Brussels Studies

La revue scientifique électronique pour les recherches sur Bruxelles / Het elektronisch wetenschappelijk tijdschrift voor onderzoek over Brussel / The e-journal for academic research on Brussels

Collection générale | 2017

Waterbeheer in Brussel: kennis vergaard via de langdurige gegevensreeksen van het gewestelijk telemetriesysteem Flowbru

Gestion des eaux à Bruxelles : enseignements des longues séries temporelles de données du système de télémétrie Flowbru

Water management in Brussels: knowledge gained from the long time data series of the Flowbru regional telemetry system

Nicolas de Ville et Michel Verbanck

Traducteur : Philippe Bruel

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/brussels/1523>

DOI : 10.4000/brussels.1523

ISSN : 2031-0293

Éditeur

Université Saint-Louis Bruxelles

Référence électronique

Nicolas de Ville et Michel Verbanck, « Waterbeheer in Brussel: kennis vergaard via de langdurige gegevensreeksen van het gewestelijk telemetriesysteem Flowbru », *Brussels Studies* [Online], Algemene collectie, nr 111, Online op 22 mai 2017, geraadpleegd op 20 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/brussels/1523> ; DOI : 10.4000/brussels.1523

Ce document a été généré automatiquement le 20 avril 2019.

Licence CC BY

Waterbeheer in Brussel: kennis vergaard via de langdurige gegevensreeksen van het gewestelijk telemetriesysteem Flowbru

Gestion des eaux à Bruxelles : enseignements des longues séries temporelles de données du système de télémétrie Flowbru

Water management in Brussels: knowledge gained from the long time data series of the Flowbru regional telemetry system

Nicolas de Ville et Michel Verbanck

Traduction : Philippe Bruel

NOTE DE L'AUTEUR

Dit werk werd ondersteund door Innoviris via het programma Anticipate “Capitalizing on hydrometry data series to address Brussels water and wastewater management challenges” (Project 2013-PRFB-32). Wij willen onze dank betuigen voor het Flowbru telemetriesysteem dat wordt beheerd door de Brusselse Maatschappij voor Waterbeheer en voor de efficiënte hulp van Ir Gizèle Bazier (BMWV).

Inleiding

- 1 In de vroege jaren 2000, installeerde het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in de meeste hoofdcollectoren en waterlichamen van Brussel een uitgebreid limnimetrisch netwerk

met teleopname dat langdurige gegevensreeksen levert. 166 sensoren meten parameters zoals de regenval in het Brussels Gewest, het waterniveau, de stroomsnelheid, de watertemperatuur en een aantal waterkwaliteitsparameters (<http://www.flowbru.be>) [BMWB, 2014]. De vele redenen die aan de grondslag van de installatie van dit netwerk liggen zijn onder meer de preventie van overstromingen, de kwantificering van de Brusselse waterbegroting, het meten van de hoeveelheid afvalwater die elke collector moet verwerken en een beter begrip van de interacties tussen het rioleringsysteem en het natuurlijk hydrografisch systeem. Dit initiatief was ook een belangrijke stap op weg naar de naleving van de Europese Kaderrichtlijn Water 2000/60/EG (EKW). De EKW richtlijn verplicht de EU-lidstaten hun waterlichamen te controleren en heeft onder meer tot doel de gunstige ecologische toestand of het ecologisch potentieel van de verschillende waterlichamen te herstellen. Dit kan alleen worden bereikt via een goed begrip van de interacties tussen de kunstmatige en de natuurlijke watersystemen. De eerste gegevens werden rond 2005 geregistreerd. Elke dag worden nieuwe gegevens gegenereerd en gearhiveerd, waardoor er nu langdurige gegevensreeksen beschikbaar zijn. Als onderdeel van het Anticipate programma van Innoviris, beoogt het project getiteld “Capitalising on hydrometry data to address Brussels water and wastewater management challenges” de Flowbru database te analyseren om er, op basis van de langdurige gegevensreeksen, kennis over de hydraulische en hydrologische prestaties in Brussel te vergaren.

- 2 De uitdagingen van het Brussels waterbeleid zijn talrijk en gevarieerd en omvatten overstromingen, steeds groter wordende ondoordringbaarheid, controle van de vervuiling van de rivieren en rioleringsbeheer. Net als in vele oude Europese steden, werd het gecombineerde rioleringsstelsel van Brussel meer dan een eeuw geleden gebouwd met één hoofddoel: het onwelriekend en vuile afvalwater dat de groeiende stad produceerde af te voeren via elke, op dat ogenblik beschikbare waterweg. Zo werden vele kleine waterloopjes overdekt en veranderd in riolen [van Mierlo, 1878, Alaerts *et al.*, 1980, Kohlbrenner, 2014]. We zitten opgescheept met een systeem dat ongeschikt is om te voldoen aan de huidige kwaliteitseisen voor het water. De kunstmatige en natuurlijke watersystemen zijn zodanig vermengd dat zelfs vandaag de dag de grenzen van de verschillende systemen nog niet bekend zijn. Daarom moeten waterbeheerders en ingenieurs informatie verzamelen om de efficiëntie van het systeem te verbeteren en om de waterkwaliteitsnormen voor waterlopen te respecteren, terwijl ze de stad vrijwaren van overstromingsgevaaren.

1. Case studies: de Nieuw Maalbeek CSO, de Brusselse collector Rechteroever en de RWZI Noord

- 3 Het onlangs gebouwde RWZI Noord heeft een maximale capaciteit voor de behandeling van afvalwater van 1,1 miljoen inwonersequivalenten. Het afvalwater geproduceerd in het noordelijk stroomgebied van Brussel (figuur 1) wordt door het rioleringsstelsel naar de zuiveringsinstallatie vervoerd en gereinigd voor het terug in de Zenne wordt geloosd. Sinds de installatie ervan in 2007, is de waterkwaliteit van de Zenne sterk verbeterd [Brion *et al.*, 2015]. De frequente lozingen van ongezuiverd afvalwater in de rivier tijdens periodes van neerslag belemmeren echter de inspanningen om een gunstige ecologische toestand te bereiken, zoals beschreven in de EKW.

- 4 Een van de belangrijkste knooppunten in het Brussels rioleringsstelsel is de structuur voor gecombineerd overstorten (CSO) van de Nieuw Maalbeek collector, gelegen in de Leeuwstraat in het noorden van Brussel (Neder-over-Heembeek). Het is veruit de belangrijkste overstortstructuur voor afvalwater in Brussel in termen van frequentie triggering en overgestorte hoeveelheden. Het afvalwater geproduceerd in het stroomgebied van de Maalbeek (Figuur 1) (Brussel-Centrum, Schaarbeek, Evere, Sint-Joost-ten-Node, Elsene, Etterbeek, voor een totale oppervlakte van 36 km²) wordt naar de RWZI Noord geleid via de Brusselse collector Rechtersloot. Bij regen worden de overtollige hoeveelheden die niet in de zuiveringsinstallatie kunnen verwerkt worden via de overstortstructuur naar de Zenne afgeleid. Het gaat er daarbij om, om zo snel mogelijk het overtollige water via de rivier uit Brussel weg te leiden en de stad te beschermen tegen overstromingen, ongeacht de verontreinigende stoffen die er zich in bevinden [Guyaux, 1968, Verbanck *et al.*, 1994a].

Figuur 1

HET GROENE GEBIED TOONT HET STROOMGEBIED MAALBEEK MET DE NIEUWE OVERSTORTSTRUCTUUR MAALBEEK (BLAUWE STER). DE BRUINE LIJNEN TONEN DE BELANGRIJKSTE BRUSSELSE COLLECTOREN EN DE RODE LIJN MARKEERT DE BRUSSELSE COLLECTOR RECHTEROEVER. DE BLAUWE LIJN OMCIRKELT GROFWEG HET VOLLEDIGE STROOMGEBIED BRUSSEL NOORD.

- 5 Dit soort structuur is van vitaal belang in dichtbevolkte steden met een gecombineerde rioleringsstructuur, omdat de hoeveelheid ondoordringbare oppervlakken zo groot is [Vanhuyse *et al.*, 2006] dat het afstromende water niet snel genoeg door de RWZI kan worden behandeld. Het doel van de EKW is echter om de frequentie van het overstorten zoveel mogelijk te beperken, omdat het enkel door uitzonderlijke regenval wordt veroorzaakt. Het zijn de EU-lidstaten die bevoegd zijn om de eindbeslissing te nemen over het maximum aantal CSO, en de Europese landen hebben de neiging om het maximum

aantal CSO te beperken tot 20 evenementen per jaar [Malgrat, 2016]. Tabel 1 toont aan dat met meer dan 150 overstorten per jaar¹, Brussel ver verwijderd is van het behalen van deze doelstelling.

- 6 De impact van deze overstortstructuur op de waterkwaliteit van de Zenne is belangrijk, omdat het afvalwater – naast het feit dat het is vermengd met afvoerwater – geconcentreerd is in gemakkelijk biologisch afbreekbare stoffen wat de verarming van zuurstof in het rivierwater in de hand werkt [Le *et al.*, 2014]. Hierdoor ontstaan zuurstofvrije omstandigheden die schadelijk zijn voor de dieren die in de rivier leven. Bovendien spoelt de regenval verontreinigde metalen afkomstig van het wegverkeer zoals zink, cadmium of lood, samen met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), van het wegdek af en komen ze door het afvoerwater in het riool terecht en nadien in de rivier door CSO overstort [Petrovic *et al.*, 2012, Brion *et al.*, 2012]. Deze verontreinigende stoffen hebben de neiging zich in de riviersedimenten op te hopen, waar ze een belangrijke belemmering vormen voor de ontwikkeling van het aquatisch leven. Daardoor is het nodig om structurele werkzaamheden en beheerstrategieën te ontwikkelen en te implementeren om de frequentie en de gevolgen van CSO gebeurtenissen te verminderen.

Tabel 1. Basisstatistieken over de Nieuw Maalbeek CSO voor de jaren 2012-2015

Jaar	Gegevensopname	CSO gebeurtenissen	Overstorthoeveelheden		Gemiddelde periode zonder CSO
	%	n.	m ³	% van de totale stroom	dagen
2012	98,78	148	4 346 263	8,77	2,5
2013	90,84	104	3 385 899	7,72	3,2
2014	93,64	155	5 553 320	12,23	2,3
2015	99,43	188	5 409 146	11,84	1,9

- 7 Het doel van dit werkstuk is om te identificeren of vreemde lichamen in het rioleringsstelsel de frequentie en de hoeveelheid beïnvloeden van stormwater dat overstort in de Zenne en wat het beperken van deze gebeurtenissen en hun invloed kan opleveren. In deze studie, gebaseerd op systematisch onderzoek en analyse van de langdurige gegevensreeksen die beschikbaar zijn in Flowbru, werden twee factoren geïdentificeerd: de infiltraties² van parasitair helder water en de overdadige sedimentaccumulatie in het riool.
- 8 In de eerste plaats werd een nieuwe methode ontwikkeld om de dagelijkse hoeveelheden geïnfiltreerd helder water die door de RWZI Noord worden behandeld te kwantificeren. De gevolgen van de infiltratie op de efficiëntie van het rioleringsstelsel wordt aangepakt en de mogelijke winst die kan behaald worden door het beperken ervan wordt besproken.
- 9 In de tweede plaats wordt, via een eenvoudige gegevensconsolidatie, de evolutie van de sedimenthoogte in de riolering in de buurt van de overstortstructuur berekend. Rekenkundige technieken worden geïmplementeerd om het temporele bereik van de tijdreeksgegevens te verhogen en de dynamiek van de sedimentaccumulatie wordt bestudeerd.

1.1. Infiltratie van parasitair helder water

- 10 Parasitair helder water wordt gedefinieerd als van organische en anorganische vervuilde stoffen verstoken water dat het riool inkomt via verkeerde aansluitingen of gebroken leidingen. Er bestaan verschillende locaties waar grondwater en kleine stroompjes in het riool uitmonden. Er zijn zelfs plaatsen waar dit met opzet wordt gedaan om de hoogte van de grondwaterspiegel op een bepaald niveau te houden. Dit extra water kan het waterniveau in het riool aanzienlijk doen toenemen in droge weersomstandigheden, en zo ook de hoeveelheid water dat in de RWZI moet worden behandeld. Daarom is het belangrijk om te weten welke hoeveelheid parasitair helder water infiltreert en hoe de jaar-tot-jaar- en seizoensgebonden variaties verlopen.
- 11 In de afgelopen decennia werden verschillende methodes ontwikkeld om het geïnfiltreerde helder water te kwantificeren. Deze methoden kunnen gebaseerd zijn op de hoge-resolutie monitoring van de waterkwaliteit zoals chemisch zuurstofverbruik (CZV) of op de analyse van watermonsters om de isotopische handtekening van de verschillende waterbronnen te bepalen [Bertrand-Krajewski *et al.*, 2006, Houhou *et al.*, 2010, Bareš *et al.*, 2012]. Deze methoden hebben op verschillende locaties hun efficiëntie bewezen, maar ze kunnen ook moeilijk te implementeren zijn. Er is ook veel geld en tijd voor nodig om ze uit te voeren [Bertrand-Krajewski *et al.*, 2006]. De groeiende hoeveelheid hydrometrische gegevens in moderne steden schept de mogelijkheid om het infiltratiepatroon te bestuderen zonder dat er complexe en dure analytische onderzoeken nodig zijn. De huidige studie stelt een methode voor voor het kwantificeren van het parasitair helder water op basis van een eenvoudige waterhoeveelheidsraming en een antropogene tracer gedetecteerd bij de monding van het afvoersysteem, namelijk ammoniumstikstof NH_4^+ .
- 12 Op droge dagen is het water dat de RWZI Noord binnenkomt de som van het afvalwater en het geïnfiltreerde parasitair helder water. Om de hoeveelheid afvalwater te berekenen die elke dag door de Brusselse bewoners geproduceerd wordt, hebben we een antropogene tracer gebruikt, met name ammoniumstikstof, om de aanwezigheid en de activiteiten van de Brusselse burgers voor te stellen. Ammonium heeft het voordeel vrij conservatief te zijn tijdens zijn reis in de riolen [Almeida *et al.*, 2000]. Dit betekent dat ammonium niet afbreekt en de totale hoeveelheid ammonium gemeten bij de inlaat van de RWZI de som is van wat vrijgegeven is door de huizen/activiteiten in het stroomgebied. We gebruiken deze antropogene tracer om zo nauwkeurig mogelijk de maximale hoeveelheid afvalwater dat in een dag in het noorden van Brussel geproduceerd wordt te berekenen. Vervolgens berekenen we de dagelijkse variatie van dit maximum met de variatie in de consumptiehoeveelheid van drinkwater. Dit betekent dat we de veronderstelling maken dat de hoeveelheid afvalwater die elke dag geproduceerd wordt in rechtstreeks verband staat met de hoeveelheid drinkwater die verbruikt wordt in de stad. De infiltratie kan dus worden berekend met Vergelijking 1.

Vergelijking 1

$$Q_{\text{Infiltration}} = Q_{\text{WWTP}} - \frac{m_{\text{NH}_4\text{-N.max}}}{k_{\text{NH}_4\text{-N}}} * Q_{\text{inh.day}} * IDistr$$

- 13 Met $Q_{\text{infiltration}}$ = dagelijkse hoeveelheid helder water infiltratie [m^3/dag], Q_{wwtp} = dagelijkse hoeveelheid verwerkt in de Brussel Noord RWZI [m^3/dag], $m_{\text{NH}_4\text{-N,max}}$ = maximale hoeveelheid ammoniumstikstof die bij de RWZI binnenkomt [kg/dag], $k_{\text{NH}_4\text{-N}}$ = dagelijkse productie ammoniumstikstof per inwoner per dag [$\text{kg}/\text{inh}/\text{dag}$], $Q_{\text{inh.day}}$ = dagelijkse productie van afvalwater per inwoner per dag [$\text{m}^3/\text{inh} /$] en IDistr = dagelijkse drinkwaterdistributie-index [-].
- 14 Figuur 2 toont de resultaten van medio 2008 tot medio 2015. We voegen een trendcurve toe als hulpmiddel bij het visualiseren van de algemene trend. Dit stelt de helder water infiltratie voor van de gehele zone behandeld door de Brussel Noord RWZI.

Figuur 2 : Parasitair helder water infiltratie in het stroomgebied van Brussel Noord van 2008 tot 2016

DE RODE STIPPEN STAAN VOOR DE GEÏNFILTREERDE HOEVEELHEDEN BEREKEND TIJDENS DROGE DAGEN, EN DE BLAUWE LIJN TOONT DE ALGEMENE TREND.

- 15 Dit diagram leert ons twee dingen. Ten eerste kunnen we zien dat er, zoals verwacht, een sterke variatie bestaat in de geïnfiltreerde hoeveelheden over de loop van een jaar, van zo'n 120 000 m^3/dag in de winter tot 40 000 m^3/dag in de zomer. Deze seizoensgebonden variatie werd ook gemeten in de Ypresiaan grondwaterspiegel in het noordelijke deel van Brussel [BIM, 2011] en bevestigt de nauwe band tussen het rioleringsysteem en de omliggende grondwaterspiegel. In totaal vertegenwoordigt de infiltratie ongeveer 24 % van het totale volume dat jaarlijks door de Noord RWZI wordt behandeld. Een verlaging van het geïnfiltreerde water zou dus zeker positief zijn om de operationele kost van de zuiveringsinstallatie te verminderen. Anderzijds zien we dat er sprake is van een lichte daling van de infiltratie door de jaren heen. Dit zou het gevolg kunnen zijn van recente sluitingen van en herstellingen aan de riolering die een paar jaren geleden begonnen [BIM, 2016].

- 16 Zodra het seizoensgebonden infiltratiepatroon begrepen is, kan het gebruikt worden om collectoren die hetzelfde patroon vertonen snel te markeren en ze zo te kwalificeren als poreuze collectoren. In figuur 3 ziet u twee voorbeelden: de Molenbeek-Laken collector, die sterk wordt beïnvloed door infiltratie, en de Broekbeek collector (gevestigd in Anderlecht), die is verstoken van helder water [ULB-DWPC, 1992]. Dergelijke basisinformatie is beschikbaar in veel riolen in Brussel en dus kan voor elk ervan dezelfde vergelijking eenvoudig worden doorgevoerd om zo de riolen te markeren die sterk worden beïnvloed door infiltratie.

Figuur 3 : Vergelijking van de genormaliseerde waterstand in twee collectoren met verschillende infiltratiegraden

DE RODE LIJN VERTEGENWOORDIGT DE MOLENBEEK-LAKEN COLLECTOR EN DE BLAUWE STIPPEN, DE BROEKBEEK COLLECTOR.

- 17 Dit type diagram kan ook helpen om de impact van rioolrenovatieprogramma's in het lokale stroomgebied te bepalen. De precieze voordelen van de vermindering van parasitair helder water evalueren is geen onbelangrijke taak, aangezien het effect verborgen wordt door de seizoensgebonden en meerjarige variaties. Door dit soort studies te herhalen en detailgegevens over een groot aantal collectoren te verzamelen, kan deze doelstelling worden nagestreefd. Dit is vooral belangrijk bij het overwegen van de operationele en ecologische doelstellingen, die niet altijd compatibel zijn, vooral wanneer het gaat om investeringsbeperkingen en strenge Europese regels. De positieve en negatieve aspecten van het beperken van parasitair helder water worden hieronder in detail besproken.
- 18 Operationele kosten die voornamelijk gemaakt worden bij het pompen van water bij de inlaat van de zuiveringsinstallatie werden al vernoemd. Een tweede positief effect zou mogelijk worden verkregen door het zuiver geïnfiltreerde water naar het *blauwe netwerk*

te leiden om het kwantitatieve aspect van het hydrografisch netwerk in Brussel te helpen herstellen. Zo zou bijvoorbeeld de Woluwe rivier in het oostelijk deel van Brussel profiteren van hogere uitstroom tijdens periodes van lage stroming, waardoor het minder gevoelig is voor vervuiling. Bovendien verhoogt helder water het waterniveau in de collector tijdens periodes van droog weer. Wanneer het afstromende water bij neerslag in het riool vloeit, wordt de overstortdrempel gemakkelijker bereikt, en worden de overstortfrequenties en gekoppelde hoeveelheden dus verhoogd door deze extra toevoer van helder water. De gevolgen van een afname van infiltratie op de CSO frequentie zou echter beperkt blijven, omdat de toestroom door afvoer aanzienlijk groter is dan de toestroom bij droog weer. Een volledige vermindering van parasitair helder water zou de CSO frequentie jaarlijks verminderen maar niet in voldoende mate om te voldoen aan het jaarlijks toegestane maximum aan CSO [de Ville, 2017a].

- 19 Anderzijds (en dit is tot nu toe niet voldoende gemeld in de technische literatuur), draagt deze toevoer van extern helder water in het afvoersysteem bij tot het behouden van een minimale zelfreinigende capaciteit van het riool [de Ville, 2017b]. Zo, bijvoorbeeld, helpt helder water tijdens de nachtelijke lage stroom een minimale stroomsnelheid te behouden om de sedimenten en verontreinigende stoffen in het riool naar de zuiveringsinstallatie te voeren. Een significante vermindering van het helder water in riolen met een lage hellingsgraad zou de drijvende kracht van de stroom verminderen en zo ook de hoeveelheid vaste stoffen die vervoerd worden verminderen, waardoor de sedimentatie in de collector verhoogt. De resulterende kostenreductie bij de waterzuiveringsinstallaties zou daarbij ten minste gedeeltelijk worden tegengewerkt door een toename van de onderhoudskosten van de riool. Om deze hypothese te bevestigen is een meer doorgedreven financiële studie nodig.
- 20 Tot slot moet worden onderstreept dat infiltratie in sommige gebieden in Brussel is toegestaan – vooral in het westelijke deel van het stedelijk gebied – om de waterspiegel laag genoeg te houden (en om extra overtollig gewicht in de buizenstructuur te vermijden). Het verminderen van dit onderdeel van de infiltratie is niet realistisch noch wenselijk, aangezien het zou kunnen leiden tot een verhoging van het aantal kelderoverstromingen. Het optimistische scenario van een volledige reductie in helder water is daarom niet denkbaar. Op basis van deze elementen, moeten verschillende strategieën worden ontwikkeld voor de verschillende delen van Brussel. Het oostelijke deel, bijvoorbeeld, wordt gekenmerkt door steile hellingen, en de stroomsnelheid van het afvalwater is daarom van nature snel, wat de zelfreinigende capaciteit gunstig beïnvloedt. Een strategie om de infiltratie te beperken zou daarom in dit deel van de stad meestal positieve effecten hebben. Een heel ander verhaal is het in het westelijk deel van Brussel (en de lage terreinen die rechtstreeks grenzen aan de Zennevallei) waar de hellingsgraad laag is en extra helder water dus helpt om het riool zo schoon mogelijk te houden en tegelijkertijd het grondwaterpeil onder controle te houden.

1.2. Accumulatie van sedimenten in het riool

1.2.1. Presentatie van de methodologie

- 21 Het tweede aspect dat we bestudeerden is de accumulatie van sedimenten in de Brusselse collector Rechteroever en de invloed daarvan op de CSO frequentie. Nogmaals, het doel is om te profiteren van de beschikbare langdurige gegevensreeks in Flowbru. Figuur 4 toont de hoeveelheid in de collector stroomopwaarts van de RWZI Noord en de hoeveelheid

gepompt bij de inlaat van de RWZI. De twee hoeveelheden zouden ongeveer gelijk moeten zijn, omdat er geen grote uitstromen of verliezen zijn tussen de twee meetpunten. We zien enerzijds dat de twee uitstromingen soms zeer dicht bij elkaar liggen, en anderzijds soms kleine of zelfs grote verschillen vertonen. Om te begrijpen waarom, moeten we eerst de verschillende meetprincipes bepalen.

- 22 De uitstromingen opgenomen bij de inlaat van de RWZI Noord komen overeen met de werkelijk gepompte hoeveelheden. Daarom gaat het hier om realistische en relatief nauwkeurige volumetrische informatie. De uitstroming berekend binnen de collector wordt gemeten met een limnimeter en een stroomsnelheidsmeter. De uitstroming wordt dus berekend door de combinatie van de twee metingen. De meting van de waterstand wordt echter sterk beïnvloed door de accumulatie van sedimenten onder de sensor. Voor een identiek debiet dat moet worden vervoerd, geldt dat hoe meer gestort zand er zich in de collector bevindt, hoe hoger de waterstand zal zijn. Daarom zal de berekende uitstroming een overschatting zijn.

Figuur 4 : Vergelijking van de uitstromingen richting RWZI Noord gemeten volgens twee verschillende principes

- 23 De uitstroming die Flowbru aangeeft wordt berekend op basis van de gegevens van een radar stroommeter (Uradar) en de waterstand wordt gemeten door de limnimeter. Dit waterpeil wordt omgezet in een dwarsdoorsnede (Stotaal [m²]) maar om de uitstroming correct te berekenen moeten we de oppervlakte bezet door de sedimenten verwijderen uit de dwarsdoorsnede (Vergelijking 2). In een dergelijk geval, biedt Vergelijking 2 de juiste manier voor het berekenen van de uitstroming in de collector.

Vergelijking 2

$$Q_{\text{Computed}} = U_{\text{radar}} * (S_{\text{total}} - S_{\text{sediment}})$$

- 24 Met Q_{computed} = berekende uitstroming met Flowbru sensoren (m³/s), U_{radar} = gemeten stroomsnelheid (m/s), S_{total} = doorsnede gemeten door de limnimeter en S_{sed} = oppervlakte van de laag sedimenten in de dwarsdoorsnede.

- 25 Als sedimenten worden opgenomen in de vergelijking kunnen we schrijven:

Vergelijking 3

$$Q_{\text{Computed}} = Q_{\text{WWTP}}$$

- 26 Door Vergelijking 2 en Vergelijking 3 te combineren, kunnen we gewoon de dwarsdoorsnede van de sedimenten rond de sensoren reconstrueren (Vergelijking 4). Het moet gezegd worden dat Vergelijking 4 vooral relevant is in de directe omgeving van de sensoren en niet kan geëxtrapoleerd worden naar de gehele collector. Ze biedt meer inzicht op de dynamiek van de accumulatie van sedimenten in plaats van te fungeren als een instrument voor de kwantificering van de hoeveelheid aan sedimenten in de hele collector.

Vergelijking 4

$$S_{\text{sediment}} = S_{\text{total}} - \frac{Q_{\text{WWTP}}}{U_{\text{radar}}}$$

1.2.2. Neuraal netwerk model

- 27 De relevantie van een dergelijke aanpak wordt groter naarmate de lengte van de langdurige gegevensreeks verhoogt. Hoewel het nuttige informatie betreft, biedt een enkele waarde van sedimentenhogte geen inzicht met betrekking tot de langetermijndynamiek. Een langdurige reeks van sedimentenhogtes is daarentegen veel nuttiger ondanks het feit dat de relevantie van de meting lokaal is (in de nabijheid van de sensoren). Daarom, en om maximaal gebruik te maken van de gegevens in de Flowbru database, is het model van een neuraal netwerk (NN) ontwikkeld om de ontbrekende langdurige gegevensreeks voor het jaar 2011 uit te werken. Dit soort model is vrij eenvoudig te implementeren en kan het nut van grote databases zoals Flowbru aanmerkelijk verhogen door de toevoeging van ontbrekende gegevens of door variabelen te modelleren die niet gemakkelijk meetbaar zijn (b.v. uitstroming van de vloed of snelheid van de vloed).
- 28 Het neuraal netwerk model heeft tot doel de manier waarop het menselijk brein werkt na te bootsen door het creëren van meerdere lagen van meerdere neuronen. Deze lagen van neuronen zijn opgeleid om op dezelfde manier op het bestudeerde systeem te reageren. Verschillende inputs worden in het model voorwaarts gekoppeld met een geassocieerd doel. Het model wordt opgeleid tot het juiste doel kan vinden voor een bepaalde set inputs [Schmidhuber, 2015]. In deze toepassing willen we een model maken van het waterniveau en de vloodsnelheid in de Brusselse collector Rechteroever voor het jaar 2011. Twee modellen werden ontwikkeld: een voor elke langdurige reeks, en gedefinieerd als de doelstellingen van de modellen. De inputs die we kozen zijn de waterstanden die gemeten werden in het nabijgelegen rioleringsysteem. Figuur 5 toont de drie gekozen

langdurige reeksen waterstanden. De keuze was vrij eenvoudig te maken, aangezien er een hydraulische koppeling bestaat tussen de vier punten, en een wijziging in een van de vier punten zou daarom een impact op de anderen hebben. Omdat we in een stad zijn, vertoont het signaal tijdens de droog weer stroming een repetitief patroon, dat afhangt van de maand, de dag en het uur van de dag [Butler en Graham, 1995]. Deze drie aanvullende gegevens worden toegevoegd als input voor het model. In totaal, zijn dit de zes inputs die gekozen werden om tot een model te komen van de waterstand en de vloodsnelheid in de Brusselse collector Rechteroever.

Figuur 5 : Aandachtspunten voor de bouw van het neurale netwerk model

- 29 Figuur 6 toont de resultaten van het NN model voor bepaling van de waterstand. De precieze bepalingscoëfficiënt zorgt voor de accurate voorspellingsmogelijkheden van het model.

Figuur 6. Vergelijking van de gemeten waterstanden in de Brusselse Collector Rechteroever (blauwe lijn) en de gemodelleerde waterstand in het NN model voor het jaar 2012

- 30 Met de gereconstrueerde gegevensreeks uit 2011, zijn wij in staat om een model te maken van de evolutie van de hoogte van de sedimenten in de Brusselse collector Rechteroever in de buurt van de sensoren, dit tussen 2011 en 2016. Figuur 7 toont de resultaten. De laag sedimenten berekend via de gemeten waterstand en stroomsnelheid wordt weergegeven in het blauw, terwijl de laag sediment berekend met de gemodelleerde variabelen wordt weergegeven in het groen. We zien dat het neurale netwerk goed werkt, gezien de twee curves in het algemeen dezelfde trend met dezelfde amplitude volgen. Op basis van deze constatering lijkt de evolutie van de sedimenten aangetoond in het model van 2011 betrouwbaar.

Figuur 7. Evolutie van de dikte van de laag sedimenten in de riolering in de nabijheid van de overstort van de Nieuw Maalbeek CFO van 2011 tot 2016

- 31 Tussen 2011 en 2014 bleef de laag sedimenten stabiel op een hoogte van ongeveer 40-50 cm, met een kleine daling in maart 2013. Dan, in juni 2014, was er een belangrijke

toename van de hoogte van de laag sedimenten. De laag verhoogde tot 80 cm en bleef tot het einde van 2016 verhogen. Een duidelijk patroon dat kan worden geïdentificeerd, is dat elke aanzienlijke toename van de laag sedimenten plaatsvond aan het begin van de zomerperiode (mei-juli 2011-2015). Elk jaar was hetzelfde patroon zichtbaar en kan worden verklaard door twee elementen. Enerzijds, om een toename van de laag sedimenten mogelijk te maken, moeten er sedimenten beschikbaar zijn. Dit komt overeen met de structurele werken die elk jaar op hetzelfde moment in Brussel plaatsvinden. Anderzijds worden de sedimenten in de riolering gestuwd door de intense zomerse stormen. Het kan worden aangetoond dat elke aanzienlijke toename van de dikte van de laag sedimenten geassocieerd kan worden met een hevige storm (ook aangetoond door een belangrijke toename van de uitstroming in de Nieuw Maelbeek CSO) (Figuur 7). De hoeveelheid water dat in de riolering stroomt zorgt ervoor dat deze snel verzadigt raakt, waarna de hydraulische lijn aanzienlijk afvlakt en de snelheid van het water daalt tot bijna nul meter per seconde. Op dat moment fungeert de collector als een enorme sedimentenreservoir en de hoeveelheid sedimenten op de bodem van de collector verhoogt. Dit is enorm belangrijk omdat sedimenten verschillende effecten op de efficiëntie van de riolering hebben. Ze verminderen de beschikbare ruimte voor het stromen van water en vergroten de stromingsweerstand. Het gevolg is een toename in de frequentie van de CSO in de Nieuw Maelbeek overstortstructuur, met 188 CSO in 2015 - toen de laag sedimenten ongeveer 80 cm hoog was - en *slechts* 104 in 2013 (tabel 1), ondanks het feit dat er meer regen viel in 2013 dan in 2015 (Statbel, 2016). Wat nog zorgwekkender is, is dat onlangs CSO geconstateerd werden bij droog weer, wat dus bewijst dat de riolering nog steeds verzadigd is met sedimenten (Figuur 8).

Figuur 8. Flowbru screenshot van de waterstand gemeten in de Brusselse collector Recheroever (blauwe lijn) en CSO uitstroming in de Nieuw Maalbeek CSO (zwarte lijnen)

- 32 De huidige methodologie heeft het voordeel dat ze inzicht geeft in de langetermijnevolutie, maar we mogen niet vergeten dat het lokale informatie biedt die alleen geldt in de onmiddellijke nabijheid van de sensoren. Daarom organiseerden we met Vivaqua een veldonderzoek rond de sedimenten tussen de Nieuw Maalbeek CSO tot de Noord RWZI. Figuur 9 toont eenzelfde onderzoek dat ook in deze collector werd uitgevoerd in 1986 [Verbanck, 1992].

Figuur 9. Vergelijking van het sedimentenaccumulatieprofiel in de riolering, gemeten tussen de Nieuw Maalbeek overstortstructuur en de RWZI Noord

- 33 We zien dat de hoeveelheid sedimenten die aanwezig zijn in de collector sterk is toegenomen sinds het midden van de jaren 1980. In termen van volumes is de vergelijking met het einde van de jaren 1980 nog opvallender. Het volume aan sedimenten in het laatste deel van de Brusselse hoofdcollector is vijf keer groter dan 25 jaar geleden, namelijk 2500 m^3 (vergeleken met 500 m^3 in de jaren 1980). Dit ligt aan het feit dat riolen niet meer op een regelmatige basis schoongemaakt worden. Voordien werd een ijzeren schoonmaaktrolley langs de collector gevoerd om de sedimenten naar de zuiveringsinstallatie te spoelen. Maar de schoonmaaktrolley wordt al vele jaren niet meer gebruikt, hoewel hij nog steeds zichtbaar is, 700 meter stroomafwaarts van de Nieuw Maalbeek CFO (Leeuwstraat).
- 34 Deze accumulatie van sedimenten baart grote zorgen op het vlak van de efficiëntie van de riolering, omdat het geweten is dat de accumulatie van sedimenten neerkomt op een stijging in de ruwheid van de stroming en ze de hydraulische overdracht van het drainagenetwerk vermindert. De frequentie van de CSO en gekoppelde volumes zijn daarom aanzienlijk verhoogd door de accumulatie van sedimenten. Sedimenten zorgen voor het creëren van een omgeving die geschikt is voor het ontwikkelen van corrosieve en gevaarlijke gassen, die de afbraak van de riolering versnelt en de risico's vergroot voor de werknemers die de riolering moeten onderhouden. Tot slot, is het ook bekend dat na verloop van tijd sedimenten de neiging hebben om te consolideren als gevolg van biologische, fysische en chemische processen, waardoor de verwijdering ervan moeilijker wordt [Ashley *et al.*, 2004]. Een semi-gedistribueerd hydrologisch model, ontwikkeld in EPA SWMM, toont aan dat de overgestorte volumes met ongeveer 50 % kunnen worden verminderd in een perfect schoon rioleringssysteem [de Ville, 2017a]. Deze raming moet met enige behoedzaamheid worden geïnterpreteerd aangezien modelleringsresultaten

kunnen worden beïnvloed door tal van onzekere factoren. Niettemin kan worden verwacht dat de frequentie van CSO significant daalt in een zuiver rioleringssysteem.

Conclusies

- 35 In de vroege jaren 2000, installeerde Brussel een uitgebreid limnimetrisch netwerk met teleopname (www.flowbru.be) dat langdurige gegevensreeksen in vele Brusselse collectoren levert. Waterstand, stroomsnelheden, temperatuur, neerslag en zelfs sommige waterkwaliteitsgegevens zijn nu real-time beschikbaar. Dit uitgebreide netwerk werd geïnstalleerd door de Brusselse Maatschappij voor Waterbeheer (BMWB) met het oog op het vergroten van onze kennis over de hydraulische prestaties in Brussel en de verbindingen die bestaan tussen de verschillende waterlichamen. Tegenwoordig zijn er langdurige gegevensreeksen beschikbaar die een unieke kans bieden om de evolutie op lange termijn van het Brussels rioleringssysteem te bestuderen.
- 36 Dit werkstuk richt zich voornamelijk op een van de meest uitdagende knooppunten van het rioleringssysteem met betrekking tot de bescherming van de Zenne, namelijk de structuur van de Nieuw Maalbeek collector in de Leeuwstraat, de grootste CSO infrastructuur in Brussel. Het doel van deze structuur voor gecombineerd overstorten (CSO) is het naar de Zenne afleiden van het overtollige water dat niet kan worden behandeld door de RWZI Noord bij neerslag/afstroom. Deze CSO is een essentiële structuur om het centrum van Brussel te beschermen tegen overstromingen. De Europese Kaderrichtlijn Water van 2000 benadrukt echter het feit dat dergelijke structuren alleen tijdens intense regenval mogen worden ingezet. Hoewel het maximum aantal toegestane overstorten elk jaar wordt bepaald door de EU-lidstaten en er nog geen aantal voor Brussel werd beslist, kiezen de buurlanden nooit voor meer dan 20 overstorten per jaar. Tegenwoordig wordt de structuur ongeveer 150 keer per jaar gebruikt en is ze zelfs actief tijdens droog weer afstromen, als gevolg van een accumulatie van sedimenten en het slechte onderhoud. Hierdoor wordt de waterkwaliteit van de Zenne sterk aangetast, wat de mogelijkheid tot de ontwikkeling van een significant aquatisch leven begrenst. Bovendien neigen verontreinigende stoffen zich op te hopen in de sedimenten van de rivier wat het effect van afvalwater overstort op lange termijn sterk verhoogt. De onlangs gebouwde RWZI hebben de waterkwaliteit van de Zenne aanzienlijk verbeterd, maar zolang er elk jaar zoveel CSO zijn, blijft de rivier vervuild en zullen de waterkwaliteitsnormen niet gemakkelijk kunnen worden nageleefd.
- 37 Dit werkstuk is gericht op het identificeren van de externe elementen die aanwezig zijn in het Brusselse rioleringssysteem en op het bestuderen van de mogelijke gevolgen die ze hebben op de frequentie van de CSO en de bijbehorende overstortvolumes. Twee elementen werden in detail bestudeerd, namelijk de infiltratie van parasitair helder water en de accumulatie van sedimenten in de riolering.
- 38 We ontwikkelden een eenvoudige methode op basis van een waterhoeveelheid en een antropogene tracer – namelijk ammonium stikstof – om de dagelijks geïnfiltreerde hoeveelheden in het drainagegebied van de RWZI Brussel Noord te kwantificeren. De resultaten tonen aan dat de infiltratie driemaal groter is in de winter (met ongeveer 120 000 m³/dag) dan in de zomer. Door het vergelijken van de verschillende jaren beginnend in 2008 tot en met het midden van 2015, tonen we aan dat er sprake is van een jaarlijkse, kleine daling in de hoeveelheid infiltratie in het noordelijk stroomgebied. Dit zou het gevolg kunnen zijn van recente herstellingen aan en sluitingen van rioleringen.

- 39 Toch moet men zich ervan bewust zijn dat een aanzienlijke vermindering van helder water zowel positieve als negatieve gevolgen kan hebben. Naast een mogelijke vermindering van de operationele kosten van de RWZI, zou de toevoer van extern water naar het natuurlijke *blauwe netwerk* kwantitatief precarie waterlichamen zoals de Zenne en de Woluwe kunnen helpen herstellen. Een van de strategieën voor het terugdringen van de gevolgen van de vervuiling is het vergroten van de stroming van de rivieren. Het is echter bekend dat geïnfiltreerd helder water ook helpt om het zelfreinigende vermogen van riolen te vergroten. Dit betekent dat een afname van de infiltratie waarschijnlijk zal leiden tot een grotere accumulatie van sedimenten in de riolering en dat sommige van de besparingen op de operationele kosten op zijn minst gedeeltelijk zouden worden tegengewerkt door een toename van het aantal rioolreinigingsvereisten. Tot slot laten we zien dat het jaarlijks patroon van infiltratie in de basislijn evolutie van limnimetrische gegevensreeksen tijdens droge dagen kan worden vastgesteld, waardoor op een gemakkelijke manier individuele riolen die sterk te lijden hebben van infiltratie kunnen worden gespot. De controle van de infiltratie van parasitair helder water met Flowbru zal een hulpmiddel zijn om de programma's voor renovatie/transformatie van de riolering aan te passen aan de lokale milieu- en operationele doelstellingen en aan de optimale verhouding van parasitair water in de verschillende riolen.
- 40 Het tweede element dat we bestudeerden is de accumulatie van rioolsedimenten in de Brusselse collector Rechtersloot vanaf 2011 tot 2016. De methodologie ontwikkeld in dit werkstuk is gebaseerd op een vergelijking van de uitstroming gemeten volgens twee verschillende meetprincipes. Het eerste is dat van de hoeveelheid gepompt bij de inlaat van de RWZI en wordt niet beïnvloed door de dikte van de laag sedimenten. Het tweede is de berekening aan de hand van metingen van het waterniveau en de stromingssnelheid binnen de collector, en is sterk beïnvloed door de laag sedimenten. Natuurlijk, hoe meer sedimenten er zijn, hoe hoger de waterstand zal zijn, wat betekent dat de uitstroming overschat zal zijn. Door het vergelijken van de twee uitstromingen, kunnen we de dikte van de laag sedimenten in de nabijheid van de sensoren gemakkelijk berekenen. Gegevens werden opgeslagen sinds het begin van 2012. Echter, met het idee om maximaal te profiteren van de gegevens uit de database van Flowbru en om de beschikbaar gegevensreeks in de tijd te verlengen, hebben we een neurale netwerk model uitgewerkt voor het reconstrueren van de ontbrekende gegevens vanaf 2011. Met behulp van de waterstanden gemeten op verschillende locaties die hydraulisch verbonden zijn met de collector Rechtersloot, konden we een nauwkeurig model bouwen dat de waterstand en stroomsnelheid van 2011 in de Brusselse collector Rechtersloot berekent. Deze nieuwe rekengegevens werden gebruikt om de methodologie voor de bepaling van de dikte van de laag sedimenten toe te passen. De resultaten hiervan tonen een toename in de dikte van de laag sedimenten sinds 2014, iets wat nooit voordien was geconstateerd. Terwijl de laag sedimenten meestal op ongeveer 40 cm stabiel bleef, steeg die laag in juni 2014 aanzienlijk tot 80 cm als gevolg van een opeenvolging van hevige stormen. Deze informatie heeft echter slechts een lokale relevantie en is moeilijk te extrapoleren naar de gehele collector Rechtersloot. Daarom hebben we, in samenwerking met Vivaqua, een onderzoek op het terrein uitgevoerd over een lengte van 3 km tussen de Nieuw Maalbeek CSO en de RWZI Noord. Naast het valideren van de berekende hoogte van de sedimenten, blijkt uit de studie ook dat de hoeveelheid sedimenten die aanwezig zijn in de collector ongeveer 2 500 m³ bedraagt, wat vijf keer meer is dan het in het midden van de jaren 1980.

- 41 Dit baart veel zorgen, gezien het feit dat de accumulatie van sedimenten een stijging van de ruwheid van de stroming en een daling van de beschikbare ruimte voor de waterstroom tot gevolg heeft. De frequentie van de CSO en de eraan gekoppelde hoeveelheden zijn daarom aanzienlijk verhoogd. Ook werden er onlangs overstorten bij droog weer uitstroming gedocumenteerd. Dit is een duidelijke aanwijzing dat de riolering in dat deel van Brussel volledig verzadigd is met sedimenten. Daarom moet er snel een nieuwe strategie voor de reiniging van de riolering worden ontwikkeld zodat een volledige verstopping van de voornaamste rioleringsstructuur van Brussel kan voorkomen worden.
- 42 Een grondige kennis van de langetermijndynamiek van beide elementen, zoals beschreven in dit document, is de sleutel tot een beter beheer en een grotere doelmatigheid van de Brusselse riolering. Daarbij zijn het regionale hydrometrische netwerk Flowbru, samen met de gegevens van de Installatie Noord essentieel om die kennis te vergaren. Bovendien zal de relevantie van de Flowbru database na verloop van tijd alleen maar toenemen als gevolg van een betere documentatie van de evolutie van de prestaties van het hydrografische systeem in Brussel en als gevolg van de kwantificeerbaarheid van het huidige en toekomstige beleid.

BIBLIOGRAPHIE

ALAERTS, G., WILMS, D., VAN HAUTE, A., AERTGEERTS, R., VANDERBORGHT, J.-P. and WOLLAST, R., 1980. Onderzoek van het afval water van de Brusselse agglomeratie. In: *Het Ingenieursblad*. 1980. Vol. 49, pp. 118–26.

ALMEIDA, M., BUTLER, D., and MATOS, J., 2000. In-sewer biodegradation study at the Costa do Estoril interceptor system. In: *Urban Water*. 2000. Vol. 2, nr. 4, pp. 327–334.

ASHLEY, R.M., BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L., HVITVED-JACOBSEN, T. and VERBANCK, M.A., 2004. *Solids in sewers*. IWA Publishing (ed.), Scientific & Technical Report N°14, Mei 2004, ISBN 1-90-022291-4, 340 p.

BARES, V., STRANSKY, D., and SYKORA, P., 2012. Evaluation of sewer infiltration/inflow using COD mass flux method: case study in Prague. In: *Water Science And Technology*. 2012. Vol. 66, nr. 3, pp. 673–680.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L., CARDOSO, M., ELLIS, B., FREHMANN, T., GIULIANELLI, M., GUJER, W., KREBS, P., PLISKA, Z., POLLERT, J. and PRYL, K., 2006. Towards a better knowledge and management of infiltration and exfiltration in sewer systems: the APUSS project. In: *Water Practice and Technology*. 2006. Vol. 1, nr. 1.

BRION, N., SERVAIS, P., BAUWENS, W., VERBANCK, M.A., WYNANTS, M. and NUYTTENS, G., 2012. Past and present chemical and microbiological quality of the Zenne River: Impact of the Brussels' sewage management. In: VUBPRESS (ed.), *Bridges over troubles water*. Brussel. pp. 251–264.

BRION, N., VERBANCK, M.A., BAUWENS, W., ELSKENS, M., CHEN, M., and SERVAIS, P., 2015. Assessing the impacts of wastewater treatment implementation on the water quality of a small

- urban river over the past 40 years. In: *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22, nr. 16, pp. 12720-12736.
- BUTLER, D. and GRAHAM, N., 1995. Modelling dry weather wastewater flow in sewer networks. In: *Journal of environmental engineering*. 1995. Vol. 121, nr. 2, pp. 161-173.
- GUYAUX, J., 1968. L'assainissement de la vallée du Maelbeek. In : *Crédit Communal de Belgique*. 1968. Vol. 85, pp. 154-163.
- DE VILLE, N. and VERBANCK, M.A., 2017a. Capitalizing on hydrometry data series to address Brussels Water and Wastewater management Challenges. In: *Anticipate Symposium*. Conferentie. Brussel, 30 maart 2017.
- DE VILLE, N., LE, H.M., SCHMIDT L. and VERBANCK, M.A., 2017b. Data-mining analysis of in-sewer infiltration patterns: seasonal characteristics of clear water seepage into Brussels main sewers. In: *Urban Water Journal*, Voorgedragen.
- HVITVED-JACOBSEN, T., VOLLERTSEN, J. and NIELSEN, A.H., 2013. *Sewer processes: microbial and chemical process engineering of sewer networks*. 2nd ed., CRC press.
- HOUHOU, J., LARTIGES, B., FRANCE-LANORD, C., GUILMETTE, C., POIX, S. and MUSTIN, C., 2010. Isotopic tracing of clear water sources in an urban sewer: A combined water and dissolved sulfate stable isotope approach. In: *Water Research*. 2010. Vol. 44, nr. 1, pp. 256-266.
- IBGE, 2011. *Environmental impact assessment report of the water management plan for the Brussels region*. Brussel: Bruxelles-Environnement.
- IBGE, 2016. *Projet de plan de gestion de l'eau de la Région de Bruxelles-Capitale 2016-2021*. Brussel: Bruxelles-Environnement.
- KOHLBRENNER, A., 2014. Van meststof tot afval, van het platteland naar de rivier: een geschiedenis van Brussel en zijn excrementen. In: *Brussels Studies*. nr. 78, 23 juni 2014, www.brusselsstudies.be.
- LE, H.M., PETROVIC, D. and VERBANCK, M.A., 2014. The semi-sewer river: hydraulic backwater effects and combined sewer overflow reverse flows in Central Brussels reduce deoxygenation impact further downstream. In: *Water Science and Technology*. 2014. Vol. 69, pp. 903-908.
- MALGRAT, P., 2016. A challenge for policy makers and the water sector: Different policy perspectives on CSOs from across Europe. In: *EurEau Workshop on Combined Sewer Overflows*. Conference. Antwerp University, 1 February 2016.
- NOVATECH, 2016. *Proceedings of the 9th conference on Planning & technologies for sustainable urban water management*. Conferentie. Lyon, 28 juni-1 juli 2016.
- PETROVIC, D., BRION, N., MAGNIER, A., ELSKENS, M. and VERBANCK, M.A., 2012. Effect of intense rainfall events on metallic and particulate pollutant fluxes in a small urban watercourse. In: *9th International Conference on Urban Drainage Modelling*. Conferentie. Belgrado, Servië, 3-6 september 2012.
- SBGE, 2014. *Le Traitement des eaux usées en Région de Bruxelles-Capitale*. Brussel. Rapport d'activités.
- SCHMIDHUBER, J., 2015. Deep learning in neural networks: An overview. In: *Neural Networks*. 2015. Vol. 61, pp. 85-117.
- STATBEL, 2016. <http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/environnement/climat/>. Website bezocht op 12 maart 2017.
- ULB-DWPC, 1992. *Réseau de surveillance des écoulements et des charges polluantes dans les collecteurs d'amenée à la future station d'épuration de Bruxelles – Nord*. Brussel.

VAN MIERLO, C., 1878. *Notice descriptive et historique concernant les égouts et la Senne à Bruxelles*. Brussel: Baertsoen.

VANHUYSSSE, S., DEPIREUX, J., and WOLFF, E., 2006. *Etude de l'évolution de l'imperméabilisation du sol en région de Bruxelles-Capitale*. Brussel: ULB-Igeat.

VERBANCK, M.A., 1992. Field investigations on sediment occurrence and behaviour in Brussels combined sewers. In: *Water Science and Technology*. 1992. Vol. 25, nr. 8, pp. 71-82.

VERBANCK, M.A., 1993. A new method for the identification of infiltration waters in sanitary flows. In: *Water Science and Technology*. 1993. Vol. 27, nr. 12, pp. 227-230.

VERBANCK, M.A., WOLLAST, P. and VANDERBORGHT, J-P, 1994a. Contribution des épisodes pluvio-orageux à la charge polluante annuelle évacuée par le réseau unitaire Maelbeek-Emissaire de Bruxelles. In : *La Houille Blanche*. 1994. nr. 1/2, pp. 41-50.

VERBANCK, M.A., ASHLEY, R.M. and BACHOC, A., 1994b. International workshop on origin, occurrence and behaviour of sediments in sewer systems: Summary of conclusions. In: *Water research*. 1994. Vol. 28, nr. 1, pp. 187-194.

NOTES

1. Een CSO gebeurtenis wordt in dit werk gedefinieerd als een storting in de Nieuw Maalbeek CSO die ten minste 10 minuten (twee maateenheden) duurt en wordt voorafgegaan en gevolgd door drie uur van droge weersomstandigheden (geen overstort gemeten).
2. In deze studie omvat infiltratie alle bronnen van parasitair helder water die het rioleringssysteem binnenkomen. Dit omvat, naast andere bronnen, de grondwater infiltratie en waterlooppuitstroming (bijvoorbeeld de Molenbeek waterloop).

RÉSUMÉS

De langdurig verzamelde gegevens, vrijgegeven door het regionaal hydrometrisch netwerk Flowbru (<http://www.flowbru.be>) vertegenwoordigen een nieuwe kans om kennis te vergaren over het hydrografisch systeem in Brussel. Via een combinatie van datamininganalyse, gegevensconsolidatie, modellen en diepgaande gegevensinterpretatie, worden nieuwe inzichten over de prestaties van het rioleringssysteem verkregen. Allereerst wordt het probleem van de infiltratie van parasitair helder water in het rioleringssysteem aangekaart. Een nieuwe methode werd ontwikkeld om de dagelijkse hoeveelheden geïnfiltreerd helder water te berekenen in de gehele zone die behandeld wordt door de rioolwaterzuiveringsinstallatie Brussel Noord (RWZI). We tonen de sterke seizoensgebonden infiltratieschommelingen en hoe dit patroon in limnimetrische tijdreeksen kan worden geïdentificeerd om de riolen waar de infiltratie gebeurt aan te duiden. In tweede instantie buigen we ons over de accumulatie van rioolsedimenten in de Brusselse hoofdcollector Rechtersloot – de grootste riolering in het Brussels Gewest. De accumulatie-dynamiek wordt besproken, en een vergelijking tussen de huidige situatie en die van de jaren 1980 toont de enorme stijging in sedimentaccumulatie in de afgelopen decennia. De mogelijke oorzaken en gevolgen van deze accumulatie worden kort besproken.

Les longues séries temporelles de données fournies par le réseau hydrométrique régional Flowbru (www.flowbru.be) offrent une nouvelle occasion de mieux comprendre le système hydrographique de Bruxelles. L'exploration et l'analyse de ces données, assorties de leur consolidation, de leur modélisation et de leur interprétation minutieuse, apportent un éclairage nouveau sur les performances du système d'assainissement. En premier lieu, le problème des infiltrations d'eau limpide parasite dans le réseau est abordé. De nouvelles méthodes sont mises au point pour calculer les volumes d'eau claire qui pénètrent quotidiennement dans l'ensemble de la zone traitée par la station d'épuration de Bruxelles-Nord. L'importance des variations saisonnières des infiltrations est mise en lumière, de même que les moyens de détecter ces variations dans les séries temporelles limnimétriques, de façon à repérer les canalisations sujettes à des infiltrations. L'étude porte ensuite sur l'accumulation des sédiments dans le principal collecteur de la Région bruxelloise, à savoir, le grand émissaire de la rive droite du canal. La dynamique de cette accumulation est examinée, puis une comparaison entre la situation actuelle et celle des années 1980 fait apparaître que le phénomène s'est fortement accentué au cours de ces dernières décennies. Les possibles causes et conséquences de cette accumulation sont enfin brièvement évoquées.

The long time data series provided by the Flowbru regional hydrometric network (www.flowbru.be) represents a new opportunity to gain knowledge on the hydrographical system in Brussels. With a combination of data mining analysis, data consolidation, models and in-depth data interpretation, new insights on sewer system performance are obtained. First, the problem of the infiltration of parasitic clear water into the sewer system is addressed. A new methodology is developed to compute the daily volumes of clear water infiltrated in the entire zone treated by the Brussels-North Wastewater Treatment Plant (WWTP). We show the strong seasonal variation of infiltration and how this pattern can be identified in limnimetric time series to highlight sewers which are subject to infiltration. Secondly, the sewer sediment accumulation in the Brussels Right main collector – the largest sewer in the Brussels Region – is studied. The accumulation dynamics are discussed, and a comparison between the present situation and that of the 1980s shows the massive increase in sediment accumulation in recent decades. The potential causes and consequences of this accumulation are discussed briefly.

INDEX

Keywords : ecology, environment, land use planning, public action, town planning, urban planning

Thèmes : 8. environnement – énergie – développement durable

Trefwoorden ecologie, leefmilieu, overheidsoptreden, ruimtelijke ordening, stedenbouw, stadsplanning

Mots-clés : action publique, écologie, environnement, aménagement du territoire, urbanisme, planification urbaine

AUTEURS

NICOLAS DE VILLE

Nicolas de Ville is bio-ingenieur, gespecialiseerd in waterbouwkunde. Zijn masterproef handelt over drinkwaterproductiesystemen uit rivierbeddingen in Bolivia. Na zijn studies aan de universiteit werkte hij zes maanden als projectmanager voor de implementatie van een

Aquaponics-systeem in Katmandoe, Nepal. Tijdens de laatste vier jaar werkte hij als onderzoeker op het Departement voor Waterverontreinigingscontrole aan de *Université Libre de Bruxelles* rond de valorisatie van hydrometrische gegevens (Flowbru) voor het oplossen van problemen rond het Brussels water- en afvalwaterbeheer. Zijn laatste publicatie: de Ville, N., H.M., Le, Schmidt, L. en Verbanck, M.A. (2017). Data-mining analysis of in-sewer infiltration patterns: seasonal characteristics of clear water seepage into Brussels main sewer. In : *Urban Water Journal*.
Ingediend. ndeville[at]ulb.ac.be

MICHEL VERBANCK

Michel Verbanck is een in Brussel geboren waterbouwkundig ingenieur met meer dan 30 jaar ervaring in het oplossen van waterbouwkundige milieuvraagstukken. Hij is gespecialiseerd in het water- en afvalwaterbeheer in grote stedelijke gebieden, milieumetrologie, datamining, beheer van verontreinigde sedimenten en alluviale hydrauliek. Zijn patenten en publicaties (incl. 2 boeken) die hij rond deze onderwerpen neerlegde en schreef zijn te vinden op: <http://www.ulb.ac.be/polytech/stepfree/publications>. Dankzij zijn ervaring werd hij Voorzitter van het Belgisch Comité van de *International Water Association*; Voorzitter van de “Water Quality” Task Group van de Internationale Scheldecommissie; uitgenodigd als jurylid in doctoraatsjury's, zowel nationaal als internationaal. Op dit ogenblik geeft hij les in milieutechnologie aan de *Université Libre de Bruxelles*-Vrije Universiteit Brussel, Faculteit Ingenieurswetenschappen, en staat hij aan het hoofd van het Departement voor Waterverontreinigingscontrole van de *École Polytechnique de Bruxelles*. mikeverb[at]ulb.ac.be