Koppeling tussen een grondwatermodel en een oppervlaktewatermodel

Samenvatting
De vraag naar hydrologische modellen om de effecten van ingrepen in een hydrologisch systeem te voorspellen neemt nog steeds toe. Uit eigen ervaring is gebleken dat het wenselijk is om hiervoor goede en nauwkeurige wiskundige modellen te gebruiken en eventueel te ontwikkelen. De interactie tussen grond- en oppervlaktewater wordt met de bestaande modellen onvoldoende weergegeven. Het doel van dit onderzoek is het realiseren van een koppeling tussen het eindige differentie-grondwaterprogramma Modflow en het oppervlaktewaterprogramma Duflow. Het koppelingsprogramma is met de naam Moduflow aangeduid. Voor de koppeling is een één-stap-algoritme gekozen. De gegevensuitwisseling tussen de twee systemen werkt met behulp van bestanden. Zo wordt de verticale lek q_l, die Modflow berekent aan Duflow doorgegeven. Duflow gebruikt deze lek samen met andere randvoorwaarden om de waterhoogte h in het oppervlaktewatersysteem te bepalen en daarna aan Modflow door te geven.
Er zijn twee testberekeningen uitgevoerd. De eerste berekening betreft een theoretisch voorbeeld. Met deze testberekening is getracht het functioneren en de meest elementaire processen van het programma te testen. Vervolgens is met behulp van de tweede berekening een praktijksituatie nagebootst. Er is gekozen voor een onderzoek dat in 1990 in Overijssel heeft plaatsgevonden. Het zogenaamde 'slootproef'-onderzoek te Schalkhaar, Overijssel. Dit onderzoek is opgezet om met behulp van veldmetingen en modelberekeningen de bodemweerstand van de Soestwetering te bepalen.

IR. X. T. NGO
WMO

DR. IR. N. BOOIJ
TU Delft

Inleiding
Het gebruik van hydrologische modellen om de effecten van ingrepen in het hydrologische systeem te voorspellen neemt de laatste jaren toe. De vragen waarvoor deze modellen worden ingezet, vereisen een steeds gedetailleerdere voorspelling en voor het integraal waterbeheer een steeds uitgebreidere koppeling. Hierdoor neemt de vraag naar goede en nauwkeurige wiskundige modellen ook toe.

Er zijn diverse modellen op de markt die de grondwater- of oppervlaktewaterbeweging beschrijven. In deze modellen vindt meestal geen interactie plaats tussen de oppervlakte- en grondwaterbeweging. Als een interactie wordt beschreven dan gaat het slechts om een eenvoudige relatie tussen deze twee vormen van waterbeweging.
In bijvoorbeeld de originele versie van het USGS-modulaire grondwatermodel Modflow [1] is interactie met oppervlaktewater mogelijk, maar het peil van het oppervlaktewater wordt gedurende de simulatieperiode vastgehouden. In de watergangen is altijd water aanwezig. In werkelijkheid is het peil afhankelijk van de beschikbaarheid van oppervlaktewater en kan de watergang droogvallen. In de nieuwste versie van Modflow heeft E. Prudic (US Geological Survey) een nieuwe module ontwikkeld waarbij stroming in de watergangen kan optreden en waarbij de watergangen ook kunnen droogvallen. De stroming in de watergangen is met de formule van Manning (stationaire stroming) beschreven. Het is niet mogelijk om met deze module de effecten van kunstwerken te modelleren.

Gezien de grote belangstelling voor de koppelingsproblematiek is een koppeling tussen het grondwaterstromingsmodel Modflow en het oppervlaktewaterstromingsmodel Duflow gemaakt. Voor het model Duflow wordt slechts van het bewegingsgedeelte gebruikgemaakt. Het kwaliteitsgedeelte wordt bij deze koppeling niet meegenomen. Het aldus ontwikkelde model is genaamd: MODUFLOW.

Dit artikel beschrijft eerst de beide modellen, en hoe zij elkaar onderling beïnvloeden; vervolgens worden de numerieke benaderingen kort weergegeven, en wordt de koppelingsproblematiek beschreven. Tenslotte worden twee toepassingen van het gekoppelde model beschreven, waarvan de eerste een academische toepassing is en de tweede een praktijkgeval; bij de laatste wordt ook een vergelijking met metingen gemaakt.

De beide modellen
Grondwaterstroming en stroming van open water verschillen sterk in hun dynamiek.
Grondwater stroomt erg langzaam en de reactie op invloeden van buitenaf is in verhouding tot oppervlaktewater erg traag. In het oosten van Nederland is de grondwatergradiënt circa 1:1000. Bij een goed doorlatende ondergrond (met een doorlatendheidsfactor k=50 m/dag) is de stroomsnelheid in de orde van 10^{-6} m/s, terwijl de gemiddelde stroomsnelheid in een open watergang circa 0,5 à 1,0 m/s bedraagt. Dit betekent dat de stroming in het grondwatersysteem een factor 10^5 à 10^6 langzamer is dan de stroming in het oppervlaktewatersysteem.

Naast de stroomsnelheid is ook de voortplantingssnelheid van een drukvariatie van beide systemen sterk verschillend. De voortplantingssneldheid van de druk voor semi-spanningswater in het grondwater zoals afgeleid door J. D. Leenen [2] bedraagt in een realistisch geval circa 0,02 m/s, terwijl de voortplantingssnelheid van translatiegolven in open waterlopen wel 7 m/s kan bedragen.
De verhouding tussen de voortplantingssnelheden is dus enkele honderden.

In de praktijk worden bij de simulering van grondwaterstromingsproblemen voor een niet-stationaire situatie tijdstappen van dagen of weken gekozen. Voor een oppervlaktewaterstromingssimulatie zijn de tijdstappen in de orde van minuten of uren.

Beschrijving van het model MODFLOW
Modflow [1] is een numeriek model voor grondwaterstroming waarbij ook een eenvoudige interactie tussen het grondwater en oppervlaktewater kan worden gesimuleerd.
Modflow is een pseudo-drie-dimensionaal model wat inhoudt dat het grondpakket wordt voorgesteld als een opeenstapeling van watervoerende lagen onderling gescheiden door een semi-permeabele laag. In een watervoerende laag wordt horizontale grondwaterstroming verondersteld.
Tussen twee watervoerende lagen ligt een semi-permeabele laag, waardoor grondwater wordt uitgewisseld door potentiaalverschillen.

Voor elke watervoerende laag wordt de stroming van grondwater met constante dichtheid met de volgende partiële differentiaalvergelijking beschreven:

$$\frac{\partial}{\partial x} T_k \frac{\partial \phi_k}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} T_k \frac{\partial \phi_k}{\partial y} + \frac{\phi_{k+1} - \phi_k}{(C_{k+1} + C_k)/2} + \frac{\phi_{k-1} - \phi_k}{(C_k + C_{k-1})/2} = S_k \frac{\partial \phi_k}{\partial t} + Q_k \qquad (1)$$

Hierin is:

- k = rangnummer van de watervoerende laag [-]
- T_k = doorlaatvermogen (KD-waarde) van de laag k [L^2T^{-1}]
- ϕ_k = grondwaterpotentiaal in het midden van de laag k [L]
- C_k = verticale weerstand van de laag k [T]
- S_k = bergingscoëfficiënt van de laag k [-]
- t = tijd [T]
- Q_k = bronterm [L^3T^{-1}]
- x,y = horizontale coördinaten [L]

Duflow [3] is ontwikkeld voor de berekening van stationaire en niet-stationaire waterstroming in een netwerk van kanalen, rivieren en geulen. Het biedt een aantal opties voor simulatie. Waterbeweging en waterkwaliteit (versie 2.02) kunnen zowel simultaan als afzonderlijk worden berekend. In het kader van dit onderzoek wordt slechts de waterbewegingsoptie gebruikt, de kwaliteit blijft buiten beschouwing.

Duflow is gebaseerd op de één-dimensionale partiële differentievergelijkingen die de niet-stationaire stroming in oppervlaktewater beschrijven. Deze vergelijkingen zijn de zogenaamde Saint-Venant vergelijkingen die bestaan uit de bewegingsvergelijking

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q v)}{\partial s} + gA\frac{\partial H}{\partial s} + \frac{g\,|Q|Q}{C^2AR} = b\gamma\omega^2\cos(\Theta - \Theta_w) \qquad (2a)$$

en de continuïteitsvergelijking

$$B\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \qquad (2b)$$

waarin:

- $Q(s,t)$ = debiet, $Q=Av$ [L^3T^{-1}]
- t = tijd [T]
- s = afstand langs de as van de waterloop [L]
- H = waterpeil ten opzichte van referentievlak [L]
- v = gemiddelde snelheid [LT^{-1}]
- R = hydraulische straal [L]
- A = stroomvoerende oppervlak [L^2]
- b = stroomvoerende breedte [L]
- B = bergende breedte [L]
- g = zwaartekrachtversnelling [LT^{-2}]
- C = Chezy-coëfficiënt [$L^{1/2}T^{-1}$]
- ω = windsnelheid [LT^{-1}]
- Θ_w = windrichting in graden
- Θ = richting van de waterloop ten opzichte van x-as in graden
- γ = windconversie-coëfficiënt [-]
- α = correctiefactor [-]

Met Duflow kunnen daarnaast verschillende objecten worden gesimuleerd zoals overlaten, duikers, hevels en gemalen. Toevoer naar en afvoer vanaf het netwerk gebeurt in Duflow uitsluitend in de knooppunten van het netwerk.

Interne randvoorwaarde

Tussen grondwater en rivier is een slecht doorlatende laag aangenomen, via deze laag kan water worden uitgewisseld; dit proces is in afbeelding 1 geïllustreerd. De lek q_l door de bodemlaag wordt bepaald op basis van het stijghoogteverschil tussen grondwaterstijghoogte en oppervlaktewaterpeil volgens de volgende relatie:

$$q_l = C_{bodem}\,(H_{riv} - \phi) \qquad (3a)$$

Hierin is ϕ de (door Modflow berekende) grondwaterstijghoogte in een punt gelegen onder de rivierbodem. Verder is H_{riv} het door Duflow berekende waterpeil in de rivier.

C_{bodem} is de weerstand van de rivierbodem.

Als het peil in de rivier hoger dan de grondwaterstand is dan is de C_{bodem} gelijk aan de infiltratieweerstand C_{infil}.

Als het peil in de rivier lager dan de grondwaterstand is dan is de C_{bodem} gelijk aan de drainageweerstand C_{dr}.

Zodra de grondwaterstand beneden de bodemhoogte van de waterloop komt, gaat de waterloop infiltreren volgens:

$$q_l = C_{infil}\,(H_{riv} - H_{bodem}) \qquad (3b)$$

waarin H_{bodem} het peil van de bodemlaag is.

Discretisatie in de tijd van het gekoppelde model

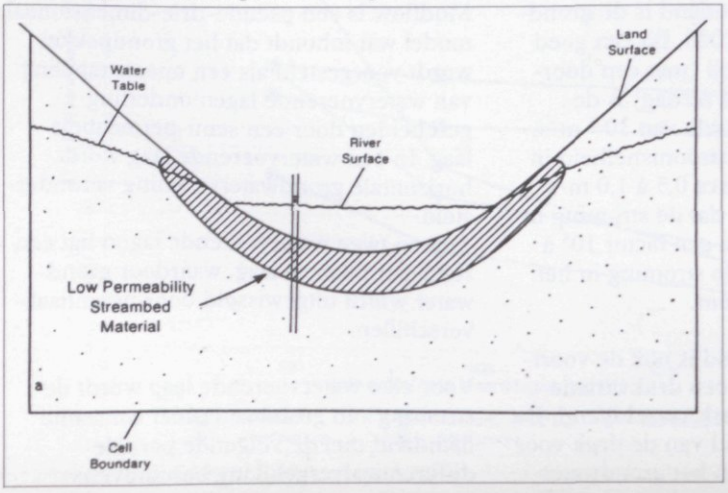
Met het model Modflow en het model Duflow worden de partiële differentiaalvergelijkingen voor de grondwaterstroming en oppervlaktewaterstroming afzonderlijk opgelost. Wanneer beide modellen in een modelgebied gekoppeld worden toegepast, moeten de resultaten van beide modellen met elkaar in overstemming worden gebracht zodat de waterbalans tussen grondwater en oppervlaktewater klopt.

In de traditionele procedure worden beide modellen gescheiden gedraaid. Er is een aantal iteraties nodig waarin de beide modellen om beurten de gehele periode doorrekenen, met gebruikmaking van de door het andere model berekende overdrachtsgegevens.

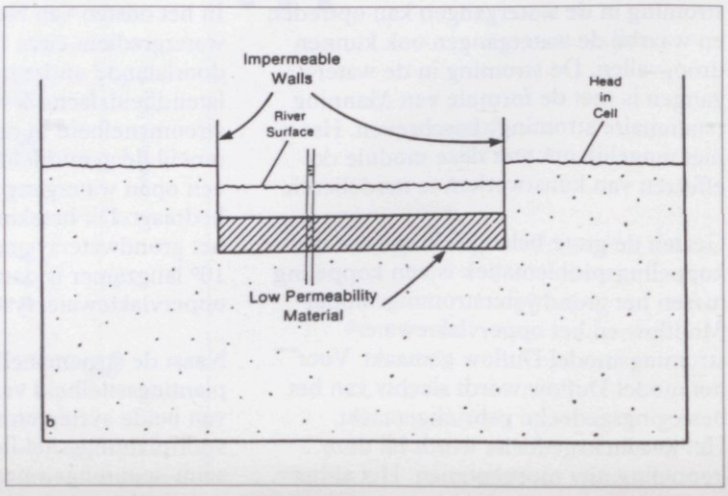
In het gekoppelde model zijn beide modellen tegelijk aanwezig in het werkgeheugen van de computer en wisselen regelmatig de noodzakelijke gegevens uit (zie afb. 2).

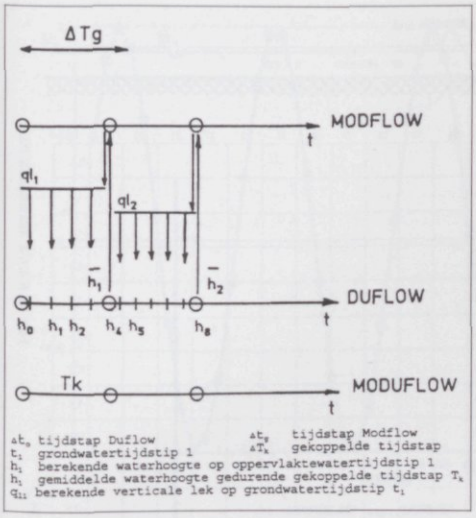
Hierbij zijn verschillende algoritmen denkbaar.

Afb. 1a - Oppervlaktewater gescheiden van grondwater door slecht doorlatende laag.



Afb. 1b - Modflow-schematisatie van afbeelding 3a [Modflow, Mc Donald en Harbaugh, 1988].





Afb. 2 - Tijddiscretisatie in Moduflow. Pijlen geven overdracht van informatie tussen de modellen aan.

Er is gekozen voor de zogenaamde één-stap-algoritme. Het schema voor dit algoritme is in afbeelding 3 weergegeven.

Voordeel van dit algoritme is dat het eenvoudig is en daardoor overzichtelijk. De methode is zo ingericht dat de waterbalans wat betreft de flux tussen grondwater en oppervlaktewater altijd klopt in de tijdstap waarin Modflow en Duflow gekoppeld zijn.

Nadeel van dit algoritme is dat de waterhoogten van vorige tijdstappen worden gebruikt, zodat een discretisatiefout aanwezig is. Daarom mag het tijdsinterval voor uitwisseling van gegevens niet te groot wordt genomen.

Er is sprake van 3 tijdstappen, te weten de rekentijdstappen van de beide afzonderlijke modellen, en het tijdsinterval waarop uitwisseling van gegevens tussen de beide modellen plaatsvindt, de zogenaamde koppelingstijdstap Δt_k. De rekentijdstap van Modflow is gelijk gekozen aan dit tijdsinterval.

Bij de bouw van het gekoppelde model is gekozen voor een procedure waarin in een koppelingstijdstap eerst Duflow, met behulp van het eerder door Modflow berekende lekdebiet en eventuele andere randvoorwaarden, het waterniveau in het oppervlaktewatersysteem bepaalt en aan Modflow doorgeeft; vervolgens wordt in Modflow voor dezelfde koppelingstijdstap de grondwaterstijghoogte bepaald met de over de koppelingstijdstap gemiddelde rivierwaterstand als randvoorwaarde; tenslotte wordt het verticale lekdebiet berekend en aan Duflow doorgegeven.

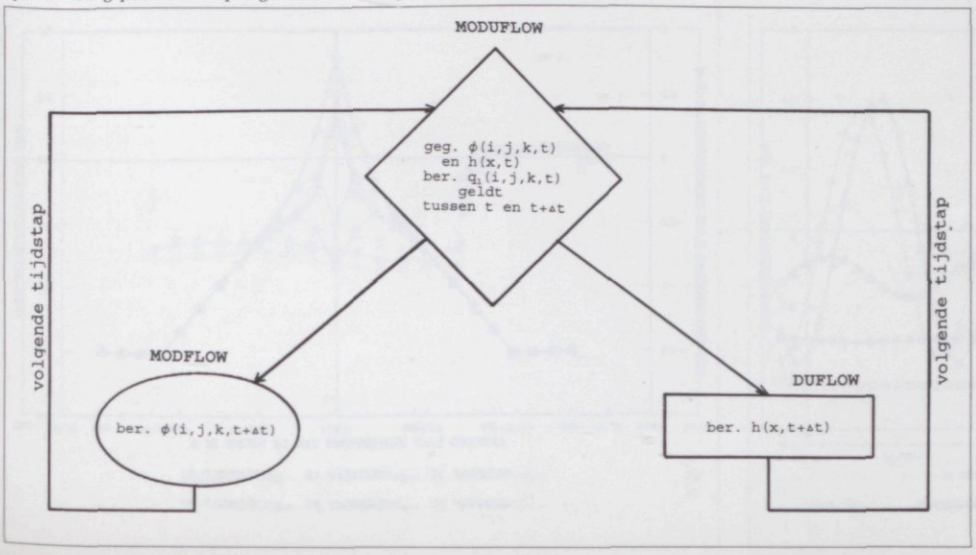
De grondwatertijdstap (Δt_g) is gelijk aan Δt_k. De in Duflow gebruikte rekentijdstap Δt_o is een gedeelte van Δt_k.

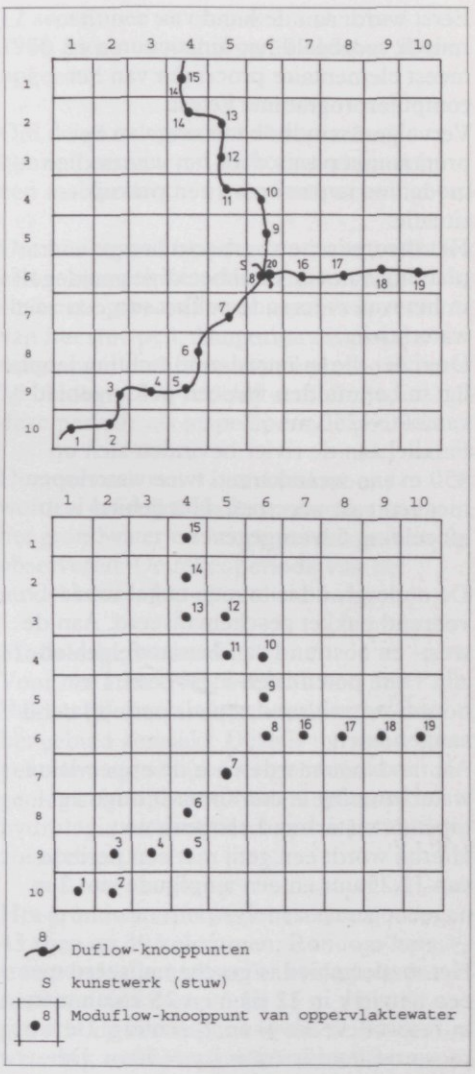
Discretisatie in de ruimte

Modflow is een pseudo-drie-dimensionaal model gebaseerd op de eindige differentie-methode. Het netwerk bestaat uit rechthoekige elementen. Er is gewerkt met een 'block centered'-versie. Dat wil zeggen dat alle parameters aan het centrum van een element worden toegekend en in dit knooppunt de grondwaterstijghoogte wordt berekend.

Duflow is een één-dimensionaal eindige differentiemodel. Het oppervlaktewatersysteem wordt in secties en knooppunten verdeeld. In een sectiepunt worden twee vergelijkingen (bewegings- en continuïteitsvergelijking) opgesteld. De waterhoogte en snelheid worden in een knooppunt bepaald.

Afb. 3 - Toegepaste één-stap-algoritme in Moduflow.





Afb. 4 - Ruimtelijke schematisatie van het gekoppelde model.

Het lekdebiet geldt voor (het centrum van) een cel in het grondwaterrooster en voor een knooppunt van het open-waternetwerk. Daarom moeten in het gekoppelde model de knooppunten van Duflow en de harten van de Modflow-cellen met elkaar samenvallen. Tijdens het schematiseren moet een keuze worden gemaakt over welk knooppunt van een oppervlaktewatersysteem hoort bij welk element van het grondwaterstromingsmodel. Voorbeelden van de ruimtelijke schematisatie van het gekoppelde model zijn in afbeelding 4 weergegeven.

Testen van het programma

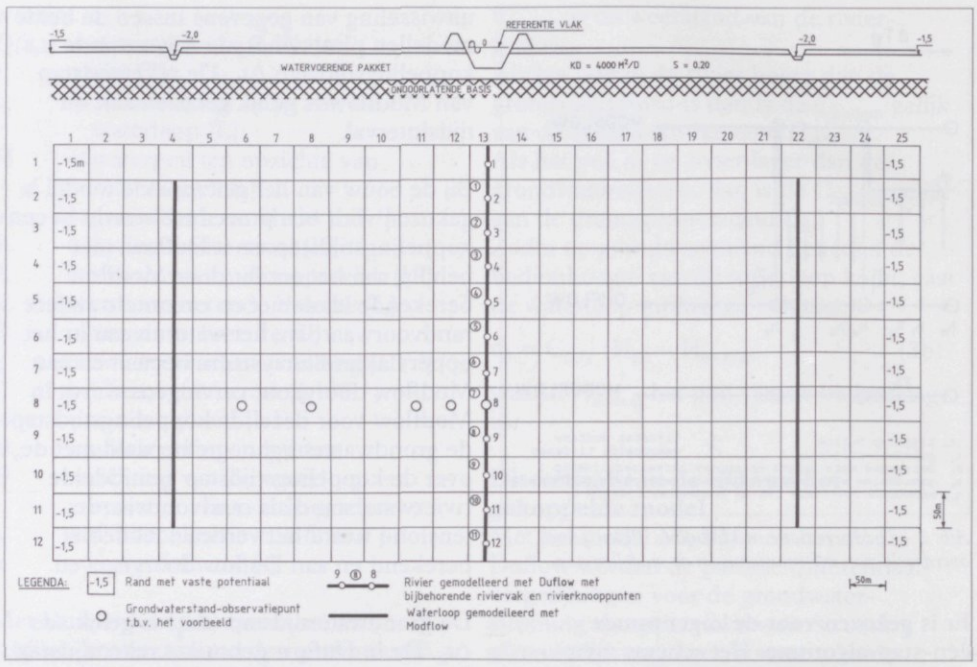
Gezien het feit dat Modflow en Duflow conceptueel intact zijn gebleven, is het niet noodzakelijk geacht om de numerieke oplossing met een analytische oplossing te vergelijken.

Om het gekoppelde programma Moduflow te testen op correctheid zijn twee berekeningen uitgevoerd.

Eerst wordt aan de hand van een theoretisch voorbeeld het functioneren en de meest elementaire processen van het computerprogramma getest.
Vervolgens vindt de toetsing van het programma plaats door het wiskundige model toe te passen op een praktijksituatie.
Het theoretische voorbeeld betreft voortplanting van een denkbeeldige getijdegolf in het watervoerende pakket van een zoetwater-rivier.
De rivier die in noord-zuid richting loopt, ligt in het midden van een poldergebied van 600*1250 m².
Parallel aan de rivier bevinden zich op 450 m aan weerskanten twee waterlopen met een vast waterpeil. Het gebied is in afbeelding 5 weergegeven.

De ondergrond is tot een enkel watervoerend pakket geschematiseerd. Aan de west- en oostrand van het modelgebied zijn vaste potentialen ingevoerd. De noord- en zuidrand zijn als ondoorlatend aangenomen.
Als randvoorwaarde voor de oppervlaktewaterstroming is een sinusvormige verlopende waterstand aangenomen.
Hierbij wordt een getij met een periode van 12,25 uur en een amplitude van 2 m nagebootst.

Het modelgebied is geschematiseerd met een netwerk in 12 rijen en 25 kolommen in respectievelijk y- en x-richting. De roosterafstand is $\Delta x = \Delta y = 50$ m. De roosterafstand Δs in het Duflow-model voor de rivier is eveneens 50 m. De watergangen zijn met behulp van de 'river'-module van Modflow gesimuleerd.
In Modflow wordt met een rekentijdstap van 1 uur gewerkt.



Afb. 5 - Horizontale en verticale schematisatie van het modelgebied.

Duflow berekent het waterpeil met tijdstappen van 0,5 uur.

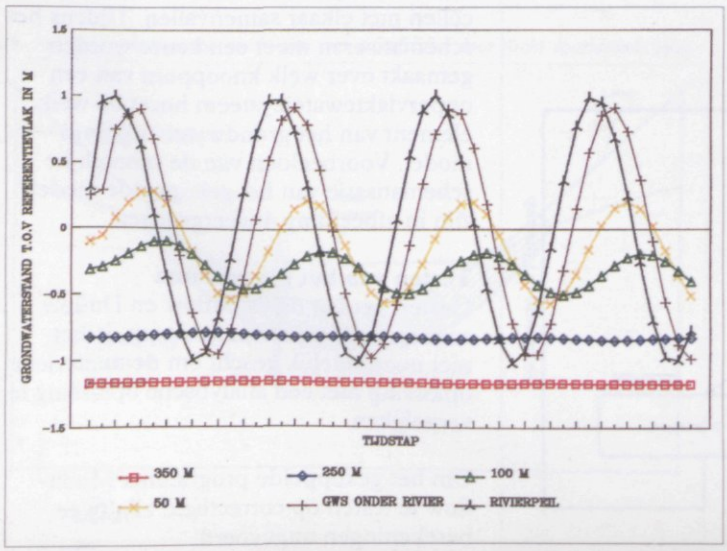
De berekende grondwaterstanden op verschillende afstanden van de rivier zijn in afbeelding 6 weergegeven.

Uit afbeelding 6 blijkt dat met de ingevoerde gegevens op een afstand van 250 m de invloed van het getij is uitgedempt. De demping wordt veroorzaakt door de grote bergingscoëfficiënt (S), het doorlaatvermogen (KD) en de aanwezigheid van de watergangen aan weerszijden van de rivier.
Vertraging van de getij-invloed vindt plaats ten gevolge van de grote bergingscoëfficiënt.

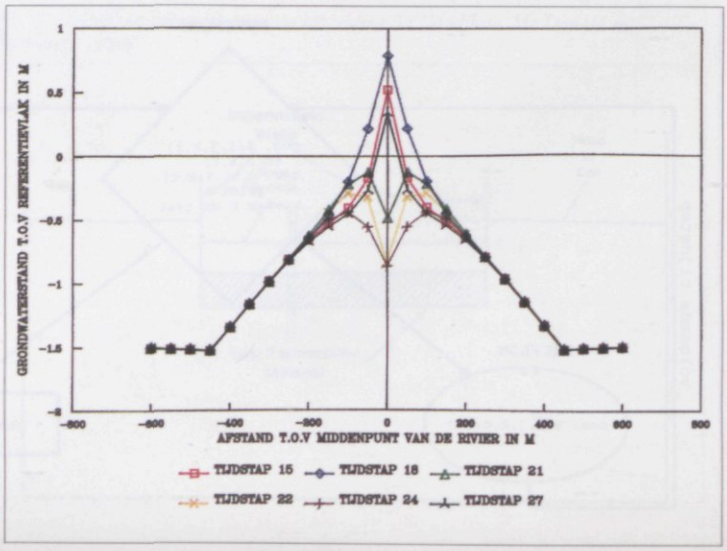
In afbeelding 7 zijn de grondwaterstandsveranderingen in rij 8 op verschillende tijdstippen weergegeven.
Bij hoogwater treedt infiltratie op naar het grondwater en bij laagwater treedt drainage op van het grondwater naar de rivier.

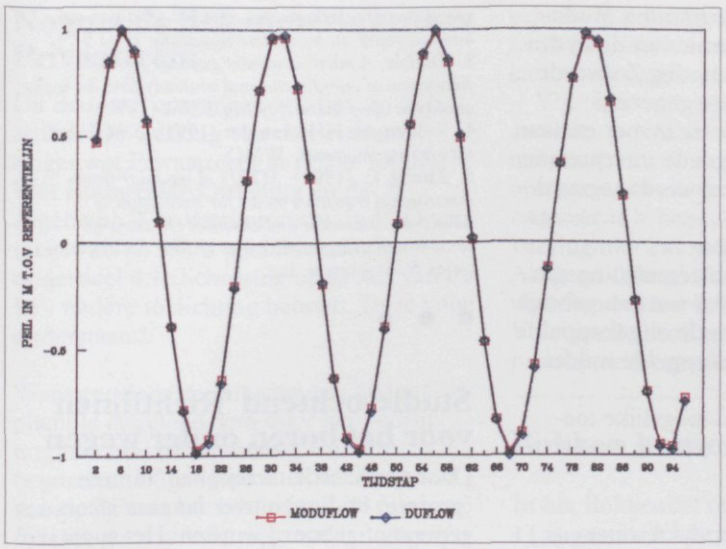
Om de waterpeilen die door Moduflow en Duflow zijn berekend met elkaar te vergelijken, zijn zij in een grafiek (afb. 8) uitgezet. Hieruit blijkt dat een gering verschil in de twee berekeningen is geconstateerd. De lek die van de river naar het grondwater of vanuit het grondwater naar de rivier stroomt (in de orde van een paar procenten) is verwaarloosbaar ten opzichte van het debiet in de rivier zelf. De rivier is in dit hydrologische

Afb. 6 - Grondwaterstandsfluctuatie in de loop van tijd op verschillende afstanden van de rivier.



Afb. 7 - Grondwaterstandsfluctuatie in rij 8 over verschillende tijdstappen.





Afb. 8 - Vergelijking peilverschil tussen Duflow- en Moduflowberekening in knooppuntnr. 8.

systeem overheersend. Een niet gekoppelde iteratieve berekening met de beide afzonderlijke programma's zou hier ook goed werken.

Praktijkvoorbeeld

Als praktijktest is een simulatie gemaakt voor een 'slootproef'-experiment gehouden te Schalkhaar (Overijssel) in 1990 (afb. 9). Dit onderzoek is opgezet om te trachten met behulp van veldmetingen en modelberekeningen de bodemweerstand van de Soestwetering te bepalen. Een slootproef bestaat uit het opzetten en/of laten zakken van het peil in een watergang en het meten van de effecten hiervan op de omgeving.

De slootproef is uitgevoerd in een stuwpand van de Soestwetering. De lengte van dit stuwpand is circa 1 km.
De proef heeft plaatsgevonden van 17 september tot en met 9 november 1990. Het stuwpeil is op 17 oktober 50 cm opgezet.

Afb. 9 - Ligging lokatie slootproef in het modelgebied.

Om de grondwaterstanden waar te kunnen nemen zijn 16 boringen gezet in een raai loodrecht op de Soestwetering.

Om het koppelingsprogramma te testen is een rekenperiode gekozen direct aansluitend op het moment van het opzetten van het stuwpeil. Aangezien de grondwaterstand en het waterpeil op 14, 15 en 16 oktober 1990 redelijk stabiel zijn, is deze periode als inspeelperiode gebruikt.

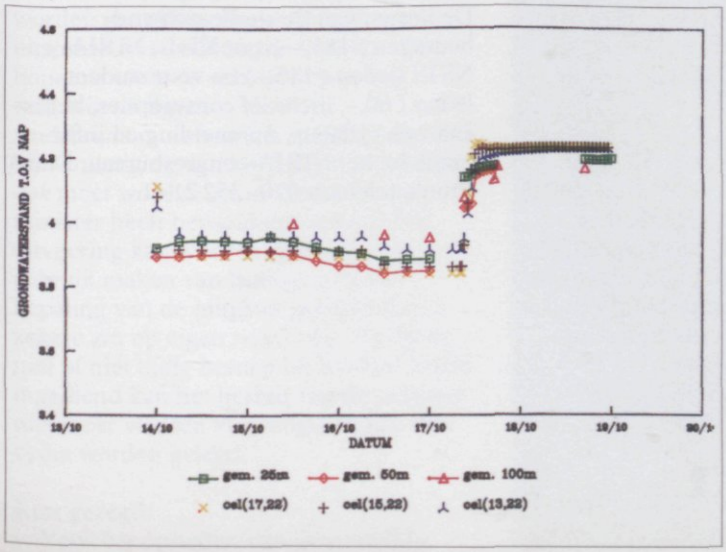
De gegevens van 17 en 18 oktober worden gebruikt om de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater te observeren. De rekenperiode van het model bedraagt dus in totaal 5 dagen.

Modelschematisatie

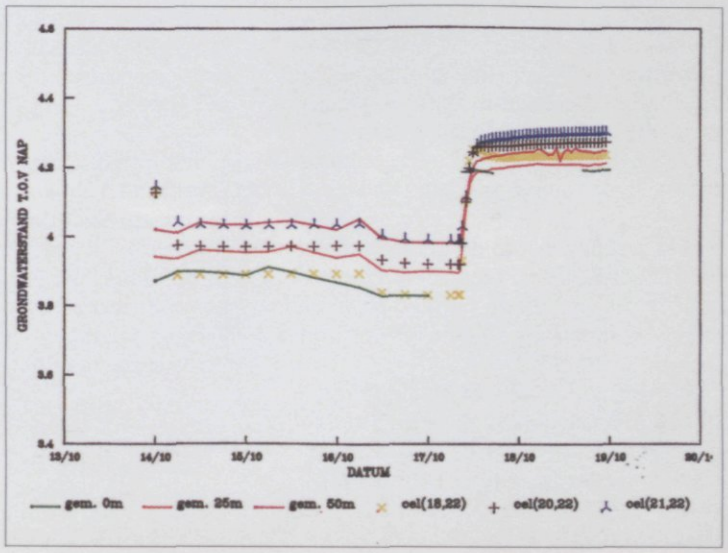
Voor het onderzoek heeft M. van der Velden [4] een modelschematisatie voor het gebied gemaakt. Deze is tot stand gekomen na een uitvoerige studie over de geologische opbouw, bodemopbouw, hydrologie en geohydrologie in het onderzoekgebied.

Het grondwaternetwerk bestaat uit 43 rijen en 39 kolommen. Rondom het stuwpand is het netwerk verfijnd tot de roosterafstand van 15 bij 15 m. Hier is getracht de knooppunten van de Soestwetering zoveel mogelijk met de knooppunten van de rekencel van Modflow te laten samenvallen.
Aan de randen van het model zijn vaste potentialen (Dirichlet-randvoorwaarde) ingevoerd.

Afb. 10a - Vergelijking tussen gemeten en berekende grondwaterstanden op verschillende afstanden (raai noord).



Afb. 10b - Vergelijking tussen gemeten en berekende grondwaterstanden op verschillende afstanden (raai zuid).



De ingevoerde bodemparameters zoals het doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten (KD), de hydraulische weerstand van de scheidende lagen (c) en de bergingscoëfficiënten (S) zijn van het geijkte Modflow-model overgenomen.

De Soestwetering is in 45 leidingvakken (46 knooppunten) geschematiseerd. Aan de westrand (knooppuntnummer 1) en oostrand (knooppuntnummer 46) zijn respectievelijk debiet en waterpeil als randvoorwaarden opgegeven.

Met behulp van Moduflow is de Soestwetering gemodelleerd. De overige waterlopen in het modelgebied zijn als 'river' in Modflow ingevoerd.

Voor zowel het grondwater als oppervlaktewater is een tijdstap van 1 uur genomen. Totaal zijn 120 tijdstappen gesimuleerd.

Met behulp van het programma Moduflow zijn de waterpeilen en de grondwaterstanden berekend. Uit afbeelding 10a en 10b blijkt dat de berekende waarden goed met de gemeten waarden overeenstemmen.

Conclusies
Uit de voorbeelden is gebleken dat het gekoppelde programma Moduflow geschikt is om de dynamische relatie tussen grondwater en oppervlaktewater te simuleren.

Het kiezen van rekentijdstappen voor het gekoppelde systeem is afhankelijk van de mate van nauwkeurigheid die men wil bereiken. De oppervlaktewatertijdstap mag niet te groot worden gekozen in verband met mogelijke numerieke instabiliteit van de lange-golfberekening.

Duflow is een module van Modflow geworden zodat het aan- en uitschakelen van Duflow heel gemakkelijk is. De brontekst van beide programma's is zo veel mogelijk intact gehouden overeenkomstig de uitgangspunten voor deze studie.

Bij het aanmaken van de invoerbestanden voor Moduflow kan men grotendeels gebruik maken van de huidige post- en preprocessors. Enige aanpassingen zijn nodig.
Uitvoerbestanden in ASCII- en in het binaire formaat van beide programma's zijn ook intact gehouden, zodat van de bestaande postprocessors gebruik kan worden gemaakt om grafieken te produceren.

Om het gekoppelde programma Moduflow te gebruiken is kennis van de hydrologie en geohydrologie nodig. Zo wordt voorkomen dat onnodige gegevens worden verzameld voor de invoer en (van nog meer belang) een goede interpretatie van de modeluitkomsten wordt gegeven.

Mogelijke toepassingen
Afhankelijk van de probleemstelling van het onderzoek kan beslist worden gebruik te maken van de bestaande ongekoppelde modellen of van het gekoppelde model.

Hieronder is een aantal mogelijke toepassingen voor het gekoppelde model weergegeven:

- Berekenen van oppervlaktewatersysteem met peilfluctuatie, bijvoorbeeld getij, hoogwatergolf.
- Berekenen van ingrepen in het oppervlaktewatersysteem, zoals peilbeheer, dimensionering waterlopen, en het inrichten van kunstwerken.
- Bestuderen van het eventuele droogvallen van de sloten; hierbij moet worden opgemerkt dat verbetering van Duflow voor droogvallen gewenst is.

Aanbevelingen
Het model MODUFLOW lijkt goed te voldoen. Het is noodzakelijk om het model nog verder te optimaliseren voor het meest ideale koppelingsalgoritme, gebruiksvriendelijkheid etc.

De in dit artikel genoemde toepassingen zijn van kwantitatieve aard. De grondwaterstanden en de waterbalans zijn door het model Moduflow bepaald. De berekening van waterkwaliteit is in dit project nog niet meegenomen.
Door de modulaire opbouw is verder uitbreiding betrekkelijk eenvoudig. Kwaliteitsmodulen kunnen aan het programma worden gehangen. Aan de huidige kwaliteitsmodule in Duflow kan het transportmodel MT3D [5] worden gekoppeld.

Een koppeling met een onverzadigde zone-model (bijvoorbeeld MUST; Model for unsaturated flow above a shallow watertable) is ook aan te bevelen. In het programma MUST zijn de processen zoals het onttrekken (evaporatie) en/of aanvulling (neerslag) van water in de onverzadigde zone beschreven.

Literatuurlijst
1. McDonald M. G. and Harbaugh, A. W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model.* USGS.
2. Leenen, J. D (1994). *Voortplanting van grondwaterstandsfluctuaties, met het effect van een hoogwatergolf als bijzondere toepassing.* H_2O 5
3. *Duflow, A micro-computer package for the simulation of one-dimensional unsteady flow an water quality in open channel system.* ICIM (1992).
4. Velden, M. H. H van der (1991). *Schalkhaar, uitwerking slootproef.* WMO.
5. Zheng, C. (1992). *MT3D, A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in ground-water system.* SS Papadopulos & Associates, Inc.

• • •

Studie-ochtend 'Richtlijnen voor het boren onder wegen'

Door verbeterde technieken kunnen (grotere) leidingen over langere afstanden geperst of geboord worden. Het succesvol uitvoeren van een boring of persing is in belangrijke mate afhankelijk van een gedegen (grond)onderzoek en een beheerste uitvoering. De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat gaat binnenkort de Richtlijn Boortechnieken uitbrengen. Naar aanleiding hiervan organiseren de NSTT en de NIRIA-vaksectie Civiele Techniek op woensdag 1 november 1995 in de RAI te Amsterdam de studie-ochtend 'Richtlijnen voor het boren onder wegen'.
Deze richtlijn is bedoeld als normatieve leidraad, waarmee de niveau een succesvol project wordt verkregen. Om hieraan bij te dragen dient de vergunningaanvrager meer gegevens te verstrekken dan voorheen gebruikelijk was. Door andere instanties worden ook richtlijnen met betrekking tot boortechnieken gehanteerd. Op de thema-ochtend wordt een vergelijking gemaakt tussen de bestaande richtlijnen en de nieuwe Rijkswaterstaatrichtlijnen. Daarnaast wordt ingegaan op de ervaringen opgedaan met verschillende richtlijnen en/of boortechnieken.
De kosten van de studie-ochtend bedragen f 185,– (voor KIvI-, NIRIA- en NSTT-leden f 115,–) en voor studentleden f 60,–, inclusief consumpties, beurskaart en syllabus. Aanmelding en informatie bij het NIRIA-congresbureau, Diana Pronk, telefoon 070-3522141.