Het gebruik van het programma SL in het ecohydrologisch onderzoek

door:

Ir. J. W. Kooiman, Ir. G. J. M. Uffink en Dr. E. J. M. Veling

Overdruk uit H_2O, eenentwintigste jaargang, nummer 7, 31 maart 1988, pagina 176 t/m 182.

Het gebruik van het programma SL in het ecohydrologisch onderzoek

Single-Layer-model voor grondwaterstanden
Bij het maken van hydrologische berekeningen wordt de hydroloog vaak gedwongen tot het maken van grove schematisaties. Dat is het gevolg van de toegepaste rekenmethoden. Hierdoor zijn de resultaten vaak minder relevant voor kleinschalige toepassingen, bijvoorbeeld in het ecologisch onderzoek, waar grote interesse bestaat voor zeer locaal optredende grondwaterstanden. Het in dit artikel besproken computerprogramma SL (Single-Layer), ontwikkeld door Prof. Dr. Ir. O. D. L. Strack (USA), stelt de gebruiker in staat zeer gedetailleerd te modelleren.
Het interactieve gebruik en de grote mate van gebruikersvriendelijkheid geven de hydroloog nieuwe mogelijkheden. Door 'inzoomen' kunnen details worden uitvergroot, en met 'tracen' kunnen (vervuilde) waterdeeltjes worden gevolgd. Een toepassing in een deel van de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen (Amsterdam) wordt hier beschreven. De mogelijkheden van de thans beschikbare versie zijn beperkt tot het modelleren van een enkele watervoerende laag. Een versie waarbij locaal optredende kleilenzen kunnen voorkomen en rekening wordt gehouden met de interactie met aangrenzende watervoerende pakketten is in ontwikkeling.

1. Inleiding

Naar de gevolgen van de waterwinning op de vegetatie in de duingebieden is de laatste jaren veel onderzoek verricht, zowel door hydrologen als ecologen. Het bereiken van goede resultaten in het eco-hydrologisch-integratieonderzoek wordt nogal eens bemoeilijkt door het denken in verschillende schaalgroottes door hydrologen en ecologen. De hydroloog is meer geïnteresseerd in de (grondwater-)stroming in grotere gebieden, in de orde van grootte van hectares.
De ecoloog richt de aandacht meer op de

IR. J. W. KOOIMAN
Gemeentewaterleidingen
(Amsterdam)

IR. G. J. M. UFFINK
RIVM-Laboratorium voor
Bodem- en Grondwateronderzoek

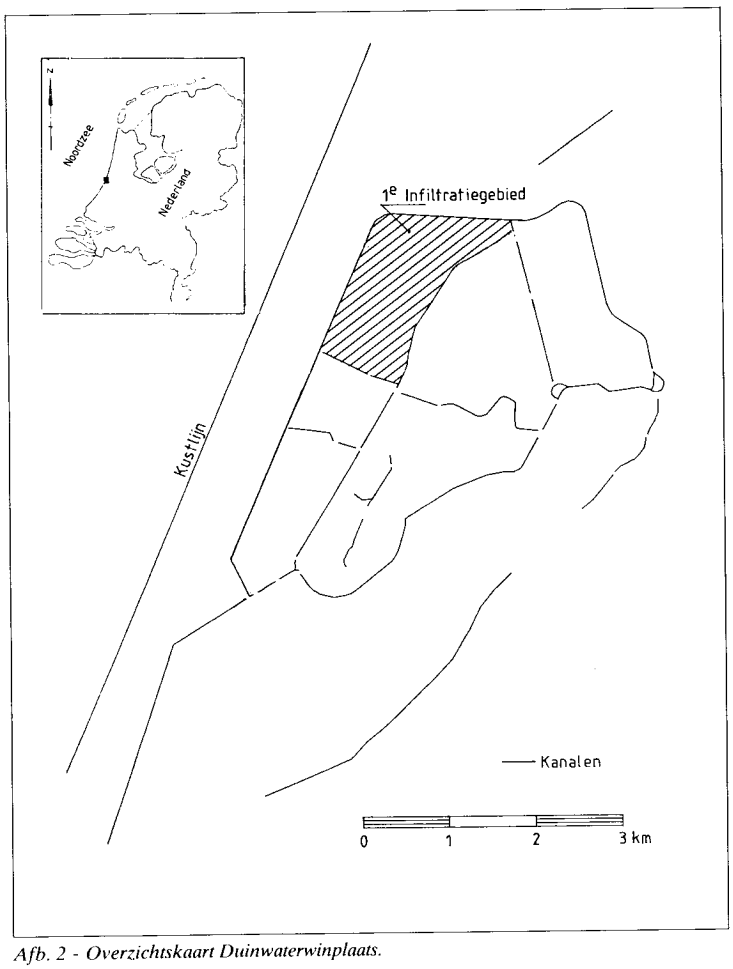
DR. E. J. M. VELING
RIVM-Centrum voor
Wiskundige Methoden

begroeiing van kleine gebieden, welke in de orde van grootte van vierkante meters (of soms nog kleiner) liggen.
Een van de doelstellingen van het eco-hydrologisch-integratieonderzoek is om deze afstand tussen beide typen onderzoekers te verkleinen. Dat kan in principe op drie manieren. De ecoloog kan op grotere schaal gaan denken; of de hydroloog op kleinere schaal; danwel een combinatie van beide.
In dit artikel zal ingegaan worden op de tweede manier: de hydroloog zal op kleinere schaal gaan werken.
Een van de redenen van het grootschalig werken van de hydroloog is, dat de toegepaste rekentechnieken, zowel de 'hand'rekenmethoden als de numerieke methoden voor gebruik op computers, uitgaan van geschematiseerde situaties, waarbij locale afwijkingen van het regionale beeld niet verdisconteerd kunnen worden. Deze locale afwijkingen kunnen echter, wanneer ze gelegen zijn ter plaatse van ecologische gevoelige gebieden, verschillen veroorzaken tussen berekende en werkelijk optredende grondwaterstanden. In het regionale stromingsbeeld zullen dit vaak kleine verschillen zijn; voor de ecologie zijn deze wel van belang.
De in dit artikel gepresenteerde rekenmethode komt voor een groot deel aan deze bezwaren tegemoet. Hierin kunnen locale afwijkingen aangebracht worden, precies op de plaats waar ze optreden. Er is geen sprake van meer of minder vergaande schematisaties, zoals bij het gebruik van eindige-elementenmethoden. De ingrepen worden daar aangebracht waar ze ook in werkelijkheid optreden. Door de mogelijkheid van 'inzoomen' naar kleinere gebieden kan de stromingssituatie daar in detail worden bekeken.
Na een korte beschrijving van het programma Single Layer zal een toepassing beschreven worden in de duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen (Amsterdam).

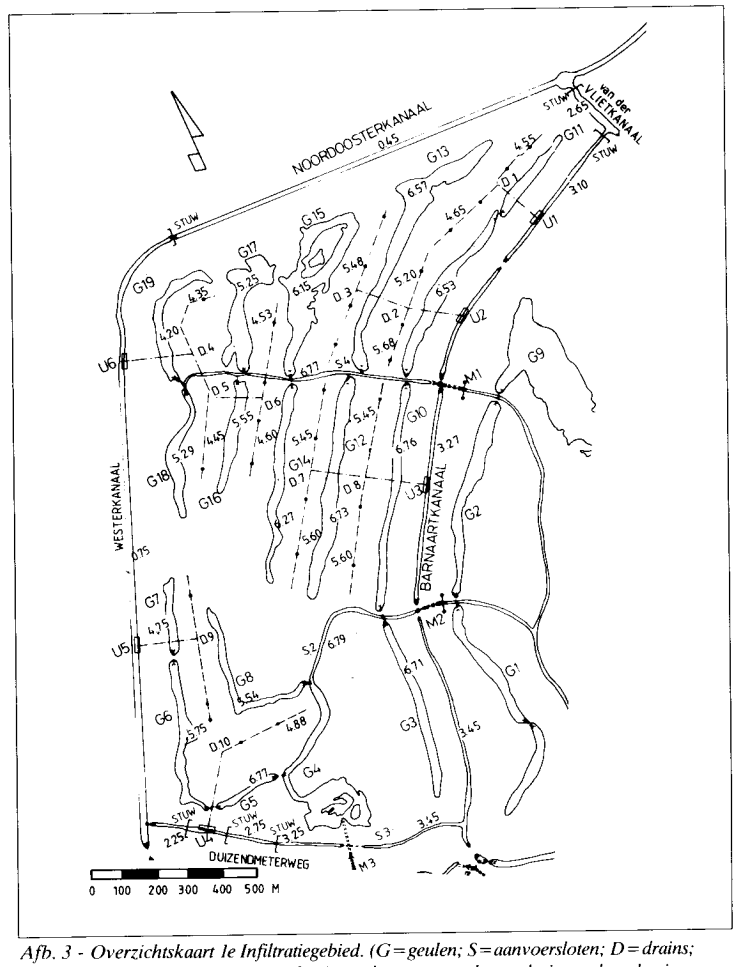
2. Oplossingsmethoden

Het berekenen van een grondwaterstromingsproblem betekent meestal het oplossen van partiële differentiaalvergelijkingen met begin- en randvoorwaarden. De numerieke oplossingsmethoden die hiervoor bestaan kunnen grofweg in vier klassen worden verdeeld: 'eindige-differentiemethode', 'eindige-elementenmethode', 'randwaardeintegraalmethode' [zie Van der Veer, 1982] en 'analytische-elementenmethode'. Alle vier methoden resulteren uiteindelijk in de inversie van een matrix, die bij de eerste twee relatief groot en ijl is, bij de laatste twee relatief klein, maar geheel gevuld.
De eerste methode benadert de differentiaaloperator op discrete wijze. De tweede methode (EEM) representeert de oplossing als de som van een zeer groot aantal locale functies van één type, geldig voor een vaste

Afb. 1 - Luchtfoto van het noordelijk gedeelte van de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen Amsterdam. Linksboven ligt Zandvoort (Copyright Aerophoto).



Afb. 2 - Overzichtskaart Duinwaterwinplaats.



Afb. 3 - Overzichtskaart 1e Infiltratiegebied. (G = geulen; S = aanvoersloten; D = drains; U = uitstroombakken). Waterstanden in geulen, aanvoersloten, drains en kanalen in meters ten opzichte van NAP.

discretisatie. De laatste twee representeren de oplossing als een som van een relatief klein aantal globaal geldige analytische uitdrukkingen van een beperkt aantal typen. Deze laatste eigenschap biedt de mogelijkheid om bij de analytische-elementenmethode de berekende oplossing in detail te beschouwen in een deelgebied: men kan als het ware een deelgebied onder een loep bekijken. Het raster waarop men een eenmaal berekende oplossing bekijkt heeft geen enkele relatie met de oplossingsmethode. Dit laatste in tegenstelling tot de eerste twee hierboven genoemde technieken.
Een extra voordeel van de analytische-elementenmethode is dat in sommige simpele gevallen de oplossing exact wordt gerepresenteerd, zoals voor een aantal gegeven onttrekkingen met een vaste sterkte of een onttrekking met een gegeven stijghoogte op de rand van de put tezamen met een gegeven referentie-stijghoogte.

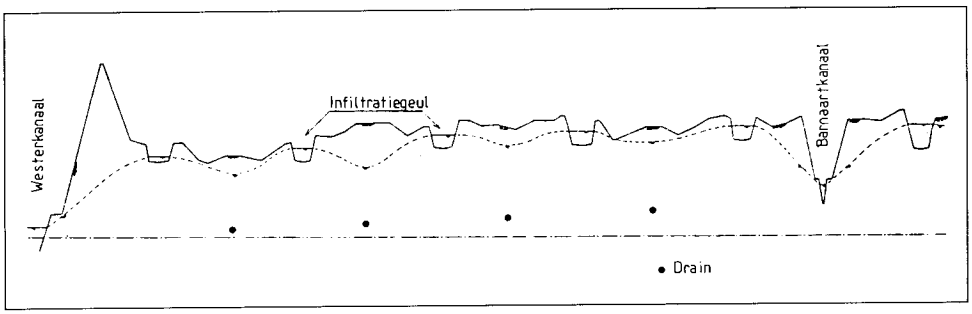
3. Het programma 'Single Layer'

Het programma 'Single Layer' (SL) maakt gebruik van de analytische elementenmethode. Het is geschreven door de Nederlander O. D. L. Strack, thans werkzaam aan de University of Minnesota, Minneapolis, VS, die de theorie van de analytische-elementenmethode gestalte heeft gegeven in een uitgebreid, interactief computerprogramma. Voor zijn werk op het gebied van de hydrologie is Strack bekroond met de Vreedenburghprijs 1982 [Anonymus, 1982].
In een enkel watervoerend pakket, dat afgesloten, gedeeltelijk afgesloten of freatisch aangenomen mag worden, kunnen in SL onder meer de volgende hydrologische verschijnselen worden gemodelleerd:
- uniforme stroming;
- aanvulling door regenval;
- onttrekkingen en infiltraties met gegeven sterkte of stijghoogte op de putrand;
- lijnonttrekkingen met gegeven sterkte of met gegeven stijghoogte in het midden van de onttrekking;
- kanalen en drains met vast peil over de lengte;
- inhomogeniteiten: gebieden met verschillende doorlatendheid of gebieden waar bijvoorbeeld de basis van het pakket op een ander niveau ligt;
- infiltraties: over een gegeven oppervlakte, zoals vanuit een rivier met een gegeven bodemweerstand en een vast waterpeil in de rivier of infiltraties met een gegeven sterkte;
- ondoorlatende of weinig doorlatende schermen over de hoogte van de aquifer.

Het basisgereedschap bestaat uit de kennis van een aantal particuliere oplossingen van de Laplace-vergelijking. Deze zogenoemde basisoplossingen worden aan elkaar gesmeed tot de oplossing van het probleem.
Voor verdere informatie over de toegepaste methode verwijzen wij naar de korte introductie [Strack, 1982] en naar de meer theoretisch getinte artikelen [Strack, 1981 en Strack & Haitjema, 1981]. Een uitgebreide samenvatting tezamen met een uitvoerige theoretische verhandeling over grondwaterstroming zal binnenkort gepubliceerd worden [Strack, in druk]. De PC-versie van dit programma is onder de naam SLAEM op de markt gebracht.

4. Het gebruik van het programma

Aan het programma SL zijn verschillende interactieve opties gekoppeld die het mogelijk maken om de resultaten van de berekeningen snel zichtbaar te maken, waarna de hydroloog kan besluiten tot het wel of niet accepteren van de laatst aangebrachte wijziging. Verder staan uitgebreide, door het programma te sturen, plot-faciliteiten tot zijn beschikking. Overigens verloopt de invoer bij dit programma op een flexibele wijze via een



Afb. 4 - Dwarsdoorsnede over het 1e Infiltratiegebied van west naar oost.

menu-systeem. Het programma leent zich dan ook bijzonder goed voor interactief gebruik, zij het dat, indien het aantal op te lossen vergelijkingen groot wordt, sommige opdrachten (zoals het berekenen van een oplossing en het construeren van een rooster voor het plotten (niet het plotten zelf)) meer tijd gaan vergen. Om een indruk te geven van de mogelijkheden en de werking van SL is een voorbeeld doorgerekend (zie apart kader).
In de versie, zoals die thans wordt onderhouden door het Centrum voor Wiskundige Methoden (CWM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne) is een module ingebouwd waarmee het verschil tussen twee oplossingen kan worden bekeken.

5. Beschrijving 1e infiltratiegebied

Gemeentewaterleidingen (Amsterdam) verzorgt de drinkwatervoorziening voor ca. 1 miljoen mensen in Amsterdam en omgeving. Daartoe wordt drinkwater geproduceerd in een tweetal bedrijven. Een daarvan is het rivier-duinwaterleidingbedrijf dat zijn water onttrekt aan de duinwaterwinplaats ten westen van Haarlem (afb. 1 en 2). Omdat de jaarlijkse onttrekking veel groter is dan de natuurlijke aanvulling met nuttige neerslag, wordt het tekort kunstmatig aangevuld met voorgezuiverd rivierwater in vijf speciaal daarvoor aangelegde infiltratie- en voorraadgebieden. Het ligt in de bedoeling uiteindelijk de gehele duinwaterwinplaats te modelleren. In dit artikel wordt een deel van het gebied, het zogeheten 1e infiltratiegebied, nader bekeken. Dit gebied is gekozen omdat er uit waarnemingen zeer veel gegevens van dat gebied bekend zijn, en omdat het hydrologisch gezien een goed begrensd gebied is.

Via een tweetal grote buisleidingen wordt het voorgezuiverde rivierwater van het pompstation 'Ir. Cornelis Biemond' nabij Nieuwegein naar de duinwaterwinplaats vervoerd, waar het door middel van een kanalenstelsel over de verschillende infiltratie- en voorraadgebieden wordt verdeeld. Via de aanvoersloten in de gebieden wordt het water over de verschillende infiltratiegeulen verdeeld (afb. 3), van waaruit het in de ondergrond infiltreert. Het grootste deel (65 à 75%) van het kunstmatig geïnfiltreerde water stroomt van de hooggelegen randgeulen naar de laaggelegen randkanalen, die het infiltratiegebied omringen. Een ander deel (20 à 30%) stroomt naar drains, die tussen de geulen zijn gelegen, en die het onttrokken water via uitstroombakken op de randkanalen lozen. De rest (ca. 5%) lekt weg door een weerstandslaag naar het diepe watervoerende pakket.
In afb. 4 is een dwarsdoorsnede gegeven over het 1e infiltratiegebied, van west naar oost. Daarin zijn te zien vijf infiltratiegeulen met (relatief) hoge peilen, met daartussen gelegen vier drains. Aan beide zijden bevinden zich de randkanalen (Westerkanaal en Barnaartkanaal) met (relatief) lage peilen. De totale hoeveelheid onttrokken water en de verdeling daarvan over de drains en de randkanalen zijn afhankelijk van de peilen in de infiltratiegeulen, de drains en de kanalen.
In het 1e infiltratiegebied (zie afb. 3) is sprake van 3 aanvoersloten, 16 infiltratiegeulen, 10 drains, rondom gelegen randkanalen en enkele tientallen waarnemings-

Voorbeeldberekening met programma SL

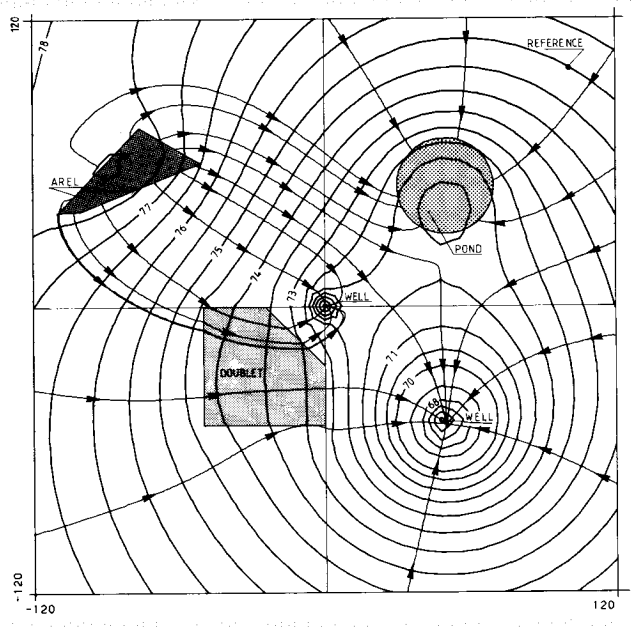
Om een indruk te geven van de mogelijkheden en de werking van SL wordt hieronder een voorbeeld uitgewerkt. In een gebied van 240 × 240 m² zijn een vijftal verschillende opties van SL bij elkaar gebracht (zie afb. hiernaast), en zijn potentiaallijnen en stroomlijnen gegeven. Tevens is de bijbehorende invoerfile gegeven.

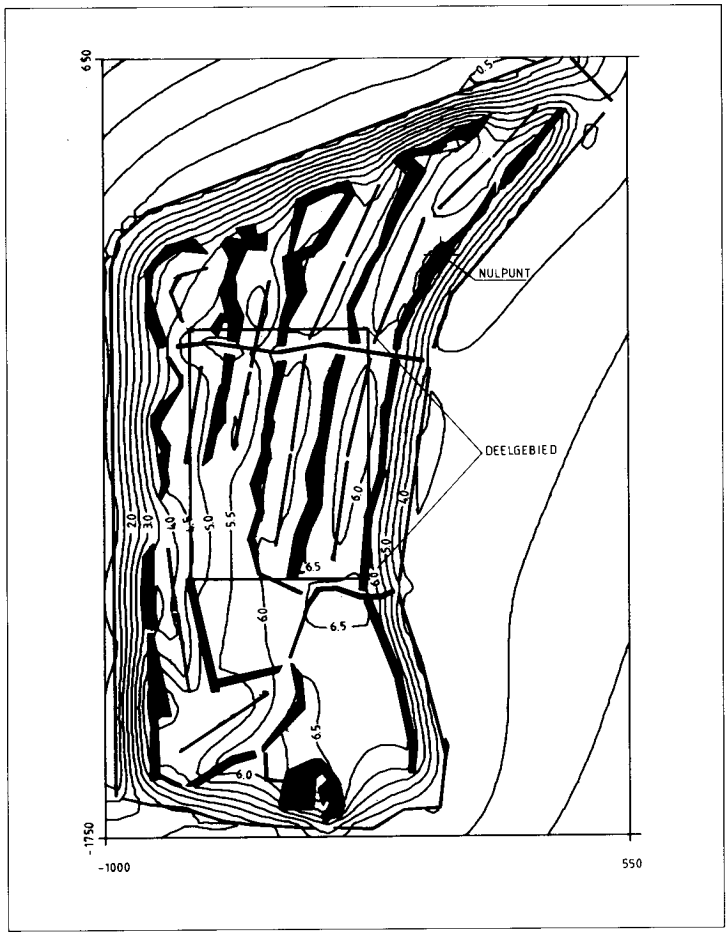
- De dikte van de aquifer is 30 meter, de doorlatendheidscoëfficiënt bedraagt 10 m/dag.
- Het referentiepunt [REFERENCE] is gelegen op (100;100), de referentiewaarde (ten opzichte van een gekozen basisniveau is 75 m.
- Via een tweetal winputten [WELL] met diameters van 0,2 m, in (0;0) en (50;-50), wordt water onttrokken in hoeveelheden van 1.000 resp. 5.000 m³/d.
- Tevens wordt water onttrokken door middel van een ronde vijver [POND] met middelpunt in (50;50) en een diameter van 40 m, met een capaciteit van 2 m³/m²/dag.
- Infiltratie vindt plaats door middel van een tweetal aan elkaar grenzende oppervlakte-elementen [AREL], in hoeveelheden van 2 m³/m²/dag.
- Er is sprake van een plaatselijk optredende hogere doorlatendheidscoëfficiënt van 30 m/dag [DOUBLET].

Na het berekenen van de oplossing kan de lay-out op het beeldscherm worden gebracht, en kunnen contourlijnen van de stijghoogte worden getekend. Tenslotte kunnen met de module 'TRACE' een aantal waterdeeltjes gevolgd worden, afkomstig uit de infiltratieplassen en vanaf de randen van het modelgebied.

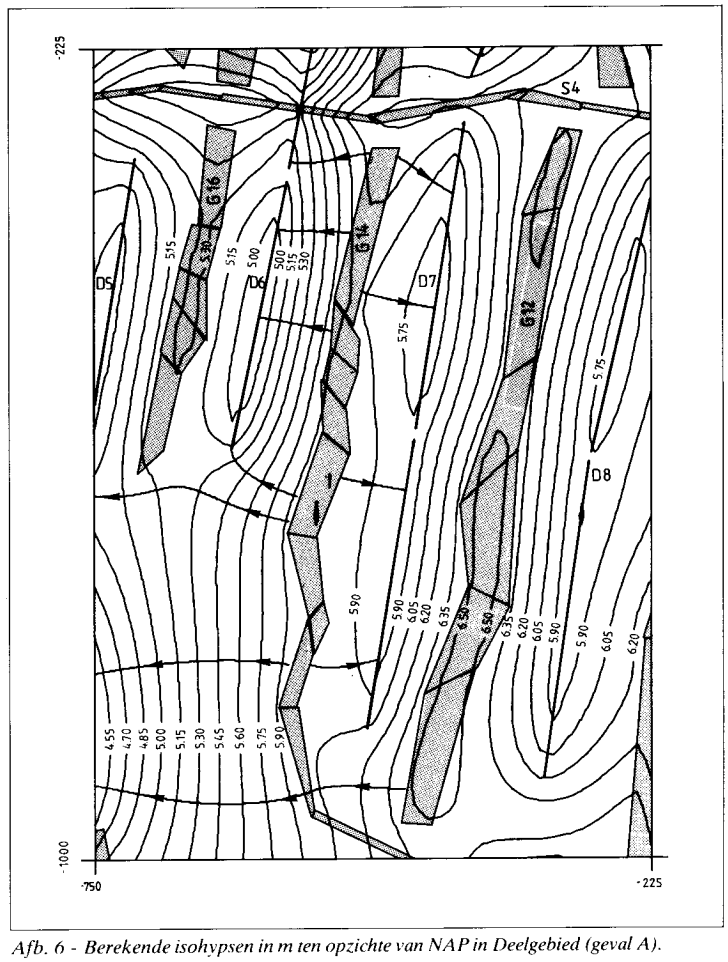
Invoerfile voorbeeldberekening

title H_2O	return	-50 0
window -120 -120 120 120	given	-25 0
aquifer	pond	0 -25
thickness 30	50 50 20 2	0 -50
permeability 10	return	-25 -50
return	arel	-50 -50
reference	given	-50 -25
100 100 75	-100 50 -75 75 -50 60 -75 50 -2	return
well	-100 50 -75 50 -100 40 -110 40 -2	solve
given	return	stop
0 0 1.000 0.1	doublet	
50 -50 5.000 0.1	permeability 30	





Afb. 5 - Berekende isohypsen in m ten opzichte van NAP in 1e Infiltratiegebied. NULPUNT is de oorsprong van het gebruikte coördinatenstelsel.



Afb. 6 - Berekende isohypsen in m ten opzichte van NAP in Deelgebied (geval A).

putten. Van al deze onderdelen worden regelmatig waterstanden opgenomen, terwijl ook de totaal inkomende hoeveelheid water en de via de drains onttrokken hoeveelheid worden bemeten.

6. Toegepaste schematisatie 1e infiltratiegebied

Het programma SL heeft een aantal opties om de in de vorige paragraaf genoemde hydrologische onderdelen te modelleren, waarvan er 3 gekozen zijn.
De aanvoersloten en infiltratiegeulen zijn geschematiseerd tot zogeheten AREA-ELEMENTS. Dat zijn vierhoekige elementen waarvan de coördinaten van de hoekpunten moeten worden opgegeven, alsmede een intrede-weerstand en een bekende waterstand. Om de bestaande geografie goed te kunnen volgen zijn de aanvoersloten en infiltratiegeulen elk uit verscheidene AREA-ELEMENTS opgebouwd. Het programma berekent de hoeveelheid infiltrerend water per element.
De drains en de randkanalen zijn geschematiseerd tot LINESINKS. Dat zijn lijnelementen met een gegeven vaste stijghoogte. Ook hier geldt dat de drains en de kanalen elk uit verscheidene elementen kunnen bestaan. Het programma berekent de hoeveelheid onttrokken water per element. De waarnemingsputten worden niet gebruikt bij het berekenen van de oplossing, maar fungeren als CONTROL POINTS. Dat houdt in dat de in die punten berekende stijghoogte wordt vergeleken met de gemeten stijghoogte, en er zodoende een controle op de juistheid van de oplossing kan worden uitgevoerd.
Verder moeten nog een aantal AQUIFER-parameters opgegeven worden zoals de doorlatendheid, de dikte van het watervoerend pakket, de porositeit en de ligging van de basis.

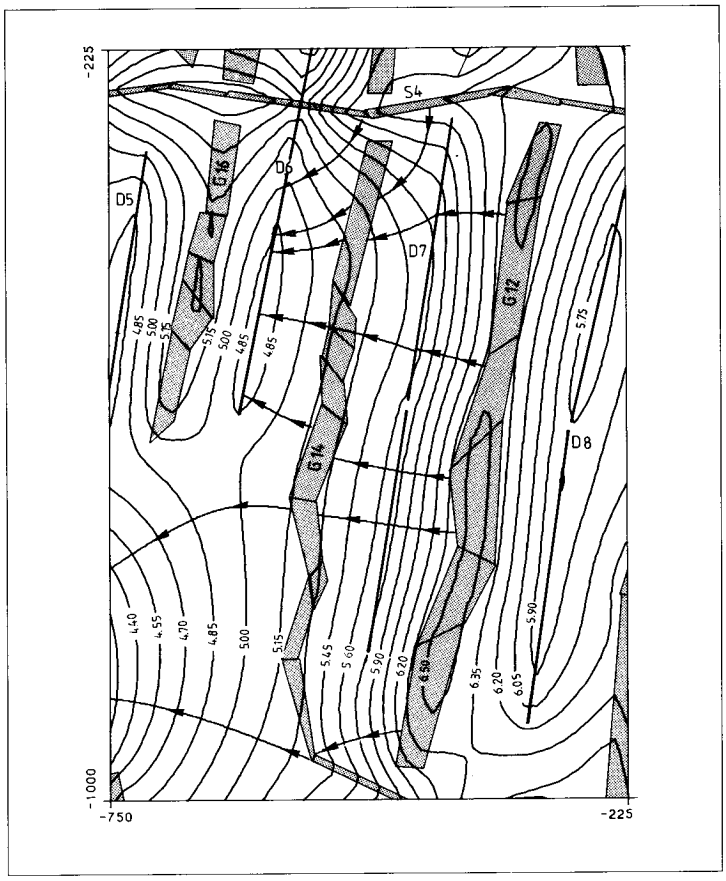
Een moeilijkheid bij de schematisatie is het feit dat SL slechts met één watervoerend pakket rekent, terwijl in de duinwaterwinplaats sprake is van diverse pakketten, gescheiden door weerstandbiedende lagen. Dat betekent dat bij de berekeningen in het 1e infiltratiegebied geen rekening gehouden wordt met de lek naar het onderliggende pakket. In de waterbalans van het infiltratiegebied is deze post slechts enkele procenten van de totale hoeveelheid uitgaand water, en zal de verwaarlozing hiervan geen grote fouten geven. Om deze afwijking enigszins te compenseren is afgezien van het invoeren van de nuttige neerslag op het gebied.
Deze post bedraagt slechts enkele procenten van de totale hoeveelheid ingaand water.
Voor een infiltratiegebied, waar kunstmatig grote hoeveelheden water worden ingebracht en aan onttrokken, zijn genoemde verwaarlozingen acceptabel.

7. Invoergegevens en ijking

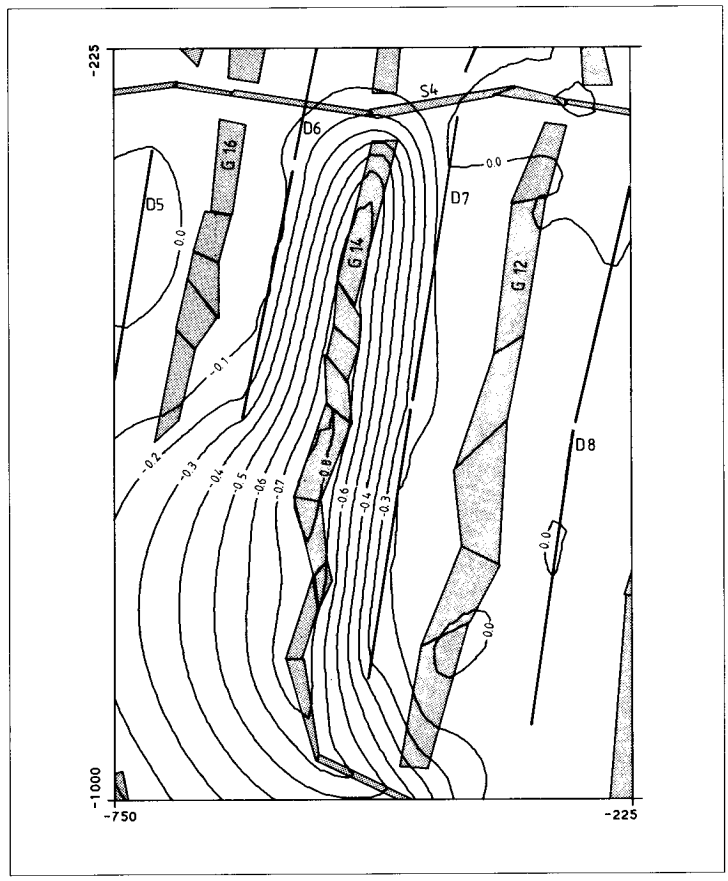
IJking van het model vindt plaats met gegevens van oktober 1985. De ingevoerde waterstanden in aanvoersloten, infiltratiegeulen, drains en kanalen zijn gegeven in afb. 3. De overige invoergegevens staan in tabel I.
Hierbij moet nog een aantal opmerkingen worden gemaakt:
– Voor de doorlatendheidscoëfficiënt dient één waarde te worden opgegeven. De doorlatendheidscoëfficiënt in dit gebied kan

TABEL I – *Invoergegevens.*

Doorlatendheidscoëfficiënt	9-11 [m/d]
Ligging van de basis	NAP - 9 m tot NAP - 15 m
Dikte watervoerend pakket	25 [m]
Porositeit	0,38
Intredeweerstand sloten en geulen	1,4 [d]



Afb. 7 - Berekende isohypsen in m ten opzichte van NAP in Deelgebied (geval B).



Afb. 8 - Stijghoogteverschillen in meters tussen geval A en geval B.

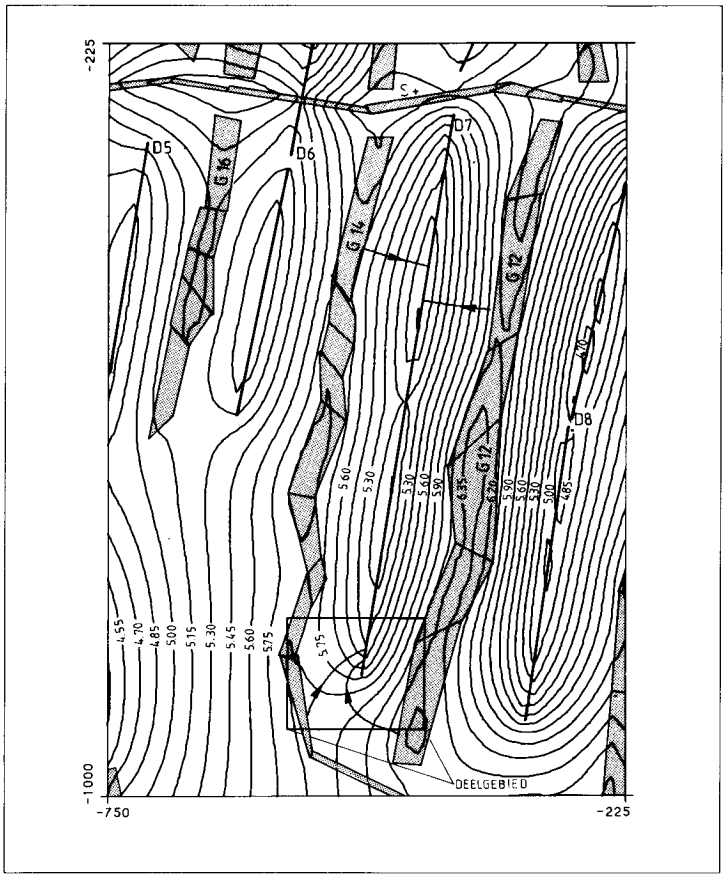
variëren tussen de in tabel I genoemde waarden.
– De ligging van de ondoorlatende basis is niet precies bekend, en zal liggen tussen beide in tabel I genoemde waarden.
– Wanneer sprake is van een freatisch pakket dient toch een dikte van het watervoerend pakket te worden opgegeven. Deze moet wel groter zijn dan de in werkelijkheid maximaal mogelijke optredende dikte, om te voorkomen dat met afgesloten grondwater gerekend wordt. Bij een maximale waterstand van ca. NAP +8 m en een diepte van de basis van NAP –15 m bedraagt die dikte ca. 23 meter. Ingevoerd is 25 meter.
– Uit waterbalansberekeningen volgt voor de grootte van de porositeit een waarde van 0,38.
– De intrede-weerstand van de aanvoersloten en infiltratiegeulen is een zeer moeilijk te bepalen grootheid en kan slechts indirect berekend worden, bijvoorbeeld uit het verschil tussen de waterstand in de geul en de stijghoogte in een daar vlakbij gelegen waarnemingsput. Op een aantal plaatsen is deze berekend, en daaruit volgt dat er grote variaties optreden, niet alleen tussen de geulen, maar zelfs binnen één geul. In eerste instantie is daarom de aanname gedaan dat alle sloten en geulen dezelfde intrede-weerstand hebben.
– Bij de drains en de kanalen is ook sprake van een intrede-weerstand, maar de optie LINESINKS biedt niet de mogelijkheid deze in te voeren. De invloed van deze weerstand kan tot uitdrukking worden gebracht door bijvoorbeeld het corrigeren van de gemeten waterstanden in drains en kanalen [Kooiman et al., 1988].
Voor de ijking zijn in eerste instantie een tweetal criteria gebruikt, namelijk het stijghoogtebeeld en de totale hoeveelheid geïnfiltreerd water (59.000 m³/d).

Een groot aantal runs is gemaakt alvorens een bevredigende oplossing werd verkregen, waarbij onder andere de volgende ervaringen werden opgedaan:
– Intrede-weerstanden van sloten, geulen, drains en kanalen hebben slechts geringe invloed.
– De doorlatendheidscoëfficiënt en de ligging van de basis zijn van grote invloed.
Van de uiteindelijk verkregen oplossing is het stijghoogtepatroon gegeven in afb. 5. Daarin is duidelijk het verhang van randgeulen naar randkanalen te zien. Het verhang van geulen naar drains is minder goed te zien, maar kan door 'inzoomen' beter in beeld worden gebracht (zie verder). De berekende hoeveelheid geïnfiltreerd water bedraagt ruim 53.000 m³/d, een verschil van ca. 10% met de gemeten waarde. Deze afwijking ligt in dezelfde orde van grootte als de onzekerheden in een aantal invoerparameters, zoals de doorlatendheidscoëfficiënt en de intrede-weerstanden.

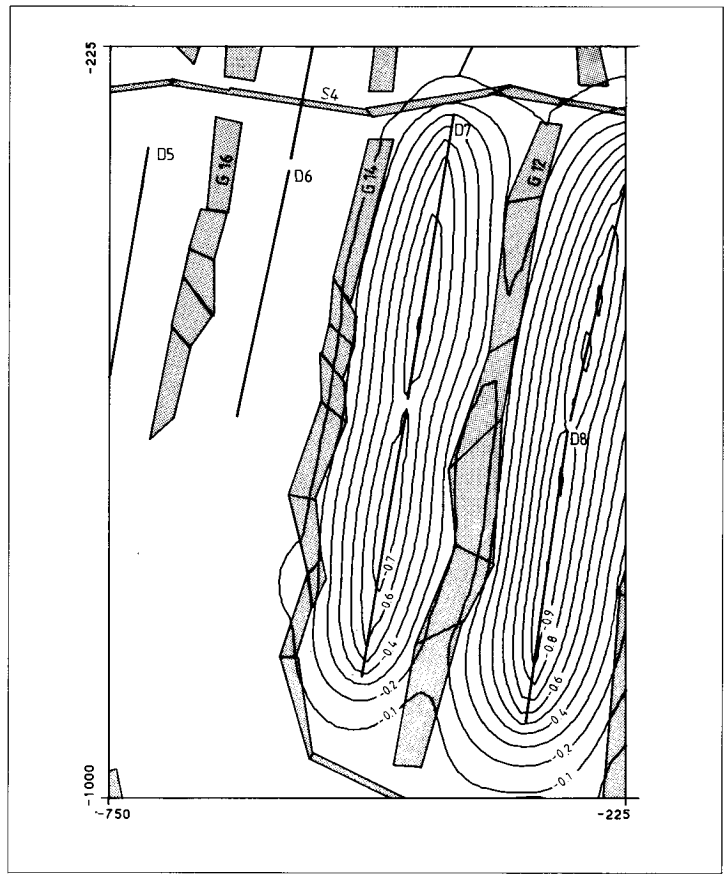
8. 'Inzoomen' en 'tracen'

Dat met SL flexibel gemodelleerd kan worden komt onder andere tot uitdrukking in de mogelijkheid om 'in te zoomen'.
Dat betekent dat een deelgebied van het totale gebied uitvergroot kan worden, waardoor meer detail zichtbaar wordt en ook een meer gedetailleerde schematisatie kan plaatsvinden. Als voorbeeld geldt afb. 6, waarin het gebied te zien is dat aangegeven is in het midden van afb. 5. Het is het gebied tussen de geulen 10 en 16, met de drains D6, D7 en D8. In afb. 6 is dan wel te zien wat niet in afb. 5 zichtbaar was, namelijk het verhang van de geulen naar de drains. Wat bijvoorbeeld goed is te zien, is dat vanuit Geul 14 meer water stroomt richting D6 dan richting D7, en dat vanuit Geul 12 in beide richtingen, zowel naar D7 als D8 ongeveer evenveel stroomt.

Indien gewenst kan nog verder 'ingezoomd' worden, wanneer bijvoorbeeld de kwelplassen boven D7 nader onderzocht moeten worden. Dan kunnen tevens gegevens ingebracht worden die daar ter plaatse bekend zijn, maar die op het grotere beeld,



Afb. 9 - Berekende isohypsen in m ten opzichte van NAP in Deelgebied (geval C).



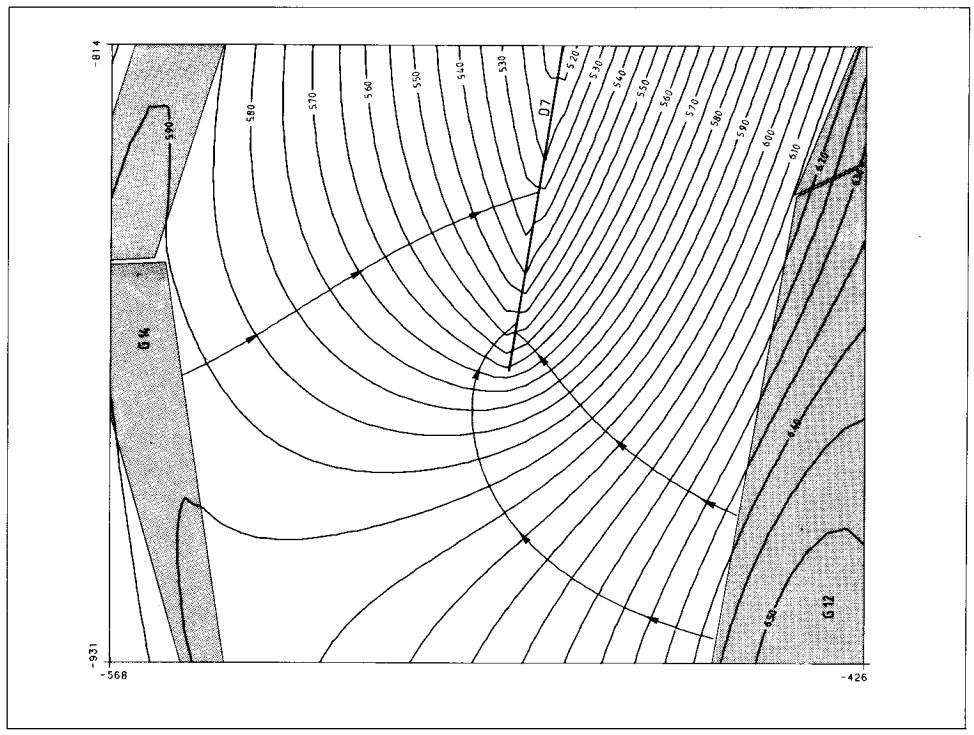
Afb. 10 - Stijghoogteverschillen in meters tussen geval A en geval C.

zoals gegeven in de afb. 5 en 6, geen of zeer weinig invloed hebben.
Tevens is in afb. 6 een andere optie van SL uitgebeeld, namelijk de mogelijkheid om een waterdeeltje te volgen ('tracen'). In totaal zijn de stroomlijnen van 10 deeltjes uit Geul 14 en één deeltje uit Geul 12 te zien. Hieruit volgt dat ter plaatse van het midden van Geul 14 een grens ligt tussen waterdeeltjes die naar Drain 6 stromen, en waterdeeltjes die over de linkerrand richting Westerkanaal stromen. Het waterdeeltje uit Geul 12 stroomt eerst in de richting van Geul 14, waarna het Geul 14 doorstroomt en naar het Westerkanaal afstroomt.

9. Simulaties

In deze paragraaf zullen een aantal ingrepen gesimuleerd worden. Uitgangspunt is de situatie in afb. 6 (geval A). Achtereenvolgens zullen bekeken worden de invloeden van verlaging van het waterpeil met 1 meter in Geul 14 (geval B), en van de verlaging van het waterniveau in U-bak 3, met als gevolg daarvan lagere standen in Drain 7 (1 meter) en Drain 8 (1,25 meter) (geval C).
In afb. 7 is het isohypsenbeeld met een aantal stroomlijnen gegeven van geval B. Daarin is te zien, en dat volgt tevens uit de waterbalanstermen (tabel II), dat uit Geul 14 geen water meer infiltreert, maar dat de Geul doorstroomd wordt met water afkomstig uit Geul 12 en Aanvoersloot S4. Afb. 8 geeft het verschil tussen de gevallen A en B.
Het grootste verschil, 0,80 m, treedt op midden in Geul 14. Bij de Drains D7 en D8 is het verschil teruggelopen tot 0,1 à 0,2 m. Meer naar het zuid-westen toe, richting Geul 8, werkt de invloed verder door.
Afb. 9 geeft het isohypsenbeeld, met een

Afb. 11 - Berekende isohypsen in m ten opzichte van NAP bij zuidpunt Drain D7.



TABEL II – *Infiltrerende (–) en onttrokken (+) hoeveelheden voor een aantal Drains en Geulen [m³/d].*

	Geval A	Geval B	Geval C
Geul 10	– 4.686	– 4.696	– 5.840
Geul 12	– 2.938	– 3.246	– 5.327
Geul 14	– 1.902	+ 697	– 2.922
Geul 16	– 1.024	– 1.153	– 1.031
Sloot S4	– 2.416	– 2.471	– 2.691
Drain D6	1.327	842	1.271
Drain D7	2.093	1.013	4.446
Drain D8	2.388	2.381	5.275

viertal stroomlijnen, van geval C. Daarin is duidelijk te zien dat hierdoor veel meer water onttrokken wordt aan beide Drains (zie ook tabel II). Het verschil tussen de gevallen A en C is gegeven in afb. 10. De extra verlagingen blijven beperkt tot het gebied tussen Geul 10 en 14.
In afb. 11 tenslotte is nog verder 'ingezoomd' naar het omkaderde gebied in afb. 9, rondom de zuidpunt van Drain 7. Links en rechts op afb. 11 zijn nog delen van de Geulen 14 en 12 te zien. Ook hier de isohypselijnen met een drietal stroomlijnen. Hiermee kunnen detailstudies ter plaatse uitgevoerd worden.

10. Conclusies en aanbevelingen

Het programma SL is een goed instrument om hydrologische berekeningen uit te voeren in het kader van het eco-hydrologisch-integratieonderzoek. Het is in staat om de afstand tussen ecoloog en hydroloog voor wat betreft de schaalgroottes te verkleinen.
Dat komt voornamelijk door de mogelijkheid om zonder verlies van gegevens 'in te zoomen' naar kleinere gebieden waarin de ecoloog is geïnteresseerd. Daarbij komt nog dat de grote mate van gebruikersvriendelijkheid het eenvoudiger maakt met het programma te werken.
Om ook andere dan in dit artikel genoemde gebieden door te kunnen rekenen dient het programma nog met minstens twee opties uitgebreid te worden.
De eerste is dat locale veenlensjes aangebracht kunnen worden om optredende schijnspiegels danwel 'gestuwde' stijghoogtes te kunnen berekenen. Dit is van groot belang voor het ecologisch onderzoek, omdat deze stijghoogtes dichter bij het maaiveld zijn gelegen dan die welke uit het regionale beeld volgen, en dus een heel andere vegetatie kunnen geven. Dat kan onder meer betekenen dat hydrologische ingrepen die duidelijk merkbare gevolgen op die regionale stijghoogtes hebben, weinig of geen invloed hebben op de waterstand beneden maaiveld ter plaatse van zo'n veenlensje. Een versie van het programma waarin deze optie is aangebracht zal binnenkort operationeel zijn.
De tweede optie betreft de interactie met een dieper gelegen pakket. In het in dit artikel beschreven infiltratiegebied bedraagt de lek door de weerstandslaag slechts enkele procenten van de totale waterbalans. Voor een groot aantal andere gebieden in de duinwaterwinplaats, waar geen sprake is van kunstmatige aanvulling, geldt een heel andere situatie, daar is de lek naar het diepe pakket één van de grootste waterbalansposten, en deze kan dan niet verwaarloosd worden. Momenteel wordt gewerkt aan het uitbreiden van het programma met deze optie, en de verwachting is dat deze over niet al te lange tijd operationeel zal zijn.

Verantwoording

Het in dit artikel beschreven onderzoek is onderdeel van een onderzoeksproject inzake de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater in het infiltratiegebied van Gemeentewaterleidingen, getiteld: 'Mathematische modellering van de hydrologie in duingebieden'.
Dit project werd aan het RIVM opgedragen door de Directie Drink- en Industriewatervoorziening van het DGMH van het ministerie van VROM en door Gemeentewaterleidingen (Amsterdam).

Literatuur

Anonymus (1982). *Vreedenburghprijs 1982.* Civiele & bouwkundige techniek, nr. 2, p. 13.
Kooiman, J. W., Uffink, G. J. M. en Veling, E. J. M. (1988). *Eco-Hydrologisch-Integratie onderzoek in de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen.* Hydrologische berekeningen met het programma Single Layer. Verschijnt binnenkort.
Strack, O. D. L. (1981). *Flow in Aquifers With Clay Laminae, 1. The Comprehensive Potential, 2. Exact Solutions.* Water Resources Research, 17, p. 985-992, 993-1004.
Strack, O. D. L. and Haitjema, H. M. (1981). *Modelling Double Aquifer Flow Using a Comprehensive Potential and Distributed Singularities, 1. Solution for Homogeneous Permeability, 2. Solution for Inhomogeneous Permeability.* Water Resources Research, 17, p. 1535-1549, 1551-1560.
Strack, O. D. L. (1982). *Het analytische element in de grondwatermechanica.* Civiele & bouwkundige techniek, nr. 2, p. 38-43.
Strack, O. D. L. (1988). *Groundwater Mechanics.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (in druk).
Veer, P. van der (1982). *Een randelementenmethode voor grondwaterbeweging.* Civiele & bouwkundige techniek, nr. 2, p. 20-26.

● ● ●