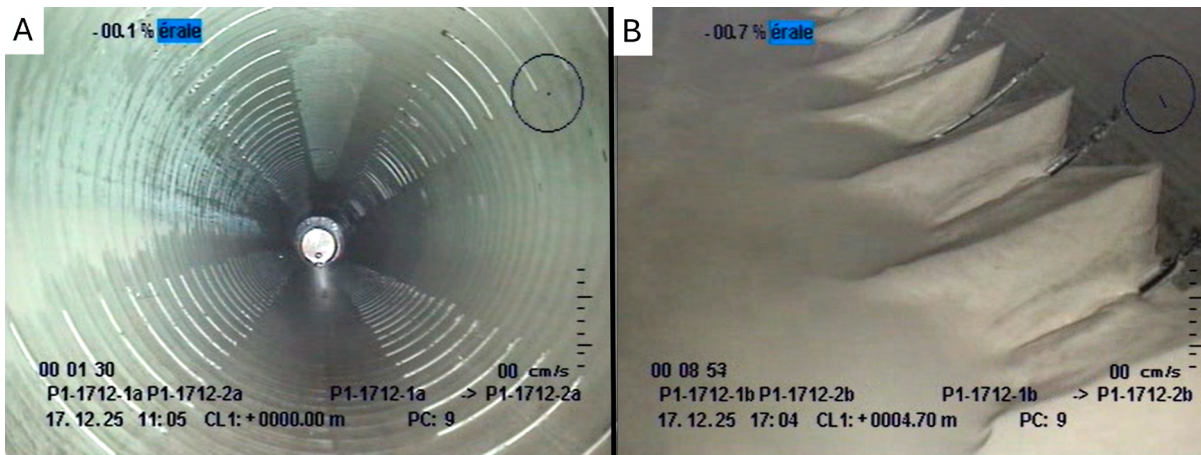
Tijdens de verstoppingsproeven van de gesleufde buis veroorzaakte een eerste toevoeging van 50 kg Millisil® een aanzienlijke debietdaling van ongeveer $5 \text{ m}^3/\text{u}$, veel uitgesprokener dan wat werd waargenomen bij de holle kratten (Figuur 6). De verstopping werd voortgezet met stappen van 25 kg, wat leidde tot de vorming van een zandbed op de bodem van de toegangspuit. Om de impact van deze afzetting op het verloop van het experiment te beperken, werden kunstmatige debietschommelingen in de pomp aangebracht om het zand opnieuw richting de infiltratiebuis te mobiliseren.

De metingen van het debiet tijdens de verstopping toonden een pseudo-lineair gedrag over de eerste 100 kilogram verontreinigende stof (Figuur 6). Voorbij 125 kg brak het lineaire verband echter af, met een stabilisatie op een restdebiet van ongeveer $5 \text{ m}^3/\text{u}$ (oftewel 29% van de initiële capaciteit). Het experiment werd stopgezet vóór de drempel van 20% werd bereikt. Een meting de volgende dag bevestigde de afwezigheid van het opveringseffect dat bij de holle kratten werd waargenomen (Figuur 6).



Figuur 6 – Debietmetingen van de gesleufde buis tijdens een experiment, met in de bijschriften de totale toegevoegde hoeveelheden verontreinigende stof, in kg.

De eerste reiniging maakte het mogelijk de infiltratiecapaciteit te herstellen tot $9 \text{ m}^3/\text{u}$, wat wijst op een opmerkelijke regeneratiegraad. Een tweede verstopping werd uitgevoerd door 100 kg bijkomend Millisil® toe te voegen, maar de exacte hoeveelheid aanwezig zand blijft onbepaald, aangezien een deel tijdens de eerste reiniging werd opgezogen. Deze tweede verstopping werd gevolgd door een reiniging volgens een tweede protocol, waarbij een grotere spuitkop werd gebruikt die in staat is grotere volumes water voort te stuwen. Na deze ingreep steeg de infiltratiecapaciteit tot $9,9 \text{ m}^3/\text{u}$, oftewel bijna 60% van het initiële potentieel (Figuur 6).



Figuur 7 – Visuele inspectie van de binnenkant van de geperforeerde buis, in nieuwe staat (A) en verstopt (B).

De visuele onderzoeken, uitgevoerd op dezelfde stadia van het experiment als bij de holle kratten, maakten het mogelijk de respons van dit tweede systeem op de Millisil®-afzettingen te observeren (Figuur 7). Hun geometrie verschilt van wat werd waargenomen bij de holle kratten: ze volgen de ronde vorm van de buis en presenteren zich als kammen die aan kieuwen doen denken tussen de sleuven. Deze zichtbare afzettingen konden na elke reiniging worden verwijderd (Figuur 7).

Discussie

Relevantie van de gebruikte verontreinigende stof

De observaties uitgevoerd op de testopstelling tijdens het onderhoud ervan hebben aangetoond dat een deel van de Millisil® W4 doorheen de geotextielfembranen en het infiltratiezand is gedrongen, alvorens het systeem te verontreinigen. Dit gedrag wordt verklaard door de fijnheid van dit materiaal, waarvan een aanzienlijke fractie kleiner is dan de karakteristieke openingsgrootte van het filtratiegeotextiel (Bureau de Normalisation [NBN], 2016; COPRO, 2024; Neupert et al., 2021). Hoewel deze migratie nog niet precies gekwantificeerd kon worden, lijken de in het watercircuit teruggevonden hoeveelheden beperkt te blijven ten opzichte van de geïnjecteerde massa's. Deze vaststellingen bevestigen niettemin dat Millisil® W4 een relevante verontreinigende stof vormt om verstopping te bestuderen, aangezien het zowel de korrelgroottes vertegenwoordigt die doorheen de geotextielfembranen van ondergrondse infiltratiesystemen kunnen dringen, als de korrelgroottes die deze kunnen verstopen (Neupert et al., 2021).

Het experimentele opzet berust echter op een principe van versnelde veroudering, dat concentraties van zwevende deeltjes van meerdere tientallen gram per liter vereist, veel hoger dan het gebruikelijke bereik dat in stedelijke omstandigheden wordt waargenomen (0,03 – 0,15 g/L) (Boogaard, 2015; Boogaard et al., 2015). De massa van de zwevende verontreinigende stof maakt het mogelijk om binnen enkele uren fenomenen te reproduceren die zich normaal gezien over meerdere jaren zouden ontwikkelen, ten koste van een aanzienlijke afwijking van de gebruikelijke concentraties die in afstromend water worden waargenomen. Ondanks deze beperking tonen de proeven duidelijk de belangrijke rol aan van de fijnste deeltjes in het verlies van infiltratiecapaciteit, evenals hun vermogen om doorheen de bodemlagen te worden uitgespoeld. Deze resultaten benadrukken dus het belang van een regelmatige opvolging en een aangepast onderhoud, om de hydraulische prestaties van de systemen duurzaam te behouden en hun geleidelijke achteruitgang te beperken.

Verschillende verstoppings- en reinigingsmechanismen

De twee geteste systemen vertonen reacties op verstopping die een definitief gedeeltelijk verlies laten zien. De omvang van dit verlies, evenals de snelheid van verstopping, is daarentegen afhankelijk van parameters die inherent zijn aan de geometrie van de gebruikte infiltratiesystemen:

De holle kratten vertonen een grotere traagheid ten opzichte van verstopping, door een groter buffervolume en een grotere infiltratieoppervlakte (Tabel 1). Een lineaire regressie maakte het mogelijk te schatten dat elke kilogram Millisil® de infiltratiecapaciteit met 33 L/u verminderde, over het volledige verstoppingsproces (tot 400 kg toegevoegd aan het systeem, Tabel 1). Het bestaan van een opveringseffect op de infiltratiecapaciteit na een rustperiode (Figuur 4) vindt zijn oorsprong in de laterale infiltratie, die geleidelijk dominant wordt naarmate de Millisil® het onderste vlak verstopt. Zwevende deeltjes van de verontreinigende stof verstopen de poriën van het geotextiel langsheen de wanden, zolang een stroming ze op hun plaats houdt. Het einde van de verstopping brengt met zich mee dat deze deeltjes sedimenteren naarmate het waterniveau daalt, waardoor het geotextielfembraan op de zijwanden van de holle kratten vrijkomt. Ondanks de opzuiging van een aanzienlijk volume zand toonden de twee reinigingsprotocollen geen significante winst in infiltratiecapaciteit. Er wordt gesuggereerd dat deze status quo wordt veroorzaakt door de rechthoekige doorsnede van de holle kratten, wat inhoudt dat het water onder druk afkomstig van de reinigingsspuitskop niet het volledige volume van het systeem met dezelfde intensiteit bereikt. Bovendien maakten de talrijke tussenruimtes aan de onderzijde van de modules het onmogelijk om de daar afgezette Millisil® op te zuigen.

De geperforeerde buis reageert van haar kant heviger op de verstopping, met in een eerste fase een vermindering van de infiltratiecapaciteit van bijna 95,4 L/u per kg Millisil® over de eerste 100 kilogram toegevoegde verontreinigende stof (Tabel 1). Dit komt overeen met een reactiviteit die drie keer hoger ligt dan die van de holle kratten over hetzelfde interval, veroorzaakt door haar krappere afmetingen (Tabel 1). Deze eerste verstoppingsfase – het lineaire regime in Figuur 6 – komt waarschijnlijk overeen met een doortocht van de zwevende Millisil® doorheen de onderste sleuven van de buis. De overgrote meerderheid van de verontreinigende stof wordt dan tegengehouden aan het grensvlak tussen de buis en het filtratiegeotextiel, hoewel een deel doorheen de openingen van het geotextielmembraan is gedrongen. De Millisil® heeft zich daar opgehoopt tot het punt waarop het onderste gedeelte van dit grensvlak verstopt raakte. Het wordt daarom vermoed dat het tweede regime – waarin de debietwaarden afvlakken – het geleidelijke doeltreffendheidsverlies van de onderste sleuven van de geperforeerde buis in de kijker zet, waarbij de Millisil® zich tussen deze onderste sleuven afzet in de vorm van kammen. De residuele infiltratiecapaciteit, wanneer deze naar 4,5 m³/u neigt, komt dan ook overeen met een infiltratie die gedomineerd wordt door de bovenste sleuven van de buis. De gebruikte reinigingsprotocollen maakten het mogelijk om het volledige volume verontreinigende stof dat binnenin de buis was vastgezet, op te zuigen, wat het herstel van de infiltratiecapaciteit van het systeem naar waarden van ongeveer 55-60% verklaart (Figuur 6). Het volume Millisil® dat zich echter tussen de buis en zijn geotextiel heeft afgezet, is ontoegankelijk voor de reinigingsspuitskop, wat zou verklaren waarom de debietwaarden in nieuwe staat nooit opnieuw worden bereikt.

	Volume (m³)	Infiltratieoppervlakte (m²), volgens:		Verstoppings-snelheid L/(h.kg)
		Vlaamse gewest ⁽¹⁾	Waalse gewest ⁽²⁾	
Holle kratten	3,175	6,608	5,040	-33,0
Geperforeerde buis	0,498	3,063	1,950	-95,4

Tabel 1 - Volume- en oppervlaktekenmerken van de twee tot nu toe in de testopstelling geteste infiltratiesystemen, evenals de initiële reactie op verstopping, uitgedrukt als debietverlies per kg toegevoegde verontreinigende stof. (1) In het Vlaamse Gewest wordt de infiltratieoppervlakte berekend op basis van de oppervlakte van de zijwanden van het systeem (Eyerman, 2024); (2) In Wallonië komt de infiltratieoppervlakte van een systeem overeen met zijn horizontale projectie (Teller et al., 2023).

Doeltreffendheid op langere termijn

Ondanks uiteenlopende resultaten inzake de weerstand op lange termijn tegen verstopping door fijne deeltjes, vertonen deze twee infiltratiesystemen eenzelfde significant verlies dat geen van de geteste reinigingsprotocollen kon herstellen (Figuren 4, 5). Hoewel de geperforeerde buis gedeeltelijk kon worden ontdaan van zijn volume verontreinigende stof, herinneren de bekomen resultaten eraan dat een regelmatig onderhoud in staat blijft om de levensduur ervan te verlengen. Dezelfde vaststelling geldt voor de holle kratten, al zou hun levensduur, in het licht van deze eerste resultaten, toenemen indien het water dat erin infiltreert eerst een voorbehandeling zou ondergaan. Een eerste filtratie zou het immers mogelijk maken de deeltjeslast te beperken door deze te concentreren op stroomopwaarts geplaatste filters, die toegankelijker en gemakkelijker te onderhouden zijn.

Conclusie

Deze eerste verstoppings-reinigingsexperimenten, uitgevoerd op twee infiltratiesystemen, hebben de relevantie van de testopstelling aangetoond, waarvan het ontwerp het mogelijk maakt om versneld en aan de oppervlakte trage processen te observeren die zich normaal ondergronds afspelen.

De eerste resultaten bevestigen dat de levensduur van deze systemen wordt verlengd door regelmatige reiniging, ook al is de regeneratie van de infiltratiecapaciteit slechts gedeeltelijk. Er zijn in de toekomst verdere proeven gepland, zowel met andere infiltratiesystemen als met de initiële parameters van een experiment, om de mechanismen die zich in deze systemen voordoen beter te begrijpen.

Dankbetuiging

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw wenst zijn dank te betuigen aan het Cluster H₂O voor zijn steun, die het mogelijk heeft gemaakt het eerste deel van dit project tot een goed einde te brengen.

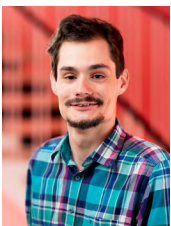
De reinigingsproeven op de verstopte systemen werden uitgevoerd door DSSV-Transpo Daniëls en Groupe Roefs, en wij danken hen hartelijk voor hun bijdrage aan het project.

Tot slot heeft dit project talrijke collega’s binnen OCW gemobiliseerd, wier expertise van onschatbare waarde is gebleken, van het ontwerp van de testopstelling tot de eerste experimenten. Een hartelijk dankwoord aan hen allen.

Referenties

- Boogaard, F. C. (2015). *Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands* [Doctoral thesis]. Technische Universiteit Delft. <https://doi.org/10.4233/uuid:d4cd80a8-41e2-49a5-8f41-f1efc1a0ef5d>
- Boogaard, F. C., van de Ven, F., Langeveld, J. G., Kluck, J., & van de Giesen, N. C. (2015). Removal efficiency of storm water treatment techniques: Standardized full scale laboratory testing. *Urban Water Journal*, 14(3), 255–262. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1092562>
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2016). *Geotextiel en aan geotextiel gerelateerde producten: Eigenschappen vereist voor gebruik in drainagesystemen* (NBN EN 13252).
- COPRO. (2021a). *Technische voorschriften voor de uitvoering van ondergrondse infiltratievoorzieningen*. (Versie 1.0) (CORPO Technische Voorschriften (PTV) No. 8003). <https://www.copro.eu/en/ptv-8003>
- COPRO. (2021b). *Technische voorschriften voor de uitvoering van ondergrondse infiltratievoorzieningen*. Deel 2: Horizontaal aangelegde waterdoorlatende buizen van poreus beton of kunststof. (Versie 1.0) (CORPO Technische Voorschriften (PTV) 8003-2). <https://www.copro.eu/en/ptv-8003-2>
- COPRO. (2024). *Technische voorschriften voor geotextiel: Eisen*. (Versie 7.0) (COPRO Technische Voorschriften (PTV) No. 829). <https://www.copro.eu/nl/ptv-829>
- Eyerman, L. (2024). *Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen*. Deel 3: Bronmaatregelen. Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/publicaties/code-goede-praktijk-rioleringsystemen/CGP_deel3_bronmaatregelen_actualisatie20142.pdf
- Leefmilieu Brussel & Brussel Mobiliteit. (2023). *Vademecum voor het regenwaterbeheer in stedelijke gebieden: Openbare ruimtes. Deel I, aanbevelingen voor de uitvoering van een geïntegreerd beheer*. https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/BRO_Gestion_des_eaux_pluviales_23_NL_WEB.pdf
- Neupert, J. W., Lau, P., Venghaus, D., & Barjenbruch, M. (2021). Development of a new testing approach for decentralised technical sustainable drainage systems. *Water*, 13 (5), Article 722. <https://doi.org/10.3390/w13050722>
- Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures. (2021). *Cahier des charges type qualiroutes*. (Geconsolideerde versie 2021 [en de daaropvolgende aanpassingen]). <https://infrastructuhttps://infrastructures.wallonie.be/pouvoirs-locaux/nos-thematiques/routes/qualite--construction.html>
- Sidek, L. M., Takara, K., Desa, M. N. M., & Ghani, Aminuddin Ab. (2002, October 14-16). Evaluation of infiltration engineering and storage tank systems for improved stormwater management. In *International conference on urban hydrology for the 21st century*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Teller, J., Djanaralieva, L., Flas, M., Moulana, M. L., Onan, L., Privot, J., & Archambeau, P. (2023). *Référentiel: Gestion durable des eaux pluviales*. Service Public de Wallonie (SPW), EDIWALL.
- Vanelstraete, A., Leoskool, L., & Beaumesnil, B. (2025). *Handleiding voor waterdoorlatende wegenoplossingen: Algemene context en specifieke toepassing voor bitumineuze verhardingen* (OCW Aanbevelingen No. A 108). Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW).
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2025). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw*. (Versie 5.0). <https://www.vlaanderen.be/mobiliteitsprofessionals/mobiliteitsinfrastructuur/standaardbestekken-overheidsopdrachten-voor-werken/standaardbestek-250>
- VLARIO. (2025). *Ontwerprichtlijnen infiltratievoorzieningen*. <https://www.vlario.be/website/files/downloads/Ontwerprichtlijnen-Infiltratievoorzieningen-17-03-2025.pdf>

Contact



Pierre Buelens

p.buelens@brrc.be
+32 2 766 03 28