



## Grondwatermodel voor het stedelijk gebied rond Haarlem

DRS. J. DE BEER, WARECO

*Grondwaterbeheer is een onlosmakelijk onderdeel van het waterbeheer. Voor een effectief en doelmatig (grond)waterbeheer is inzicht gewenst in de variaties van de freatische grondwaterstanden, zowel ruimtelijk als in de tijd. Inzicht in de aard en omvang van de actuele en toekomstige grondwaterproblematiek, alsmede de invloed van (regionale) omgevingsfactoren is nodig als basis voor het formuleren van grondwaterbeleid en het opstellen van een grondwaterplan. Een gedetailleerd grondwatermodel voor de bovenste meters van de bodem in het stedelijk gebied kan dit inzicht belangrijk vergroten. De gemeente Haarlem heeft een grondwatermodel op laten stellen en realiseert hiermee een belangrijke bouwsteen voor het waterbeheer in het stedelijk gebied.*

De gemeente Haarlem voert reeds meer dan 20 jaar een preventief beleid ten aanzien van problemen in de stedelijke waterhuishouding die worden veroorzaakt door hoge grondwaterstanden. Bij het uitvoeren van reconstructiewerk of rioolvervanging wordt stevast grondwateronderzoek uitgevoerd om te beoordelen of de werkzaamheden kunnen leiden tot grondwateroverlast. Indien dit het geval is, wordt drainage aangelegd. In het aangrenzende duingebied, de Kennemerduinen, wordt gestopt met het winnen van grondwater voor drinkwater. Inzicht is gewenst of, waar en hoeveel de freatische grondwaterstand

in Haarlem zal stijgen en in hoeverre de afvoer van de drainagesystemen zal toenemen. Behoeft bestaat aan kennis over de grondwatersituatie bij in- en uitbreidingslocaties en men wenst inzicht in de effecten van het afkoppelen van verhard oppervlak van de riolering.

Om in deze kennis te voorzien is door Wareco een gedetailleerde grondwatermodelstudie voor het stedelijk gebied van Haarlem uitgevoerd. Het bijzondere van deze modelstudie is het schaalniveau en het detail waarmee de bovenste meters van de stedelijke ondergrond in het model zijn opgenomen. Hierbij is ook de ondergrondse stedelijke infrastructuur gemodelleerd.

### Modelconcept

De regionale geohydrologische situatie in Haarlem wordt in hoge mate bepaald door het duingebied en de omliggende polders. Op wijk-, buurt- en straatniveau wordt de geohydrologische situatie daarnaast beïnvloed door afstroming naar oppervlaktewater, kunstmatige ontwateringsmiddelen (drains, lekke riolen) en diverse verstoringen in de bovenste meters van de ondergrond, zoals kelders en kabels en leidingen. In afbeelding 1 is schematisch weergegeven welke factoren een rol kunnen spelen bij de optredende grondwaterstanden in het stedelijk bodemprofiel.

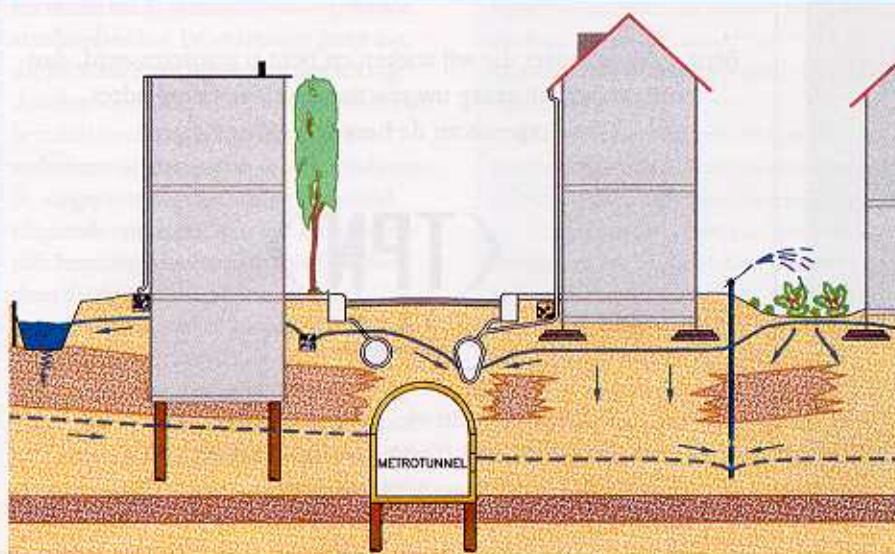
In het modelconcept worden de weergegeven factoren geschematiseerd. De freatische grondwatersituatie in het stedelijk gebied wordt sterk bepaald door de heterogene ondergrondse infrastructuur in de bovenste meters van de ondergrond. Het stedelijk topsysteem is een complex systeem met afwijkende, onnatuurlijke verstoringen.

Per wijk kan de ondiepe bodemopbouw sterk verschillen door de wijze van bouwrijpmaken van de wijk. De geohydrologische situatie van een integraal opgehoogde wijk is essentieel anders dan die van een wijk waar bij de bouw de 'cunettenmethode' is toegepast. Bij deze methode zijn de straten goed doorlatende zandbanen, terwijl de binnenterreinen juist slechter doorlatend zijn, doordat het oorspronkelijke materiaal uit het wegcunet hier is gestort. Een integraal opgehoogde wijk bestaat uit een min of meer uniforme ophooglaag.

Ook een rioolsysteem kan op verschillende manieren het grondwatersysteem in de stad beïnvloeden. Door lekkage kan het riool na verloop van tijd een drainerende functie hebben gekregen. Een onderheid riool kan door zetting van de bodem onderloops zijn geworden, waardoor een sterke voorkeursstroming kan ontstaan. Daarnaast leidt een beschadigd 'opgeboeid' riool juist tot infiltratie, verhoging van de grondwaterstand en bovendien tot grondwaterverontreiniging. Naast bovengenoemde aspecten wordt de grondwaterstroming tevens beïnvloed door kabel- en leidingstroken, vergravingen en ondergrondse bouwwerken zoals kelders en tunnelbakken (zie afbeelding 1). Tot slot is een niet te onderschatten factor bij het modelleren van het stedelijk topsysteem de sterk wisselende verharding zoals asfalt, klinkers en groenvoorzieningen.

Uit metingen van het systematisch grondwatermeetnet van de gemeente Haarlem blijkt dat in het grondwaterstromingspatroon op straat- en buurtniveau variaties optreden van meerdere decimeters. Een sprekend voorbeeld hiervan is het effect van een lek riool op de

Afb. 1: Schematische weergave van de factoren die grondwaterstanden in stedelijk gebied kunnen beïnvloeden.



grondwaterstand (zie afbeelding 2).

In regionale modellen wordt het topsysteem in het algemeen geschematiseerd als één modellaag. Dit is meestal de deklaag, waarin de stedelijke complexiteit voor het doel van het model wordt 'gemiddeld' in een regionale schematisering. Het effect van stedelijke (ondergrondse) infrastructuur op de grondwatersituatie is dan echter niet afzonderlijk te beoordelen. Om inzicht te verkrijgen in de geohydrologische situatie op buurtniveau, was voor Haarlem een dergelijke grove modelschematisering onvoldoende nauwkeurig. Een belangrijke reden voor Haarlem om een hoger detailniveau te realiseren was tevens de wens om geohydrologische- of civieltechnische ingrepen op buurtniveau te kunnen beoordelen. Dankzij het relatief dichte grondwatermeetnet en de vele uitgevoerde (grondwater)onderzoeken, bleek een dergelijke modelverfijning te realiseren.

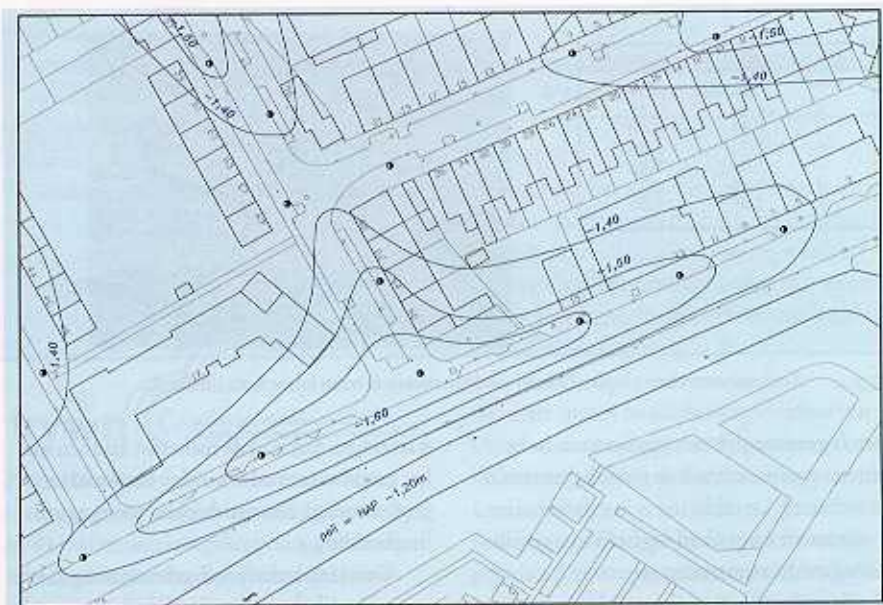
Bij het opstellen van het modelconcept en het schematiseren van de invloedsfactoren in het stedelijk gebied zijn twee typen modelschematiseringen onderscheiden:

- schematisering van zichtbare, bekende invloedsfactoren, zoals vergravingen van scheidende lagen, variatie in verhardingspercentage, drainagesystemen en oppervlaktewater,
- schematisering van onzichtbare invloedsfactoren, zoals voorkeursstroombanen door kabel- en leidingstroken, relatief goed doorlatende wegunetten, onderloopse of lekkende rioolssystemen en hydraulische weerstanden door onderkelderingen.

De eerstgenoemde invloedsfactoren zijn goed te schematiseren op basis van de uitgevoerde grondwater- en drainage-onderzoeken, boorbeschrijvingen, luchtfoto's en topografische kaarten.

De tweede groep invloedsfactoren kan minder eenduidig worden geschematiseerd omdat ze in stedelijk gebied niet of slechts indirect zichtbaar zijn. Uit grondwaterstandmetingen is het echter evident dat dergelijke invloedsfactoren een grote rol spelen in de geohydrologische situatie van de stad. De formule van Hooghoudt om de opbolling tussen drains of sloten te bepalen, leidt in de stad vrijwel consequent tot een onrealistisch hoge opbolling. De grondwaterstand wordt kennelijk laag gehouden door andere invloedsfactoren. Om deze onbekende factoren te vertalen in modelparameters is begrip nodig van de stedelijke ondergrond en de invloed van de ondergrondse stedelijke infrastructuur.

Bij de modellering van het topsysteem is het dus van belang per buurt inzicht te krijgen



Afb. 2: Isohyets-patroon van de grondwaterstanden bij een lek riool.

in de onzichtbare invloedsfactoren op de grondwaterstand. Voor de Haarlemse situatie is hiertoe archiefonderzoek uitgevoerd. Hierbij is onder andere gekeken naar:

- de ouderdom van de wijk en de methode van bouwrijpmaken,
- het type woningen en de funderingswijze,
- de ouderdom, het type en het aanlegniveau van de riolering
- en bijzondere ondergrondse infrastructuren.

Op grond van het archiefonderzoek zijn de onbekende invloedsfactoren modelmatig geschematiseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de 'specifieke drainageweerstand', een maat voor de afstroming naar de (onbekende) ontwateringsmiddelen. Deze weerstand is eerst geschat op basis van de dikte van de top laag en de verwachte afstand tussen de ontwateringsmiddelen of voorkeursstroombanen. Tijdens de modelcalibratie zijn de specifieke drainageweerstand aangepast.

## Modelbouw

### Rekenprogramma

Het conceptuele model is omgezet in een rekenmodel. Hiertoe is gebruik gemaakt van MicroFem. Dit programma maakt gebruik van de eindige elementenmethode en is geschikt voor het modelleren van instationaire (quasi-) driedimensionale grondwaterstroming. Omdat het programma gebruik maakt van een flexibel triangulair modelnetwerk, kunnen relatief eenvoudig modelverdichtingen worden gemaakt. Hierdoor kan een gedetailleerd modelconcept waarin afzonderlijke waterlopen en complexe ondergrondse infrastructuur zoals damwanden, kelders en tunnels zijn opgenomen, nauwkeurig worden gemodelleerd.

In het model voor Haarlem zijn alle aanwezige waterlopen afzonderlijk ingevoerd zodat de bodemweerstand van deze waterlopen in het model konden worden opgenomen. De peilbuizen van het systematisch grondwatermeetnet zijn ook als vaste knooppunten in het modelnetwerk opgenomen. Het model bestaat uit ruim 21.000 knooppunten met een gemiddelde knooppuntsafstand in Haarlem circa 100 meter. Buiten de gemeente Haarlem is een regionale knooppuntsafstand van maximaal 500 meter aangehouden.

De buiten- en onderrandvoorwaarden bestaan uit de Noordzee en polderpeilen. De bovenrandvoorwaarde van het model wordt gevormd door een ontwateringsbasis en de voeding van het grondwatersysteem door infiltrerend neerslagwater. In het duingebied is dit een vrij bewegende grondwaterstand met een netto voeding vanuit neerslagwater. De ondergrens van het model bevindt zich in het Pleistocene pakket.

De bovenrandvoorwaarde in het stedelijk gebied is wisselend en wordt bepaald door drainagesystemen, polderpeilen en de diverse oppervlaktewaterlopen met vast peil, drainage- en infiltratieweerstand.

Voor de bepaling van de ontwateringsdiepte is de maaiveldhoogte aan het model toegevoegd. Deze is gereconstrueerd uit GIS-gegevens van het provinciaal hoogrebestand en een interpolatie van rioolputhoogten uit het rioolbeheerspakket van de gemeente Haarlem. Met name ter plaatse van de openbare weg is hiermee een nauwkeurige hoogteligging in het model opgenomen.

## Modelcalibratie

Tijdens de modelcalibratie zijn para-

Ontwateringsdiepte in m. tov. mv.		
kleur	van	tot
■	<0.50	0.50
■	0.50	0.70
■	0.70	1.00
■	1.00	1.50
■	1.50	2.50
■	2.50	>2.50



Afb. 3: Berekende ontwateringsdieptes (links bij een droge situatie en rechts bij een natte situatie).

meters geoptimaliseerd, zijn systematische fouten opgespoord en is de modelschematisatie verbeterd. De calibratie is in eerste instantie stationair uitgevoerd, op basis van gemiddelde grondwaterstanden en neerslaggegevens. Vervolgens is instationair gekalibreerd voor de periode 1990-1999. De grondwaterstanden ter plaatse van de peilbuisen van het systematisch grondwatermeetnet zijn vergeleken met de berekende grondwaterstanden. Het model bleek met name gevoelig voor de onderstaande parameters:

- berging in het bovenste watervoerend pakket (topstelsysteem),
- verhardingspercentage,
- specifieke drainageweerstand.

Uit modelcalibratie is gebleken dat de specifieke drainageweerstand noodzakelijk is om onrealistisch hoog berekende grondwaterstanden te voorkomen. Het volledig freatisch modelleren van stedelijk gebied zoals een duingebied (in feite een oneindig hoge drainageweerstand) leidt in vrijwel alle gevallen tot te hoog berekende grondwaterstanden. Tevens is geconcludeerd dat de weerstand tegen afstroming naar ontwateringsmiddelen in Haarlem relatief hoog is wanneer geen drainage in de openbare weg ligt. Hierdoor wordt het verhardingspercentage een zeer gevoelige parameter. Een geringe afname van het verhard oppervlak leidt tot een hogere grondwaterstand die vervolgens relatief traag afstroomt naar ontwateringsmiddelen. De ontwaterings situatie is door de aanleg van vele drainagesystemen in Haarlem aanzienlijk verbeterd, waardoor het infiltrerende neerslagwater relatief snel afgevoerd kan worden. De freatische grondwaterstandsfuctuaties in Haarlem zijn sterk afhankelijk van de neerslag. De reactie op een bui is bijzonder snel en de berging relatief beperkt.

### Toepassing

Met de realisatie van het grondwatermodel voor het stedelijk gebied van Haarlem is een instrument beschikbaar gekomen voor een actief grondwaterbeheer. Met het model wordt ruimtelijk inzicht in de ontwaterings situatie verkregen tijdens verschillende meteorologische situaties. Ook veranderingen van de ont-

wateringssituatie in de toekomst kunnen met het grondwatermodel worden berekend en gepresenteerd. Een voorbeeld is weergegeven in afbeelding 3.

Voor Haarlem zijn effectberekeningen uitgevoerd om het gevolg van wijzigingen van de onttrekkingen in de Kennemerduinen op de grondwatersituatie in Haarlem te beoordelen. Op wijkniveau is geconcludeerd dat in sommige wijken een beperkte afname van de ontwateringsdiepte door stopzetting van de winningen zal optreden. Bovendien is geconcludeerd dat er een toename van de drainage-afvoer zal optreden na stopzetting van de winningen, waardoor plaatselijk aanvullende maatregelen noodzakelijk zullen zijn. Het grondwatermodel is hiermee tevens een instrument bij het stellen van prioriteiten van te nemen maatregelen om grondwateroverlast te voorkomen of te verminderen.

Uit te voeren geohydrologische of civieltechnische maatregelen kunnen in het grondwatermodel worden opgenomen, opdat de invloed en effectiviteit ervan kunnen worden beoordeeld. Dit geldt niet alleen voor maatregelen om grondwateroverlast te voorkomen, maar ook voor aspecten van duurzaam waterbeheer. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld het afkoppelen van verhard oppervlak van de riolering en het infiltreren van neerslagwater in de bodem.

Het effect van peilwijzigingen van het oppervlaktewater op de grondwatersituatie kan met behulp van het grondwatermodel op buurtniveau worden beoordeeld, evenals effecten van baggerwerkzaamheden. Daarnaast kan het grondwatermodel zelfstandig, of in combinatie met chemische modellen, worden gebruikt voor het voorspellen van (verontreinigd) stoftransport in de bodem. Hierbij kan worden gedacht aan het uitvoeren van saneringsonderzoeken of flexibel emissie beheer.

### Conclusies

Het grondwatermodel vormt een belangrijke bouwsteen en is richtinggevend voor het toekomstig actief grondwaterbeheer in de gemeente Haarlem. Het maakt geohydrologi-

sche informatie over grondwateroverlast en grondwaterkansen, die zich met name afspelen in de bovenste meters van de bodem, ruimtelijk inzichtelijk:

- herkenning van gebieden met te lang, te hoge grondwaterstanden, waardoor vochtoverlast in woningen en binnenterreinen, onder wegen en plantsoenen kan ontstaan;
- herkenning van gebieden met te lang, te lage grondwaterstanden, waardoor droogstand en eventueel rotting van houten paalfunderingen kan ontstaan of zettingschade kan optreden;
- herkenning van gebieden met geohydrologische kansen voor infiltratie van regenwater, natuurontwikkeling en ecologie.

Het grondwater vormt een belangrijk onderdeel van het Haarlemse waterplan dat momenteel in voorbereiding is. Het grondwatermodel is als instrument zeer waardevol bij het beoordelen van effecten op het watersysteem en voor het formuleren van (grond)waterbeleid.