

---

# SIMGRO6: we maken de balans op

## Deel 2.

Paul van Walsum<sup>1</sup>, Ab Veldhuizen en Joost Heijkers<sup>2</sup>

---

### Inleiding

*In deel I van de tweeluik over SIMGRO6 schetsten wij u de algemene filosofie en principes, en gaven we een kijkje in de keuken van de SIMGRO programmeurs. In dit tweede deel gaan we in op de deelmodellen. In deel III (te verschijnen eind 2008, of begin 2009) zullen we u enkele concrete rekenresultaten met het SIMGRO6-model van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden presenteren.*

### Het integrale concept voor stroming over het maaiveld

Wat betreft de stroming over het maaiveld zijn er voor de koppeling tussen MetaSWAP en een oppervlaktewatermodel ook twee koppelingsopties: 1) een *i*-link, met een weerstandsloze integrale koppeling en 2) een *c*-link, met een runoff/runon koppeling via een weerstand. Beide typen koppelingen hebben hun voor- en nadelen. Het modelleren van het runon/runoff proces met een weerstandskoppeling heeft het nadeel dat de modelcombinatie instabiel kan worden. In dat geval moet de toevlucht worden gezocht in het verkleinen van de uitwisselingstijdstap en/of het verhogen van de weerstand. De integrale optie is ontwikkeld om de rekenlast van de weerstandskoppeling te vermijden en om de berekening snel en stabiel te kunnen laten verlopen. De weerstandsloze integrale koppeling is namelijk onvoorwaardelijk stabiel. Het nadeel is dat er geen tijdvertraging in de uitwisseling zit ingebouwd, wat in sommige situaties onrealistisch kan zijn.

De implementatie van de integrale optie komt tot stand door aan ieder oppervlaktewaterelement een tabel met toegevoegde berging te koppelen, die afgeleid is uit de maaiveldsinformatie van MetaSWAP. De huidige modelcode kan bij koppeling met een extern hydraulisch model overigens alleen de weerstandskoppeling aan. Discussies over een eventuele integrale koppelingsoptie worden nog gevoerd.

Het principe van de integrale koppeling lichten we toe aan de hand van de in figuur 1 afgebeelde stappen:

1. In de uitgangssituatie is de rivierwaterstand beneden het zomerdijkniveau.
2. De rivierwaterstand stijgt tot boven het zomerdijkniveau. Het oppervlaktewatermodel berekent daarbij de berging die plaatsvindt boven de uiterwaarden, dat betreft echter enkel de berging boven dijkniveau. De berging onder dijkniveau is

---

1 Paul van Walsum en Ab Veldhuizen zijn werkzaam bij Wageningen Universiteit en Research Centrum, Alterra, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, [paul.vanwalsum@wur.nl](mailto:paul.vanwalsum@wur.nl)

2 Joost Heijkers is werkzaam bij Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Postbus 550, 3990 GJ Houten

voor dat model onzichtbaar. Het voor het oppervlaktewatermodel onzichtbare deel van de berging noemen we de *micro*berging; het deel boven dijkniveau noemen we de *macro*berging.

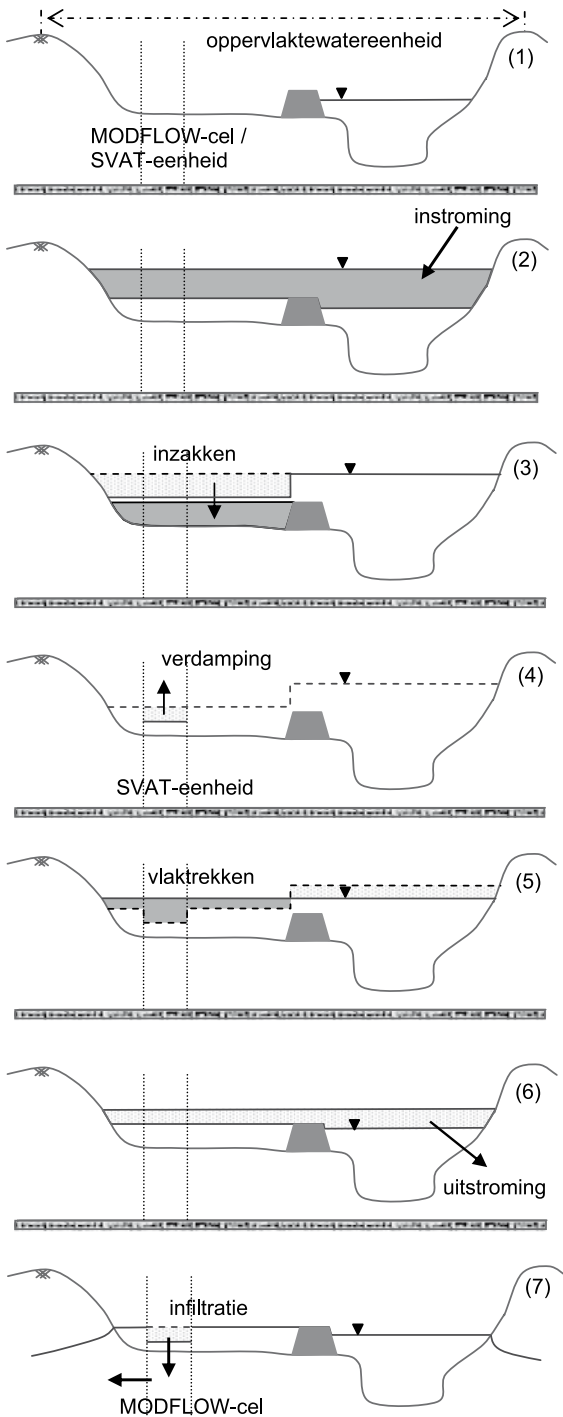
3. Het MetaSWAP-model laat het inundatiewater eerst inzakken in de *micro*berging.
4. Vervolgens wordt de atmosferische interactie toegepast, in dit geval verdamping.
5. Het oppervlaktewatermodel wordt door SIMGRO op de hoogte gebracht van datgene wat MetaSWAP heeft berekend met het gemeenschappelijke deel van het domein. Het oppervlaktewatermodel trekt vervolgens de waterspiegel vlak.
6. Het oppervlaktewatermodel laat water wegstromen, waardoor het peil zakt tot beneden het dijkniveau. Het water achter de dijk blijft daar hangen.
7. Het grondwatermodel laat water in de uiterwaarden infiltreren en afvoeren via de ondergrond.

### **Drainagesimulatie met snelle terugkoppeling vanuit het oppervlaktewater**

De SIMGRO drainage betreft een koppeling tussen een langzaam systeem enerzijds (bodem- en grondwater) en een snel systeem anderzijds (oppervlaktewater). Op deze manier wordt bij de fluxberekening direct gereageerd op een veranderend oppervlaktewaterpeil.

De SIMGRO drainage wordt aan MODFLOW doorgegeven via de voedingsterm; laatstgenoemde hoeft dus niet alleen de onverzadigde stroming naar of van het freatisch vlak te betreffen. In principe kunnen de MODFLOW drainage *packages* gebruikt worden naast die van SIMGRO; beiden kunnen tegelijkertijd actief zijn in een bepaalde MODFLOW-cel. De MODFLOW *packages* hebben als voordeel dat de terugkoppeling vanuit het grondwater meegenomen wordt als onderdeel van het oplossingsschema. Het nadeel is dat er geen snelle feedback is vanuit het oppervlaktewater, waardoor het oppervlaktewatermodel met grote drainagepulsen te maken kan krijgen.

De SIMGRO-koppeling tussen de tijdschalen van grond- en oppervlaktewater komt tot stand door de fluxdichtheid over de tijd te integreren. Dat lijkt een triviale zaak. Het probleem is echter dat de grondwaterstand als een constante wordt beschouwd bij de berekeningen in de snelle subcyclus. Als er geen voorzieningen worden getroffen is er een gerede kans op instabiliteit van het grondwatermodel. In de koppelingssoftware van SIMGRO6 wordt daarom een inschatting gemaakt van de hoeveelheid water die de MODFLOW-MetaSWAP combinatie zou kunnen leveren, zonder dat de grondwaterstand doorschiet tot beneden de drainagebasis. Die inschatting is gebaseerd op de de netto verzadigde MODFLOW grondwaterflux van de vorige tijdstap, de draineerbare hoeveelheid water in de MetaSWAP-kolom en de hoeveelheid percolatie naar het grondwater. De laatste twee termen kunnen alleen vanuit SIMGRO worden bepaald. Daarom zal een MODFLOW package dat herhaald wordt toegepast per oppervlaktewatertijdstap de stabiliteit van de SIMGRO drainage niet kunnen evenaren.



**Figuur 1:** Schematische weergave van stappen van het integrale concept voor berging op het maiveld en interactie met het oppervlaktewater. De stappen zijn in de tekst toegelicht.

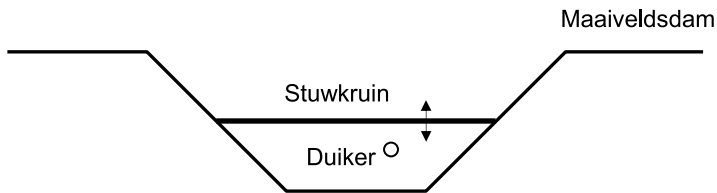
De bovenbeschreven drainage in SIMGRO betreft alleen de freatische drainage. Voor drainage uit diepe lagen is deze rekenwijze niet geschikt, vanwege de kleine bergingscoëfficiënt van het spanningswater. In dat geval kan de drainage vanuit de diepe laag worden gesimuleerd via een MetaSWAP-kolom die met een *c*-link aan een diepere MODFLOW-laag is gekoppeld. De berekening van de interactieflux loopt mee in de zogenaamde *outer loop* van MODFLOW (zie voetnoot in deel I). Deze cyclus komt ook in SIMGRO voorbij, in verband met het dynamisch bepalen van de bergingscoëfficiënt. In tegenstelling tot freatische drainage is de dynamiek van diepe drainage veel minder grillig; het gaat vaak om een lekkende kraan (bijvoorbeeld het wegstromen vanuit de zandlaag onder een veenpakket) of een druppelende voeding. Het berekenen van de flux geheel binnen de langzame cyclus van het grondwater model is in dat geval verantwoord.

### **Oppervlaktewatersimulatie in bovenloopgebieden**

Hydraulische modellen staan erom bekend dat ze reken- en arbeidsintensief zijn. Er zijn genoeg redenen om het gebruik ervan te beperken tot delen van een studiegebied waar een dergelijk model ook echt een meerwaarde heeft. De SIMGRO 0-d oppervlaktewaterstromingsmodule SurfW is in eerste instantie ontwikkeld om als alternatief te dienen voor situaties die hydraulisch relatief eenvoudig zijn en waar het numeriek oplossen van de Saint Venant vergelijkingen niet noodzakelijk is. Dit is een situatie die ons inziens geldig is voor een groot deel van de waterlopen en beken in beheer bij de waterschappen, zeker wanneer de meeste weerstand tegen stroming wordt veroorzaakt door kunstwerken. Er zijn nu tevens koppelingen met twee hydraulische modelcodes gerealiseerd, waaronder SOBEK-CF. Over die koppeling wordt apart gepubliceerd. Hier willen we alvast kwijt dat we nu tegen de SIMGRO-gebruiker kunnen zeggen: “Het al of niet bruikbaar zijn van SurfW voor een bepaalde situatie dient van geval tot geval te worden beoordeeld. Voldoet het eenvoudige concept niet, dan is er het alternatief om met een hydraulisch model te rekenen”.

Het gebruik van meerdere soorten oppervlaktewatermodellen naast elkaar kan leiden tot logistieke complicaties en kan een bron zijn van fouten zijn bij het opzetten van de schematisatie. Het gevaar is dat de gebruiker het overzicht verliest. Tijdens de programmeersessies ten behoeve van de koppeling met SOBEK-CF is door S. Hummel (Deltares, pers. med.) de suggestie gedaan om te beginnen met het definiëren van zogenaamde koppelbare oppervlaktewater-elementen. Vervolgens kunnen deze elementen al of niet gekoppeld worden aan een bepaald model. Toepassing ervan heeft geleid tot een voor de gebruiker goed te hanteren flexibel systeem met eenvoudig te diagnostiseren koppelingsconflicten. Bij het combineren van SurfW met een hydraulisch model is de beperking opgelegd dat de SurfW elementen alleen bovenstrooms van hydraulisch gemiddelde elementen mogen liggen. SurfW is dan ook vooral bedoeld voor bovenlopen.

De eenvoud en efficiëntie van SurfW ligt daarin dat er gewerkt wordt met voorgekookte relaties tussen waterstand en afvoer. Deze worden geïmplementeerd in een netwerkstructuur, waarbij hydraulische anomalieën worden opgespoord en indien mogelijk tijdens het rekenproces worden rechtgezet. In figuur 2 is in de dwarsdoorsnede aangegeven welke drempels een rol spelen in de berekening van de afvoer. Dit zijn de maaiveldsdam, de stuwkruin (of bodem van de waterloop), die in het model met beheersregels op en neer kan worden bewogen, en een eventueel aanwezige duiker.



**Figuur 2:** Drempels van afvoerrelaties in SurfW

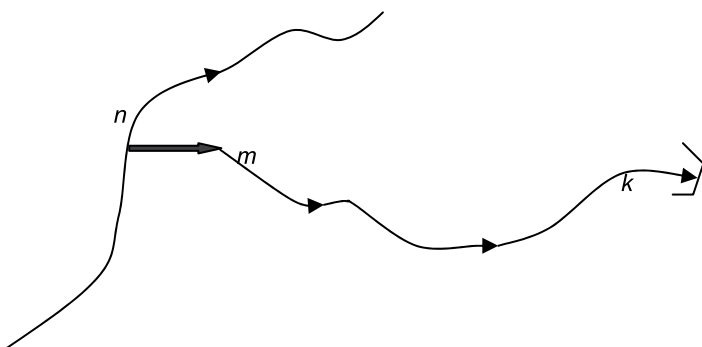
Indien het oppervlaktewaterpeil boven de maaiveldsdam uitkomt (en boven het benedenstroomse peil), dan wordt de betreffende waterschijf weerstandsloos naar het volgende reservoir doorgegeven. De stuw drempel dient als nulniveau van de afvoerrelatie die met een tabel is gespecificeerd in de modelinvoer. De tabel beweegt dus mee met de drempel. De optionele duiker levert een bijdrage aan de afvoer aan de hand van het waterstandsverschil voor en achter de duiker. Als het peil achter de stuw beneden de drempel van de duiker komt is alleen het bovenstroomse peil bepalend. De relatie tussen het waterstandsverschil en de afvoer wordt in de modelinvoer via een simpele exponentiële relatie gespecificeerd, in de vorm van een coëfficiënt en een exponent. De relatie die een duiker beschrijft en de tabel van afvoer over de stuw kunnen tegelijkertijd actief zijn. Dit opent in principe ook de mogelijkheid om het model te gebruiken voor geavanceerde meta-modellering van de hydraulica, vergelijkbaar met de manier van werken in MetaSWAP. Iets dergelijks is voor het oppervlaktewater echter nog niet gerealiseerd. Het eerste toepassingsdoel is toch vooral het kunnen simuleren van het effect van maatregelen als water vasthouden in de haarvaten, zonder dat de rekenlast sterk toeneemt.

De bovengenoemde opties kunnen creatief worden gebruikt voor allerlei situaties. Wil men bijvoorbeeld een maaiveldsdam met een  $Q$ - $\Delta h$ -relatie? Zet dan de maaiveldsdam op  $+10^4$  m, en de duiker op het maaiveldsniveau. Wil men alleen een tank voor de modellering van glastuinbouw? Laat de  $Q$ - $h$  tabel en de duiker dan weg, en zet het niveau van de maaiveldsdam op het overlooppniveau.

De bovenbeschreven relaties zijn geïmplementeerd binnen een netwerkstructuur die ook splitsingen kan bevatten. De  $Q$ - $h$  tabellen voor afvoer over stuwen (en/of waterbodems) houden in principe geen rekening met de benedenstroomse waterstanden. Dit kan tot ongewenste effecten leiden, waarbij het water omhoog stroomt naar de volgende locatie. Als een gemaal gemodelleerd wordt is dit overigens de werkelijke situatie. Is dat niet het geval, dan kent het model de zogenaamde *stopflow* optie die de anomalie repareert. Die reparatie geschiedt heel eenvoudig door een deel van de afvoer vast te houden, zodat het bovenstroomse peil opgevuld wordt tot het benedenstroomse niveau. Het blijft echter mogelijk dat het benedenstroomse bakje toch eindigt met een iets hoger peil aan het einde van dezelfde tijdstep. Dat kan omdat het rekenalgoritme van boven- naar benedenstrooms rekent, en niet zoals in een hydraulisch model een stelsel van vergelijkingen oplost. Het voordeel van de SurfW-methode is dat het bijzonder snel rekent. Aan dat laatste wordt bijgedragen door de efficiënte tabelzoekacties en de directe oplossingsmethode voor de gecombineerde bergings- en afvoervergelijking van een bepaalde locatie.

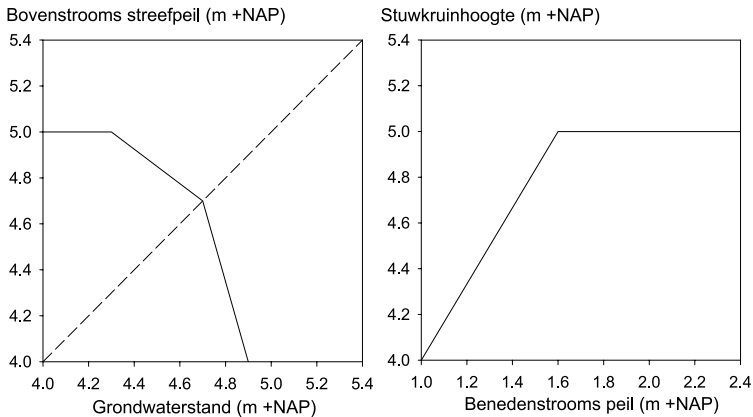
SurfW kent ook opties om water tegen de normale afvoerrichting in te laten lopen. Dat kan handig zijn voor situaties waar water wordt aangevoerd, en er een gematigde stroming is in de richting tegengesteld aan de normale afvoerrichting. De capaciteit om achteruit te stromen wordt echter beperkt door de bergingscapaciteit in combinatie met de tijdstap. Hier geldt duidelijk dat de modelgebruiker zelf moet beoordelen of het water snel genoeg stroomt in de gewenste richting. Is dat niet het geval, dan dient men te overwegen een hydraulisch model in te zetten, of uit te wijken naar de allersimpelste aanvoeroptie van SurfW: externe wateraanvoer, zonder het expliciet maken van de aanvoerroute.

Een andere optie voor wateraanvoer is het gebruik van een speciale aanvoertak, zoals aangegeven in figuur 3. Een dergelijke link maakt het mogelijk om kortsluitingen te maken in de netwerkstructuur. Indien gewenst kan op die manier ook het circuleren van water voor waterkwaliteitsdoelstellingen worden gesimuleerd.



**Figuur 3:** Voorbeeld van een aanvoerlink. Water wordt overgebracht van locatie  $n$  naar locatie  $m$ . De aanvoersturing is gebaseerd op de waterstanden in  $n$  en  $m$ , en de afvoer over de kruin bij  $k$ .

Behalve de vereenvoudigde simulatie van stromingssituaties en de genoemde aanvoeropties kent het SurfW model diverse opties om stuwbeheer te simuleren. Het stuwbeheer kan zowel boven- als benedenstrooms gestuurd zijn, en al of niet gebruik maken van informatie over grond- of oppervlaktewaterstanden. In figuur 4 zijn voorbeelden gegeven van twee soorten beheersschemas. Het ligt voor de hand om in de praktijk ook te gaan sturen op metingen van bodemvocht en voorspellingen van het weer. Het nabootsen van dergelijke soorten van aansturing is nog niet mogelijk met SIMGRO, maar ze zijn eenvoudig aan de code toe te voegen. Dat zal in de nabije toekomst zeker gebeuren.



**Figuur 4:** Voorbeelden van stuwbeheerschema's die in SurfW kunnen worden geïmplementeerd. Links staat een voorbeeld van grondwatergestuurd peilbeheer van een automatische stuw; rechts staat een voorbeeld van oppervlaktewatergestuurd stuwbeheer.

Uiteraard kan SIMGRO6 ook offline worden gekoppeld aan een hydraulische modelcode als SOBEK-CF. In dat geval kan SIMGRO6 worden gezien als neerslagafvoermodule. Hiervoor is het uitermate geschikt aangezien alle relevante processen (grondwaterafvoer via drainage- en ontwateringsmiddelen, runoff over maaiveld, inundatie vanuit het oppervlaktewater, afvoer- en peildynamiek in het oppervlaktewater) op de relevante tijdschalen (5min tot 1 dag) kunnen worden gesimuleerd.

### Modellering van stedelijke hydrologie

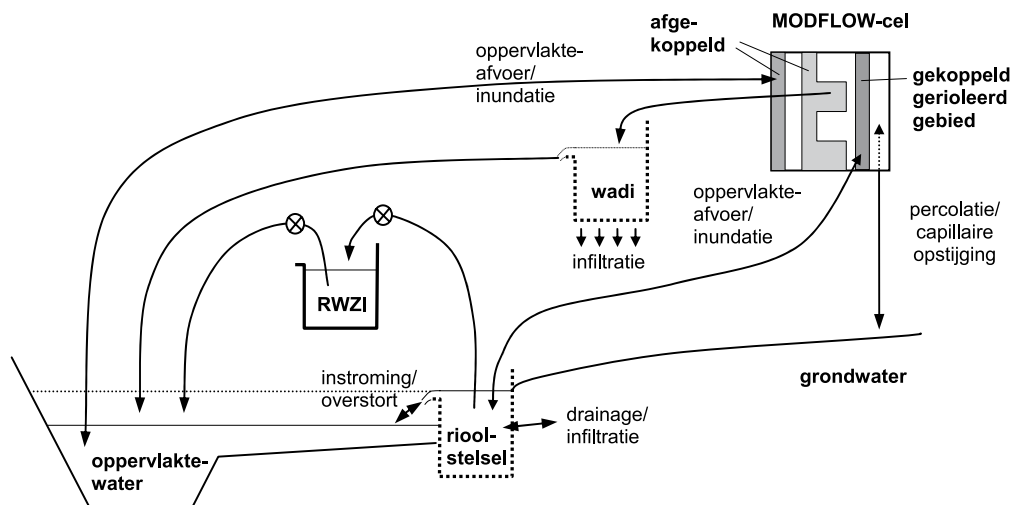
Hoewel er naast de reeds geschetste ontwikkelingen de laatste jaren nog veel meer is toegevoegd aan het SIMGRO concept, zoals een aangepast concept voor bosinterceptie en -verdamping, alsmede een nieuw concept voor de waterhuishouding van kassengebieden, willen we besluiten met de beschrijving van SIMGRO-Urban.

Stedelijke hydrologie wordt door velen gezien als een vak apart: het is het terrein van oppervlaktewaterhydrologen en riolours enerzijds en van de waterpraters anderzijds. Welke gemeente heeft er geen speciale afdeling riolering, welke gemeente heeft er geen SOBEK of DUFLOW-model? En welke gemeente heeft er geen rapport in de kast staan over zogenaamde waterkansen?

Er is relatief weinig aandacht voor de relatie tussen het stedelijke gebied en zijn hydrologische omgeving, behalve als het gaat om de haat-liefde verhouding tussen grondwaterwinningen en grondwateroverlast en het vervangen van lekke rioleringsbuizen. Hier zijn verschillende redenen voor, zowel van bestuurlijk-juridische aard als van technische aard. We zien niettemin een groeiende ambitie bij waterschappen en gemeenten om samen te werken, deels afgedwongen door zaken als de KRW en de verwachte klimaatveranderingen.

SIMGRO biedt de mogelijkheid om het stedelijke gebied te integreren in zijn hydrologische context (figuur 5). Het gaat daarbij om meer dan het bepalen van een goede grondwateraanvulling of het berekenen van overstorten. Het gaat om inzicht in de volledige waterbalans van het stedelijke gebied. Van zowel het verharde deel, het onver-

harde deel en het oppervlaktewater. Het gaat ook om kwantificering van het effect van maatregelen op die stedelijke waterbalans. Dan gaat het op maatregelen als afkoppelen, het aanbrengen van wadi's, het aanbrengen of verwijderen van stedelijke drainage, het introduceren van groene daken, het vasthouden van water op platte daken, het wijzigen van stedelijke beplanting en het creëren van oppervlaktewaterberging.



**Figuur 5:** SIMGRO-Urban. In dit voorbeeld worden vier MetaSWAP-kolommen gekoppeld aan iedere MODFLOW-cel. De kolommen fungeren als 'plots' voor de vier verschillende situaties die binnen de cel voorkomen. Het niet ingekleurde deel betreft open grond met vegetatie; de overige drie betreffen verhard oppervlak dat op verschillende manieren aan het stedelijke oppervlaktewatersysteem is gekoppeld.

Vanuit de nieuwe taakstelling van zowel gemeenten als waterschappen is het zaak om inzicht te krijgen in de hydrologie van bebouwde gebieden. De meest recente ontwikkeling is de mogelijkheid binnen SIMGRO om zowel aan de interactie tussen grondwater en riolering te kunnen rekenen, als aan de 3 interacties tussen oppervlaktewater en riolering, te weten: 1) overstort van de riolering naar het oppervlaktewater, 2) instroming van het oppervlaktewater via de overstort naar het riool en 3) lozing van water van de RWZI op het oppervlaktewater.

Interactie met het grondwater kan plaatsvinden, en wel op 2 manieren: de riolering kan draineren, en de riolering kan infiltreren.

HDSR voert thans samen met de gemeente Utrecht een studie uit naar rioolvreemd water. Het blijkt dat in Nederland gemiddeld 60% van de Droog Weer Afvoer (DWA) bestaat uit rioolvreemd water. Dit water kan van diverse bronnen afkomstig zijn. Naar verwachting komt het water met name vanuit het oppervlaktewater via terugstroming door bijvoorbeeld overstorten en vanuit het grondwater door lekkende riolering.



Met een analyse van rioolvreemd water zijn we thans bezig, waarbij voorhanden zijnde debietgegevens van de RWZI Utrecht zullen worden gebruikt in combinatie met het MODFLOW-SIMGRO model van HDSR.

Wij hopen in een vervolgartikel te kunnen rapporteren over deze studie en dieper in te gaan op het stedelijke concept van SIMGRO. Mocht het concept werken dan voorziet dit volgens ons in een grote behoefte, omdat rioolvreemd water een significante kostenpost voor vooral de waterschappen oplevert. Meer inzicht in de interactie met de riolering kan leiden tot meer inzicht in mogelijke oplossingen van problemen rond stedelijk water.

## **Referenties**

**Rutter, A. J., Morton, A. J., & Robins, P. C. (1975)** *A predictive model of rainfall interception in forests. II Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands; In: Journal of Applied Ecology, 12, pag. 367–380.*