

Modellering van de hydraulische interactie tussen riolen en waterlopen

Waterlopen en rioleringen worden meestal afzonderlijk bestudeerd. Dit is zo vanwege de verdeling van de bevoegdheden in het waterbeleid, maar ook vanwege de technologische specificiteit van de respectievelijke modellen. Nochtans bestaat er tussen beide systemen een belangrijke wisselwerking. Zo kunnen enerzijds rioleringen een belangrijke impact hebben op de waterloop, voornamelijk via de overstorten. Anderzijds kan gedurende periodes van hoogwater in de waterloop de rioleringsafvoer naar de waterloop belemmerd worden, waardoor de overstromingskans voor de riolering verhoogt. Om deze interacties te kunnen modelleren, moeten modellen aan elkaar worden gekoppeld : eenzijdig (al dan niet iteratief) of tweezijdig.

Om op een statistisch verantwoorde manier de interacties te begroten, zijn lange-termijn-simulaties onontbeerlijk. Aangezien gedetailleerde hydrodynamische simulaties hiervoor minder geschikt zijn wegens de lange simulatietijden en de hoge vereisten wat betreft de opslag- en geheugencapaciteit en naverwerking, kan hiervoor een beroep worden gedaan op vereenvoudigde, conceptuele modellen.

1. Inleiding

Waterlopen en rioleringen worden meestal afzonderlijk bestudeerd. Dit is in belangrijke mate zo vanwege de verdeling van de bevoegdheden in het waterbeleid. Het gevolg is dat ook de modelbenaderingen voor beide systemen vrij strikt gescheiden werelden zijn.

Nochtans bestaat er tussen beide systemen (waterlopen versus rioleringen) een belangrijke wisselwerking. Zo kunnen enerzijds rioleringen een belangrijke impact hebben op de waterloop, voornamelijk via de overstorten. Traditioneel wordt met deze interacties rekening gehouden door randvoorwaarden in de afzonderlijke modellen op te leggen, zodat men ze afzonderlijk kan blijven gebruiken. Met deze interacties kan worden rekening gehouden door de uitvoer van het rioolmodel als invoer voor het riviermodel te gebruiken (eenzijdige koppeling). Anderzijds kan gedurende periodes van hoogwater in de waterloop de rioleringsafvoer naar de waterloop belemmerd worden, waardoor de overstromingskans voor de riolering verhoogt. Om bij de modellering met deze interacties rekening te houden moet er ofwel op een iteratieve manier gewerkt worden met eenzijdig gekoppelde modellen, ofwel gezorgd worden voor een tweezijdige koppeling via de integratie van de numerieke schema's van beide modellen. De laatste jaren zijn er verschillende initiatieven en studies geweest om rioolmodellen en waterloopmodellen tweezijdig te koppelen, maar de verschillen in modelconcept en technologie maken dit niet eenvoudig.

Niet enkel de technische (softwarematige) koppeling van verschillende modellen is in deze discussie belangrijk, ook de methodologische koppeling is van belang. De verschillende watersystemen, enerzijds het natuurlijke watersysteem van de waterlopen en anderzijds het stedelijke watersysteem van riolen, hebben een sterk verschillende afwateringsrespons. Door de traditionele benadering om de stedelijke afwatering zo snel als mogelijk te organiseren en door de grote hoeveelheid

verharde oppervlakte, leidt dit tot snelle en sterk gepiekte afvoer van stedelijke gebieden, terwijl de landelijke afvoer meer afgevlakt is en sterk afhangt van de verzadiging van de ondergrond. Wanneer bij een integrale modellering van waterlopen en rioleringen onvoldoende rekening wordt gehouden met deze verschillen in afwateringsrespons, kan dit tot sterk verkeerde resultaten leiden. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van een globaal hydrologisch model (bvb. PDM, NAM) voor de toevoer naar een waterloop in een gebied met een sterke verstedelijking : dit kan leiden tot een significante onderschatting van de piekdebieten in de waterloop.

Dit artikel geeft een overzicht van de verschillende mogelijkheden van eenzijdige en tweezijdige koppelingen tussen rioolmodellen en waterloopmodellen :

- o Eénzijdige koppeling van rioolmodel naar waterloopmodel
- o Eénzijdige koppeling van waterloopmodel naar rioolmodel
- o Dubbelzijdige koppeling met specifieke software

Dit gebeurt aan de hand van een aantal uitgevoerde studies voor praktijkgevallen met verschillende soorten software :

- Enkelzijdige koppeling toegepast voor Erpe-Mere en de Molenbeek gebruik makend van Hydroworks (Wallingford Software, Groot-Britannië) en Mike11 (DHI, Denemarken) en hieraan gecalibreerde conceptuele modellen (Remuli voor het rioolstelsel [Vaes, 1999]) [Vaes et al., 2002a,b].
- Enkelzijdige koppeling toegepast voor Roeselare en de Mandel gebruik makend van Infoworks RS (Wallingford Software) en de hierin ingewerkte Urban Boundary (implementatie van Remuli) [HydroScan, 2007].
- Dubbelzijdige koppeling gebruik makend van SOBEK (Delft Hydraulics, Nederland) toegepaste voor Erpe-Mere en de Molenbeek [Bolle & Demuyne, 2005; Bolle et al., 2006].

- Dubbelzijdige koppeling van Infoworks RS en CS via OpenMI [Neyskens & Smolders, 2007].

2. Eenzijdige koppeling van riolering naar waterloop

2.1 Riolmodellen versus waterloopmodellen

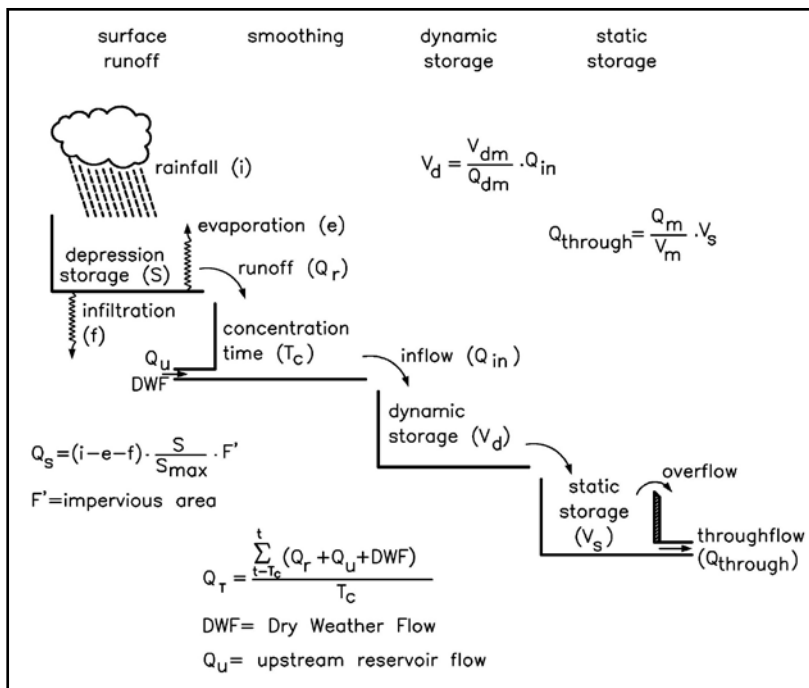
Traditioneel bestaan waterloopmodellen uit twee componenten : een hydrologische en een hydraulische. De hydrologische component beschrijft de waterafvoer naar de waterloop en de hydraulische component beschrijft de waterstroming doorheen de waterloop. Voor het hydrologisch gedeelte wordt in Vlaanderen gebruik gemaakt van een conceptueel model (NAM, PDM, ...) dat de lan-

delijke toevoer naar de waterloop beschrijft. Voor het hydraulische gedeelte wordt in Vlaanderen gebruik gemaakt van een gedetailleerd hydrodynamisch model (ISIS/Infoworks RS, Mike11, ...) [Berlamont et al., 2000].

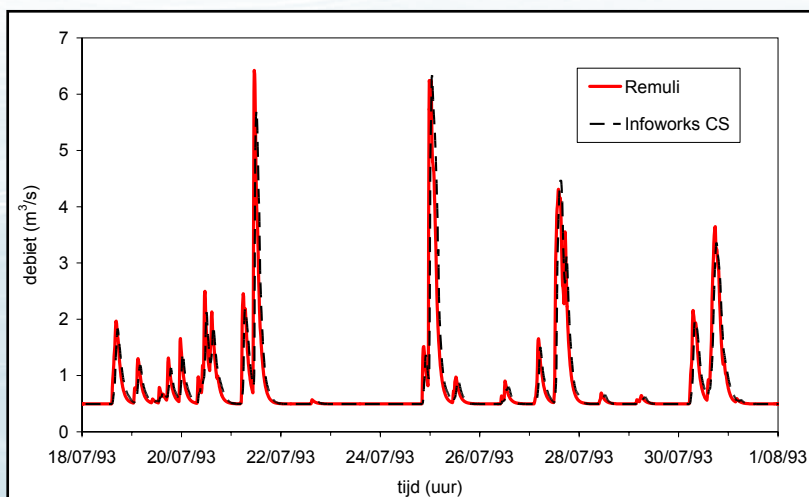
Rioolmodellen omvatten ook deze twee componenten, maar de hydrologische component wordt zeer rudimentair ingevuld, omdat het bij stedelijke afwatering (vooral) om snelle afvoer van verharde oppervlakten handelt, waarbij oppervlakteafstroming naar de riolen enigszins minder belangrijk is. De stroming doorheen de riolen gebeurt ook met een gedetailleerd hydrodynamisch model (Hydroworks/Infoworks CS, Mouse, ...) [Vaes et al., 2004].

De relevantie van een eenzijdige koppeling van riolering naar waterloop zit in de betere voorspelling van de debieten en waterhoogten in de waterlopen. In de meeste waterloopstudies wordt de stedelijke afwatering mee gemodelleerd in het hydrologisch gedeelte via een globaal conceptueel model voor het gehele gebied (landelijk + stedelijk), zonder rekening te houden met het verschil in afwateringsrespons. In bepaalde gevallen wordt de uitvoer van het rioolmodel (bvb. ter hoogte van de overstorten) als tijdreeksen ingevoerd in het waterloopmodel. Wanneer men rekest met gedetailleerde hydrodynamische modellen voor riolering en/of waterloop, kan men dit slechts voor beperkte tijdreeksen doen binnen een aanvaardbare rekentijd. Een alternatief is het gebruik van vereenvoudigde modellen voor riolering en eventueel waterloop.

Figuur 1 : Schematisch overzicht van het Remuli model [Vaes, 1999, 2000].



Figuur 2 : Vergelijking van de totale uitstroom van een rioolstelsel (doorvoer + overstorten) enerzijds met een hydrodynamisch model anderzijds met het conceptuele Remuli model; voor de stad Roeselare [HydroScan 2007].



2.2 Vereenvoudigde rioolmodellen

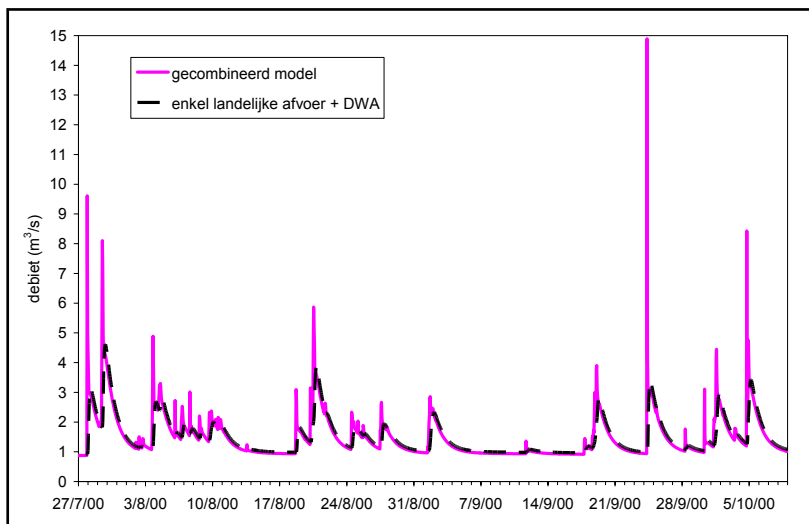
Het gebruik van vereenvoudigde rioolmodellen kan zeer effectief zijn, op voorwaarde dat de modellen de correcte modelstructuur hebben en goed gekalibreerd zijn [Vaes, 1999, 2000]. Een voorbeeld van een dergelijk vereenvoudigd rioolmodel met een modelstructuur die aangepast is aan de werking van riolen is Remuli dat aan de K.U.Leuven werd ontwikkeld (figuur 1) [Vaes, 1999, 2000]. Deze modelstructuur werd overgenomen en geïmplementeerd als 'Urban Boundary' in Infoworks RS [WS, 2005]. Onder deze voorwaarden kan een vereenvoudigd rioolmodel de nauwkeurigheid van een gedetailleerd hydrodynamisch model relatief dicht benaderen met een fractie van de rekentijd. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 2 voor de afvoer van de stad Roeselare, waar voor een lokale zomerse neerslagreeks de doorvoer- en overstortdebieten in een rioolstelsel worden weergegeven voor enerzijds het Remuli model en anderzijds het Infoworks CS model [HydroScan, 2007]. Een dergelijk conceptueel model moet worden gekalibreerd aan een gedetailleerd hydrodynamisch model [Vaes, 1999, 2000], omdat de nodige kalibratiegegevens zeer moeilijk voldoende nauwkeurig via metingen of rechtstreeks uit de fysische gegevens te bepalen zijn. De rekentijd van het Remuli model is een factor 10^4 tot 10^6 kleiner dan bij een hydrodynamisch model. In opdracht van VMM, Afdeling Water werd de 'Urban Boundary' in Infoworks RS uitgetest en vergeleken met het

oorspronkelijke Remuli model [HydroScan, 2007]. De resultaten komen vrij goed overeen mits een voldoende kleine rekentijdstep wordt gekozen in Infoworks RS. De numerieke stabiliteit en de rekentijd zijn nog voor verbetering vatbaar in Infoworks RS. Voor het simuleren van een tijdreeks van 100 jaar gebeurde dit in Remuli in 30 seconden en in Infoworks RS in 2,5 uur (enkel voor de Urban Boundary).

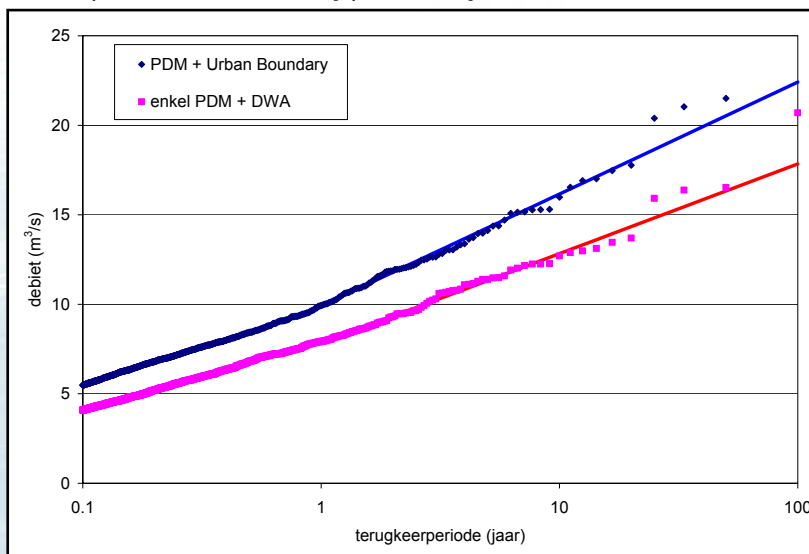
2.3 Combinatie van landelijke en stedelijke afvoer

Gezien de sterke verschillen in respons tussen de landelijke en stedelijke afvoer, kan een voldoende nauwkeurige en betrouwbare combinatie van deze twee componenten enkel gebeuren door het combineren van de tijdreeksen bekomen met continue lange-termijn-simulaties. Het combineren van deze twee tijdreeksen om het globale effect te bekomen, behoeft geen gedetailleerd

Figuur 3 : Vergelijking van een modellering met enkel PDM en een constante DWA versus een combinatie van PDM met een Urban Boundary; voor de Mandel te Roeselare [HydroScan, 2007].



Figuur 4 : Vergelijking van de extreme-waarden-verdelingen voor uurlijkse debieten in de waterloop enerzijds voor het geval met enkel PDM + DWA en anderzijds voor het gecombineerde model PDM + Urban Boundary; voor de Mandel te Roeselare [HydroScan, 2007].



model, maar kan via een eenvoudig bakmodel [Vaes et al. 2002a,b]. De vraag is wat men er daarna mee kan doen. Hiertoe zijn er volgende mogelijkheden :

- o Continue lange-termijn-simulatie van het hydrodynamische waterloopmodel met als invoer de tijdreeksen van landelijke en stedelijke afvoer : Dit is omwille van de rekentijd niet realistisch. Bovendien vereist dit een zware naverwerking van de bekomen simulatieresultaten.
- o Combineren van de tijdreeksen van landelijke en stedelijke afvoer via een eenvoudig bakmodel of een eenvoudige sommatie en daarna :
 - o Opstellen van compositiehydrogrammen op basis van de samengestelde tijdreeks voor simulatie in het hydrodynamisch waterloopmodel [Vaes et al., 2000, 2002c].
 - o Selectie van representatieve tijdreeksen (deelreeksen) op basis van de samengestelde tijdreeks en simuleren in het hydrodynamisch waterloopmodel van de overeenkomstige periodes met als invoer de afzonderlijke tijdreeksen [Vaes et al., 2002c]. Dit vereist ook een significante naverwerking van de bekomen simulatieresultaten.

2.4 Resultaten van gevalstudies

Deze aanpak werd toegepast op twee verschillende gevallen :

- o Een eerste studie omvatte de combinatie van het rioolstelsel van Erpe-Mere met de waterloop Molenbeek [Vaes et al., 2002a]. Deze resultaten werden reeds gepubliceerd in Water nr. 4 van oktober 2002 [Vaes et al., 2002b]. Uit deze studie bleek dat de impact van de riolering van Erpe-Mere op de hoogwaterdebieten in de Molenbeek verwaarloosbaar is, alhoewel in de zomer de invloed van de overstorten bij laag water wel belangrijk is.
- o Een tweede studie omvatte de combinatie van het rioolstelsel van Roeselare met de waterloop Mandel [HydroScan, 2007]. De resultaten van deze studie worden getoond in figuren 3 en 4. In figuur 3 wordt een deel van de lange tijdreeks getoond, enerzijds bekomen met het gecombineerde model (PDM en Urban Boundary) en anderzijds met enkel het globale landelijke model (PDM voor totale oppervlakte) in combinatie met de Droog Weer Afvoer (DWA) van de rioolwaterzuiveringsinstallatie. In figuur 4 worden de extreme waarden verdelingen van de twee modellen gegeven. Hieruit blijkt dat de invloed van de riolering van de stad Roeselare op de Mandel zeer groot is. Een dergelijke invloed kan enkel voldoende nauwkeurig worden ingeschat door het gebruik van afzonderlijke specifieke modellen voor de riolering enerzijds en voor de landelijke afvoer anderzijds.

3. Eenzijdige koppeling van waterloop naar riolering

Een terugkoppeling van de waterloop naar de riolering kan nuttig zijn voor een betere inschatting van de invloed van de waterhoogte in de

waterloop op de werking van overstorten en/of rechtstreekse lozingen. Wanneer de resultaten van een waterloopmodel beschikbaar zijn om als randvoorwaarde te gebruiken bij rioolmodellering, blijft de vraag hoe dit te combineren valt. Er moet rekening worden gehouden met zowel de extremen in debiet in de riolering als met de extremen in waterhoogte in de afwaartse waterloop waarbij de extremen zich niet steeds gelijktijdig voordoen. Volgende methodes zijn mogelijk :

- o Wanneer men beschikt over tijdreeksen van waterhoogten in de waterloop en gelijktijdige neerslagreeksen kan men enerzijds de extreme deelreeksen van waterhoogen in de waterloop selecteren en anderzijds extreme neerslaggebeurtenissen op basis van IDF-relaties [Vaes, 1999] en gebruikt men de enveloppe van de deelreeksen.
- o Wanneer men beschikt over simulaties met composiethydrogrammen, kan men composietlimnigrammen opstellen ter hoogte van de rioolozingen en deze combineren met de overeenkomstige composietbuizen voor het rioolstelsel met dezelfde terugkeerperiode. Deze aanpak kan echter tot een (sterk) overschatte invloed leiden [Vaes et al., 2004].

Hieruit kan worden besloten dat een eenzijdige koppeling van waterloop naar riolering en het correct inrekenen van afwaartse randvoorwaarden bij rioleringsberekeningen complex is en dat de huidig gehanteerde methodes niet altijd tot betrouwbare resultaten leiden [Vaes et al., 2004].

4. Dubbelzijdige koppeling

Een dubbelzijdige koppeling is niet rechtstreeks mogelijk in de Infoworks software die in Vlaanderen het meest gebruikt wordt. In de Sobek software (Delft Hydraulics) is dit wel mogelijk. Deze koppeling in Sobek werd uitgetest in het kader van een eindwerk aan de K.U.Leuven [Bolle & Demuyne, 2005; Bolle et al., 2006]. Uit de gevalstudie die hierbij werd gebruikt blijkt een complexe interactie tussen de twee systemen die elkaar in beide richtingen beïnvloeden. De significantie van deze beïnvloeding hangt sterk af van de specifieke riool- en waterloopsystemen.

Een dubbelzijdige koppeling van hydraulische modelleringspakketten is mogelijk via de OpenMI interface [OpenMI, 2007], bijvoorbeeld Infoworks CS en RS, Infoworks CS of RS en Mike11, ... In het kader van een eindwerk aan de K.U.Leuven werd de koppeling tussen InfoWorks CS en RS uitgetest [Neyskens & Smolders, 2007]. Hieruit blijkt dat deze OpenMI software nog prematuur is en de toepassing ervan bijgevolg nog niet erg vlot gebeurt. De interface biedt wel heel wat perspectieven, maar laat omwille van de grote rekentijd en geheugenopslag bij het verbinden van gedetailleerde modellen slechts simulaties van korte tijdreeksen toe (gebeurtenissimulaties). De totale rekentijd bleek bij deze toepassing 2 maal de som van de rekestijden van de individuele modellen. De verbinding zorgt verder voor een kleine tijdsverschuiving van de resultaten.

Het nadeel van het gebruik van dubbelzijdige koppeling van gedetailleerde modellen situeert zich dus in dezelfde sfeer als bij eenzijdige koppelingen. Omwille van de sterk verschillende respons van riool- en waterloopsystemen zijn continue lange-termijn-simulaties nodig die tot zeer lange rekestijden leiden. Bovendien is een zware naverwerking van de bekomen simulatieresultaten nodig. Om de rekentijd te beperken kan men met geselecteerde representatieve korte tijdreeksen werken, maar deze selectie moet dan ook weer gebaseerd zijn op vereenvoudigde modellen voor de verschillende componenten (zoals eerder in dit artikel besproken).

5. Conclusie

De meeste leveranciers voor hydraulische modelleringspakketten evolueren naar een (betere) technische koppeling tussen de software voor enerzijds rioolberekeningen en anderzijds waterloopberekeningen. De open koppelingsstandaard en -software OpenMI levert hierbij een grote vrijheid m.b.t. de keuze van de software in functie van de toepassing en andere randvoorwaarden.

Wat de interactie tussen riolen en waterlopen betreft, is niet enkel een technologische (software) koppeling van belang. Zeker ook de wijze waarop de modellen worden gebruikt heeft een grote invloed op de betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten.

Om op een statistisch verantwoorde manier de hydrologische impact (bvb. de toename van de overstromingskans) ten gevolge van de een- of tweezijdige koppeling te kunnen bepalen, zijn lange-termijn-simulaties onontbeerlijk. Aangezien gedetailleerde hydrodynamische simulaties hiervoor niet even geschikt zijn wegens de lange simulatietijden en de hoge vereisten wat betreft de opslag- en geheugencapaciteit en naverwerking, kan hiervoor een beroep worden gedaan op vereenvoudigde, conceptuele modellen. Deze vereenvoudigde modellen kunnen voldoende nauwkeurige resultaten geven in een fractie van de rekentijd op voorwaarde dat ze oordeelkundig worden gekozen, gekalibreerd en gebruikt.

In de toekomst zal het belang van deze interacties tussen riolen en waterlopen nog toenemen door de aanleg van gescheiden rioleringen met rechtstreekse verbindingen tussen regenwaterafvoersysteem en waterlopen. Door het toepassen van bronmaatregelen zullen bovendien een aantal hydrologische tussenvormen ontstaan die de interacties (nog) meer complex zullen maken.

Referenties

Berlamont J., Willems P., Qvick A., Vaes G., Feyen J. & Christiaens K. (2000). Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Studie in opdracht van Administratie Waterwegen en Zeewezen, april 2000.

Bolle A. & Demunynck A. (2005). Tweekzijdige koppeling van riolerings- en waterloopmodellen. Eindwerk K.U.Leuven, Departement Burgerlijke Bouwkunde.

Bolle A., Demunynck A., Willems P., Bouteligier R. & Berlamont J. (2006). Hydraulische modellering van de tweekzijdige interactie tussen riool- en rivierstelsels. Rioleringswetenschap, nr. 23, September 2006.

HydroScan (2007). Hydrologische modellering van Roeselare als invoer voor de Mandel. Studie in opdracht van VMM, Afdeling Water, januari 2007.

Neyskens I. & Smolders S. (2007). Linking of hydraulic models through the OpenMI. Eindwerk InterUniversity Programme in WAter Resources Engineering, K.U.Leuven & V.U.Brussel.

OpenMI (2007). www.OpenMI.org. The OpenMI Association.

Vaes G. (1999). The influence of rainfall and model simplification on combined sewer system design. Doctoraatsthesis, K.U.Leuven, www.kuleuven.be/hydr/PhDvaes.htm.

Vaes G. (2000). De invloed van neerslag en modelvereenvoudiging op het ontwerp van gemengde rioleringen", @WEL – Water, nr. 3, februari 2000.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2000). Selection and composition of representative hydrographs for river design calculations. ERB2000, conference on monitoring and modelling catchment water quantity and quality, Gent, september 2000.

Vaes, G., Willems, P. & J. Berlamont (2002a). Het gebruik van bakmodellen voor de voorspelling van de invoer in riviermodellen met het oog op een geïntegreerde modellering. Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, in opdracht van Aminal, Afdeling Water.

Vaes G., Willems P. en Berlamont J. (2002b). Het gebruik van bakmodellen voor de voorspelling van de invoer in waterloopmodellen ter plaatse van riooloverstorten, Water, nr. 4, oktober 2002.

Vaes G., Willems P. & Berlamont J. (2002c). Selectie en compositie van representatieve hydrogrammen voor riviermodellering. Water nr. 1, mei 2002.

Vaes G., Bouteligier R., Luyckx G., Willems P. & Berlamont J. (2004). Toelichting bij de Code van goede praktijk voor het ontwerp van rioleringen. Studie in opdracht van Aminal, Afdeling Water, april 2004, www.mina.be/code_goede_praktijk.html.

WS (2005). Infoworks RS, versie 6.0. Wallingford Software, Groot-Brittannië.

G. Vaes

Projectmanager, HydroScan NV,

Tiensevest 26/4, 3000 Leuven,

tel: 0473 947 320

tel: 016 24 05 01, fax: 016 24 05 09

P. Willems

Postdoctoraal onderzoeker FWO-Vlaanderen en

gastdocent K.U.Leuven

Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Hydraulica,

Kasteelpark Arenberg 40, 3001 Leuven,

tel: 016 32 16 58