



Naar een integraal modelinstrumentarium voor de waterketen

IR. J. ICKE, WL | DELFT HYDRAULICS
IR. E. VERSCHELLING, WL | DELFT HYDRAULICS

In 2000 begon WL | Delft Hydraulics, deels in samenwerking met Kiwa, een onderzoek naar de technische en milieukundige vraagstukken in de waterketen1). Vorig jaar zijn in dit kader drie projecten uitgevoerd: een inventarisatie van de kennisbehoefte van de actoren in de waterketen, een literatuurstudie naar de invloed van klimaatverandering op het beheer van drinkwatervoorraden2) en een modelstudie naar de koppeling van modellen voor de deelsystemen in de waterketen. Over het laatste project gaat dit artikel.

Het modelonderzoek naar koppelingen in de waterketen vormt het startsein voor het maken van een integraal model voor de waterketen, dat zowel de drinkwater- als afvalwaterketen omvat. Een model van deze omvang is relatief nieuw en de opzet ervan vormt een uitdaging op zich. Tijdens de uitwerking van de koppelingen en de case study zijn veel nieuwe onderzoeksvragen naar boven gekomen en is inspiratie opgedaan voor nieuwe ontwikkelingen. Bestaande modelkoppelingen zijn geïnventariseerd en zo veel mogelijk benut. Voor de ontbrekende modelkoppelingen is een functioneel ontwerp opgesteld. Het instrumentarium is gebruikt voor een case study naar de waterketen en het watersysteem in een voorbeeldwijk. Intussen is de modelontwikkeling zo ver gevorderd dat we elke druppel water en elke gram stof kunnen volgen door de hele waterketen.

Modellen voor de waterketen

In veel stedelijke watersystemen vervult de waterketen (het geheel van leidingen, pompen en zuiveringsinstallaties dat door de mens is aangelegd voor de bereiding en aanvoer van drinkwater en de afvoer en zuivering van afvalwater) ook een belangrijke rol in de afvoer van neerslag. De stedelijke waterketen maakt op twee punten contact met het natuurlijke watersysteem: aan het begin van de drinkwaterketen en aan het einde van de afvalwaterketen. Aan het begin van de waterketen wordt water aan het grondwater en het oppervlaktewater onttrokken voor de drinkwatervoorziening. Onder rustige weersomstandigheden wordt afvalwater als effluent geloosd door een rioolwaterzuiveringsinstallatie. Bij hevige neerslag treden tevens overstortingen uit het rioolstelsel op, waardoor een mengsel van afvalwater en neerslagafvoer op het oppervlaktewater wordt geloosd. Afbeelding 1 geeft schematisch de waterketen weer.

De vraagstukken in de waterketen, zoals de dimensionering van open water, rioolstelsel en zuivering, het reguleren van het neerslagafvoerproces en het oplossen van waterkwaliteitsproblemen, werden in het verleden veelal sectoraal opgepakt. Voor elk onderdeel in de waterketen bestaan als gevolg daarvan afzonderlijke modellen. Door te kiezen voor een integrale benadering van de waterketen ontstaat meer inzicht in de samenhang tussen de verschillende vraagstukken, waardoor gezocht kan worden naar oplossingen met de laagste maatschappelijke kosten en het hoogste milieurendement. Met de ontwikkeling van een integraal modelinstrumentarium voor de waterketen wordt hier op ingespeeld.

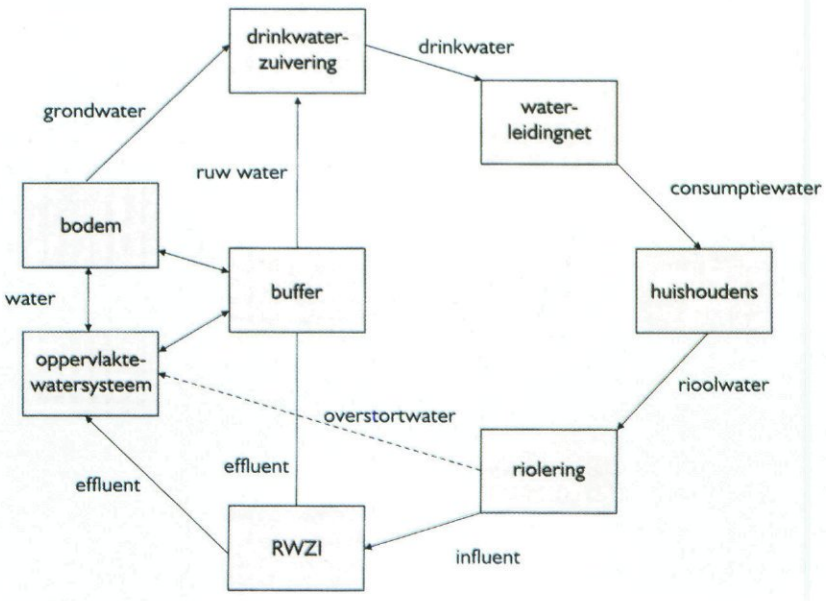
Modelkoppelingen

De ontwikkeling van integrale modellen voor de waterketen kan op meerdere niveaus ingestoken worden:

- water- en stofbalansen voor elk onderdeel van de waterketen opstellen3),
- bestaande modelsystemen aan elkaar koppelen,
- geïntegreerde modelsystemen ontwikkelen, met één modelschematisatie en één rekenhart voor alle hydrologische en waterkwaliteitsprocessen in de waterketen,
- andere modeltechnieken toepassen, bijvoorbeeld Constraint Logic Programming4) en kunstmatige neurale netwerken.

In het onderzoek is het tweede niveau nader uitgewerkt: het koppelen van bestaande modelsystemen. De modelkoppelingen die nog niet bestaan, zijn in een functioneel ontwerp nader uitgewerkt. In dit artikel zal op twee koppelingen nader ingegaan worden: de

Afb. 1: Schematisch overzicht van de waterketen.



koppeling tussen de drinkwater- en afvalwaterketen en het stoftransport in de afvalwaterketen.

Koppeling drinkwater- en afvalwaterketen

De drinkwater- en de afvalwaterketen gaan in elkaar over in het huishouden, waar drinkwater wordt verbruikt en vervolgens als afvalwater in de riolering terechtkomt. Voor het modelleren van waterstroming en -kwaliteit in oppervlaktewater en riolering heeft WL | Delft Hydraulics het softwarepakket Sobek-urban ontwikkeld.

De drinkwatervraag van de huishoudens gedurende de dag, de week en het jaar volgt uit een drinkwatervoorspellingsmodel. Zo'n model wordt specifiek voor het voorzieningsgebied van één waterleidingsmaatschappij gemaakt. In een paralleltraject van het onderzoek is daarom een generiek drinkwatervoorspellingsmodel ontwikkeld (zie kader). Dit model sluit aan bij het onderzoek van Achttienribbe[5),6)] naar het drinkwaterverbruik in huishoudens. Voor de instroom van afvalwater afkomstig uit de huishoudens naar de riolering wordt in het algemeen gewerkt met een standaardtabel met gemiddelde uurwaarden.

De drinkwater- en de afvalwaterketen zijn modelmatig aan elkaar gekoppeld door het drinkwatervoorspellingsmodel aan te laten sluiten op de tabel voor de instroom van de riolering. Hiermee wordt de toestroom van DWA in een veel grotere mate van detail aan het rioleringsmodel opgelegd, dan tot op heden gebeurde.

Stoftransport in de afvalwaterketen

Vuiltransport in rioleringen is een relatief nieuw onderzoeksgebied in Nederland. Sinds korte tijd is het simuleren van stoftransport in rioleringen geoperationaliseerd in Sobek-urban. Hiermee kunnen sinds kort tracer- en fractieberekeningen gemaakt worden. Het is ook mogelijk om waterkwaliteitsprocessen in rioolstelsels uit te rekenen. Hiervoor is de Delwaq-bibliotheek met waterkwaliteitsprocessen beschikbaar. De processenbibliotheek is echter nog niet uitgebreid met waterkwaliteitsprocessen die specifiek zijn voor rioolstelsels. Het voorspellen van de vuiluitworp uit rioolstelsels is daarom voorlopig nog een brug te ver. Dit komt ook doordat over de exacte samenstelling van de instroom van neerslagafvoer van de straten en het afvalwater van de huishoudens relatief weinig informatie voorhanden is. Ook met het schematiseren van rioolwaterzuiveringsinstallaties is nog weinig ervaring opgedaan met Sobek-urban.

Case study

Het integrale modelinstrument omspant de hele waterketen. Hiermee kan het transport van water en stoffen gesimuleerd worden in de waterketen én het oppervlaktewater. Het integrale modelinstrument voor de waterketen is toegepast voor een fictieve woonwijk, met een gesloten waterkringloop (zie kader). De studie is bedoeld om het modelinstrument te testen, onderzoeksvragen te beantwoorden én nieuwe onderzoeksvragen op te roepen.

Aan het waterketenmodel zijn onderzoeksvragen voorgelegd, zoals wat het benodigd percentage open water in de woonwijk is, of lokaal in de waterbehoefte voor drinkwater voorzien kan worden en in hoeverre verontreinigende stoffen in de waterketen en het watersysteem accumuleren.

Deze vragen zijn met de modelschematisatie voor de woonwijk onderzocht. Hiertoe zijn simulaties gemaakt van de hydrodynamica en het stoftransport in de waterketen en het oppervlaktewatersysteem van een representatieve nieuwbouwwijk. Hierna wordt de toepassing van het model beschreven aan de hand van de onderzoeksresultaten voor de waterkwantiteit en het stoftransport.

Water genoeg

De woonwijk van de case study was zodanig ingericht dat voldoende water opgevangen kon worden om in de eigen (drink)waterbehoefte te kunnen voorzien, indien enige peilfluctuatie in het open water werd toegestaan. In het benodigde areaal open water en het percentage van het verharde oppervlak dat losgekoppeld moet zijn, is een optimum te vinden.

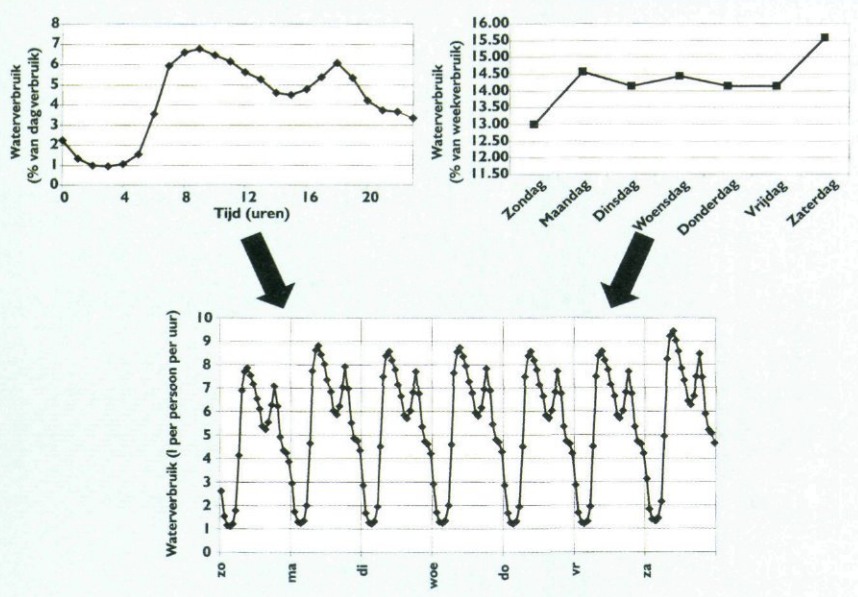
Stoftransport

Bij de bereiding van drinkwater zijn de kwaliteit en de leveringszekerheid essentieel. In een watersysteem waar lokaal drinkwater wordt gewonnen uit het oppervlaktewater, moet het oppervlaktewater aan hoge eisen voldoen. De accumulatie van schadelijke stoffen is uit den boze. In een stedelijke omgeving komen veel verontreinigde stoffen vrij, die op enig moment in de waterketen en het watersysteem terecht kunnen komen. In een situatie met een gemengd rioolstelsel worden de verontreinigingen afgevangen via het riool en naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie afge-

Generiek drinkwatervoorspellingsmodel

Drinkwatervoorspellingsmodellen zijn in het algemeen alleen geldig voor een drinkwatervoorzieningsgebied. Een generiek drinkwatervoorspellingsmodel bleek niet voor handen te zijn. Daarom is door WL | Delft Hydraulics een voorspellingsmodel voor de drinkwatervraag ontwikkeld. Dit model voorspelt de drinkwatervraag gedurende een heel jaar als functie van de dag in de week (werkdag of weekenddag), de week in het jaar (vanwege vakanties) en de meteorologische condities (vanwege het sproeien van de tuin). Voor het genereren van deze reeks is gebruik gemaakt van de drinkwatervraag gedurende de dag, afkomstig van waterbedrijf Europoort en van het verloop van dag tot dag.

Afb. 2: Resultaten van het drinkwatervoorspellingsmodel. Linksboven het dagelijks verloop, rechtsboven het verloop van dag tot dag gedurende een week en onder het berekeningsresultaat van uur tot uur gedurende een week.



voerd. Van deze verontreinigingen zal een deel in het effluent achterblijven. Een deel zal ook door middel van overstortingen uit het rioolstelsel in het oppervlaktewater terecht komen. Bij een verbeterd gescheiden rioolstelsel wordt alleen de neerslagafvoer vanaf daken en wegen naar het oppervlaktewater afgevoerd, de 'first flush' komt in het rioolstelsel terecht.

Ter illustratie van het stoftransport in een min of meer gesloten waterketen zijn met het integrale modelinstrument herkomst- en tracerberekeningen gemaakt. Met een herkomstberekening (ook wel fractiesom genoemd) kan het water vanaf de bron gevolgd worden bij de weg die het kiest door de waterketen en het watersysteem. Aan de hand van de fractieverdeling kan op elk punt in het watersysteem de herkomst van het water herleid worden. In afbeelding 4 worden de resultaten van een fractieberekening voor een periode van twee jaar gepresenteerd. Dit resultaat is verkregen voor het open water. In het onderzoek is een onderscheid gemaakt in verschillende waterstromen op basis van de herkomst van het water. Het stedelijk watersysteem wordt gevoed met huishoudelijk afvalwater, neerslag op het open water, inlaatwater uit de omliggende boezem en neerslagafvoer vanaf verhard oppervlak. Aan het begin van de simulatie zijn het rioolstelsel en de open waterlopen gevuld met 'initieel water'. Deze simulatie laat zien dat het ruim anderhalf jaar duurt, voordat al het initiële water uit het watersysteem is verdwenen. Anders gezegd: het duurt meer dan anderhalf jaar voordat het systeem volledig is ververst.

De fractie 'inlaatwater', water dat uit de boezem afkomstig is, ligt in orde van vijf procent. Dit bevestigt het beeld dat de woonwijk vrijwel zelfvoorzienend kan zijn met water. De fractie DWA is aanzienlijk, tot wel een kwart van het water dat in de centrale plas wordt aangetroffen, is ooit door de huishoudens op de riolering geloosd. De fracties RWA en neerslag variëren tussen de 75 en 90 procent.

Verder onderzoek

Het maken van een integraal modelinstrument voor de waterketen was een uitdaging op zich. Het heeft volop aanknopingspunten voor verder onderzoek opgeleverd. Daarbij hebben we wel geconstateerd dat de case study in zijn huidige vorm veel vrijheidsgraden openlaat. De aanknopingspunten voor verder onderzoek betreffen het grondwater in stedelijke gebieden, emissies en het invullen van de lacunes in het modelinstrumentarium voor de rioolwaterzuiveringsinstallatie en waterkwaliteit in rioolstelsels.

Grondwater

Het grondwater in stedelijke gebieden is een onderbelicht onderwerp binnen de waterketen. Het komt vaak voor dat de riolering lek is, waardoor grondwater het rioolstelsel binnenstroomt. Een klassiek voorbeeld is de situatie van de wat oudere woonwijk waar grondwateroverlast ontstaat nadat de riolering is vernieuwd. Het grondwaterpeil stijgt doordat de riolering zijn drainerende werking heeft verloren. Daarnaast zijn in veel ondergrondse ruimtes, zoals kelders, tunnels en ondergrond-

Woonwijk met een gesloten waterkringloop

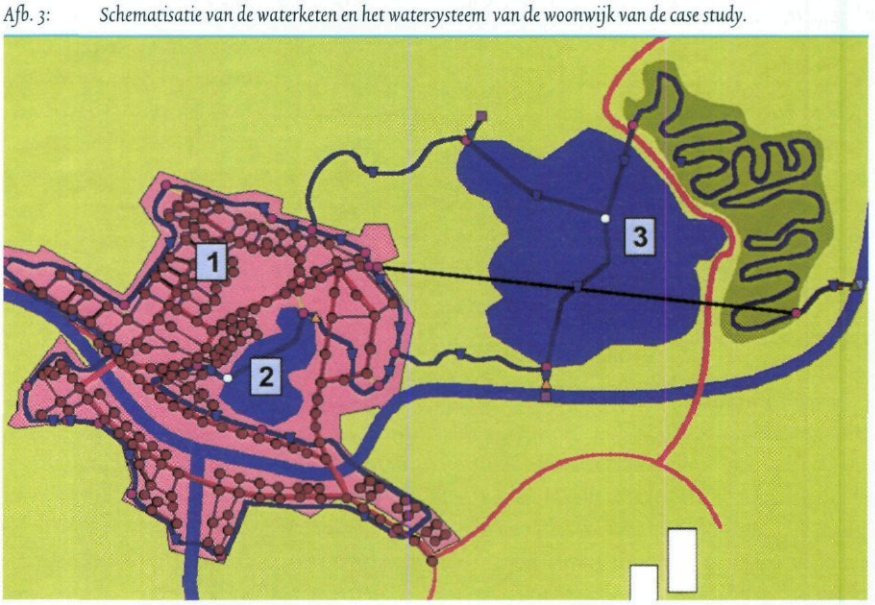
Een gesloten waterkringloop stelt bijzondere eisen aan de waterhuishouding in een woonwijk. In dit voorbeeld wordt het drinkwater gewonnen uit het oppervlaktewater. Het afvalwater wordt ingezameld met een verbeterd gescheiden rioolstelsel (1). De droogweerafvoer van de huishoudens is als functie van de tijd berekend met behulp van een generiek drinkwatervoorspellingsmodel (zie eerste kader voorin dit artikel). De neerslag van daken en wegen wordt in eerste instantie afgevoerd naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie. Bij hevige neerslag wordt de neerslag afgevoerd naar het oppervlaktewater (2). Het mengsel van afvalwater en de first flush van de neerslagafvoer worden in een rioolzuiveringsinstallatie gezuiverd. Het effluent wordt via een helofytenfilter naar het oppervlaktewater geleid (3). De fictieve wijk is onderdeel van een polder-boezemstelsel in west-Nederland. Als het oppervlaktewaterpeil te ver daalt, kan de woonwijk terugvallen op de wateraanvoer door het boezemstelsel.

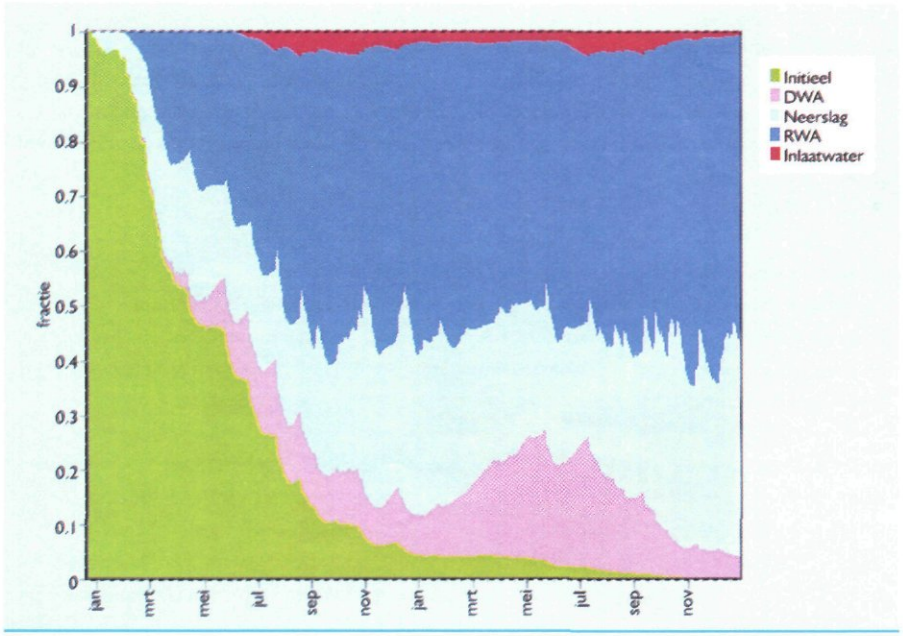
Het stedelijk open water vormt een kringloop, waarin door middel van een gemaal een constante kleine stroomsnelheid wordt gewaarborgd ten behoeve van de waterkwaliteit. Deze stedelijke kringloop is via een tweetal kunstwerken verbonden met de landelijke waterkringloop, met daarin centraal een waterbekken, vanwaar ruw water wordt onttrokken voor de drinkwatervoorziening. Ten tijde van slechte stedelijke waterkwaliteit kunnen de kunstwerken worden dichtgezet, om zo te voorkomen dat de inname van ruw water moet worden gestaakt.

Het rioleringsstelsel en het stedelijk en landelijk open water zijn gemodelleerd met behulp van Sobek-urban. Hierbij is gebruik gemaakt van de modules voor de neerslagafvoer, de waterbeweging en de waterkwaliteit. Bij het ontwerp is gebruik gemaakt van representatieve waarden voor belangrijke parameters als het percentage verhard en onverhard oppervlak en het percentage van het verharde oppervlak dat is aangekoppeld aan de riolering. De ruimtelijke ordening van het gebied is geheel ontsproten aan de verbeelding van de modelleur.

Zowel het open- als het gesloten leidingstelsel zijn geoptimaliseerd om te voldoen aan de verschillende kwantiteitsdoelstellingen, zoals geen water op straat en beperkte peilfluctuatie in het open water. Hierbij zijn modelsimulaties gemaakt voor verschillende neerslaggebeurtenissen. Naast simulaties met de ontwerpbuien volgens de Leidraad Riolering[8] zijn tevens sommen gedraaid voor een hydrologisch droog jaar (1989) en een hydrologisch gemiddeld jaar (1993).

Afb. 3: Schematisatie van de waterketen en het watersysteem van de woonwijk van de case study.





Afb. 4: Resultaat van een fractieberekening. De grafiek is gemaakt in de vijver in het centrum van de stad. De simulatie begint met 100 procent initieel water. De andere fracties zijn (van boven naar onderen): inlaatwater, regenwaterafvoer, directe neerslag op open water, droog weer-afvoer en initieel water. De simulatieperiode beslaat het jaar 1989 met aansluitend het jaar 1993.

se parkeergarages, pompen geplaatst die continu grondwater lozen op de riolering. Zo beschouwd kan grondwater een substantiële belasting van de rioolwaterzuiveringsinstallatie betekenen. Een reductie van de influentstroom naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie en de overstortingen uit het rioolstelsel kunnen wel eens effectiever bereikt worden door grondwaterlozingen af te koppelen dan verhard oppervlak.

Ten behoeve van de modellering is inmiddels een koppeling tussen open water (Sobek Channel Flow) en grondwater (ModFlow) gerealiseerd, een koppeling tussen riolering (Sobek urban) en grondwater nog niet. Een definitiestudie staat op het programma voor het waterketenonderzoek dit najaar.

Emissies in stedelijk gebied

Over de emissies in stedelijk gebied is relatief weinig bekend. De noodzaak om er meer over te weten te komen wordt wel steeds groter. Enerzijds wordt steeds vaker verhard oppervlak afgekoppeld van, of niet aangekoppeld aan, het rioolstelsel. De neerslag wordt gescheiden van het afvalwater afgevoerd naar het oppervlaktewater of geïnfiltreerd in de bodem.

Een tweede ontwikkeling gaat op de middellange termijn spelen. Sedimenttransport en waterkwaliteitsprocessen in rioolstelsels kunnen in de toekomst met steeds meer nauwkeurigheid bepaald worden. De onzekerheden in de modellering van de vuiluitworp uit het rioolstelsel en de influentkwaliteit van zuiveringsinstallaties verschuift richting de instroom van het riool en daarmee naar de emissies in het stedelijk gebied.

Onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse en optimalisatie

Bij het ontwerp van de waterketen in een nieuwe woonwijk bestaan nog veel vrijheidsgraden. Afhankelijk van het stadium van het ontwerp zijn er meer keuzen die nog open staan: de percentages open water en afgekoppeld verhard oppervlak bijvoorbeeld. Om beslissingen in het ontwerp te onderbouwen is kennis over de robuustheid van de waterketen en het stedelijk watersysteem noodzakelijk. Voor het maken van een gevoeligheidsanalyse verdient het aanbeveling om de parameteranalyse-technieken verder te ontwikkelen. Voor het afwegen van keuzen is de zogeheten Constraint Logic Programming-techniek in ontwikkeling. WL exploreert een nieuwe programmeerparadigma (Constraint Logic Programming), waarmee het mogelijk is consistente scenario's te genereren die voldoen aan alle opgegeven eisen voldoen. Een eerste beschrijving van de toepassing hiervan in drinkwaternetwerken in een artikel voor H2O is in voorbereiding en verschijnt dit najaar.

Conclusies

Het maken van een integraal waterketenmodel en het uitwerken van een case study is succesvol verlopen. Op een aantal punten bestaan nog lacunes in het modelinstrumentarium, vooral in de beschrijving van stoftransport en waterkwaliteitsprocessen in de afvalwaterketen. Ook zijn enkele modelkoppelingen weinig zinvol gebleken, zoals de koppeling van een distributiemodel voor drinkwater aan het rioolmodel. Andere modelkoppelingen verdienen meer aandacht, bijvoorbeeld de interactie tussen riolering en grondwater.

Het maken van het modelinstrument en het uitwerken van de case study heeft in feite meer vragen opgeroepen dan dat zij beantwoord heeft. De komende jaren wordt verder gewerkt aan het complementeren van het modelinstrument en het uitvoeren van onderzoek naar concrete waterketenvraagstukken. ¶

LITERATUUR

1) Bernhardi L. en M. Haasnoot (2002). Zoetwatervoorraad bij klimaatverandering. Een verkenning naar kansen en bedreigingen van klimaatverandering in de waterketen.

2) Icke J., R. van den Boomen en R. Aalderink (1999). A cost-sustainability analysis of urban water management. Water Science Technology nr. 5, pag. 211-218.

3) Brdys M., T. Creemers, H. Goossens, J. Riera, A. Heinsbroek en Z. Lisiak (1999). CLOCWiSe: Constraint Logic for Operational Control of Water Systems. Proceedings ASCE 26th Annual water resources planning and management conference, Tempe (Arizona).

4) Achttienribbe G. (1996). Het drinkwaterverbruik thuis onder de loep. H_2O nr. 10, pag. 278-279.

5) Achttienribbe G. (1999). Het huishoudelijk waterverbruik in Nederland. H_2O nr. 7, pag. 23.

6) Icke J. en A. Segeren (2002). Zin en onzin van een integraal model voor de waterketen. Verschijnt in H_2O nr. 21 van 25 oktober 2002.

7) Stichting RIONED (1999). Leidraad Riolering, deel C (operationeel beheer), module c2100.