
Een praktische toepassing van het gekoppelde model MODUFLOW

ir. X.T. Ngo

In een eerder artikel is de theoretische achtergrond van het gekoppelde model MODUFLOW beschreven. Tevens zijn ook twee eenvoudige toepassingen van het model behandeld. In dit artikel wordt verder ingegaan op een praktische toepassing van het model MODUFLOW. Ten behoeve van de compensatie van de grondwaterstands daling die wordt veroorzaakt door de toekomstige waterwinning Rodenmors te Denekamp, is een ontwerp van een wateraanvoerplan gemaakt. De aanvoersloten samen met het Omleidingskanaal en de bijbehorende kunstwerken zijn in het gekoppelde model met behulp van DUFLOW gemodelleerd. Hiermee wordt de variatie in het oppervlaktewaterpeil en de stroming in het slotenstelsel gesimuleerd. Vervolgens is dit samengevoegd in het model MODUFLOW. De berekening is uitgevoerd voor een droge periode van 1989. In deze periode speelt de interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwater een grote rol. Verschillende aanvoervarianten zijn doorgerekend. Uit de berekeningsresultaten blijkt dat door het simuleren van de dynamische interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwatersysteem een betere waterbalans van het hydrologische systeem wordt verkregen.

Inleiding

Dit artikel is een vervolg op een eerder gepubliceerd artikel in H₂O, nr. 17, 1995 met de titel 'Koppeling tussen een grondwatermodel en een oppervlaktewatermodel'. Dit artikel handelt over een praktische toepassing van het gekoppelde grondwater- en oppervlaktewatermodel MODUFLOW. In het genoemde artikel werd uitleg gegeven over de theoretische achtergronden van het grondwaterstromingsmodel MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1988) en het oppervlaktewaterstromingsmodel DUFLOW (ICIM, 1992). Tevens waren de keuze van het algoritme voor de koppeling en de ruimtelijke schematisatie van de DUFLOW-knooppunten in een MODFLOW-cel aan de orde. Twee eenvoudige berekeningen werden uitgevoerd om het programma in de beginfase te testen.

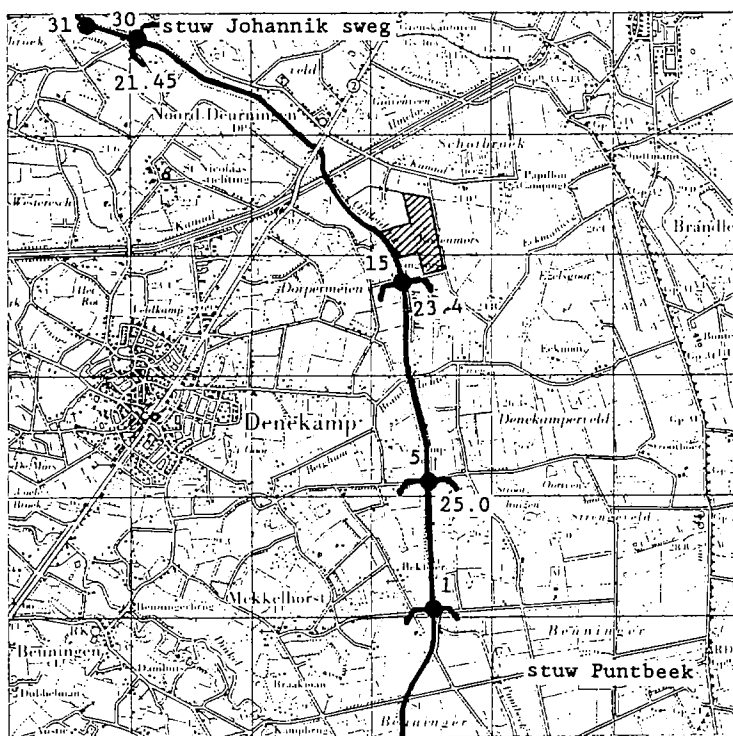
De toepassingsmogelijkheden van MODUFLOW zijn ruim. Om dit te illustreren wordt in dit artikel verder ingegaan op een toepassing van het model.

De Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO) heeft het voornemen om in Denekamp de waterwinning 'Rodenmors' langs het Omleidingskanaal te starten (figuur 1). Ter ondersteuning van de vergunningaanvraag is een niet-stationair grondwaterstromingsmodel gemaakt (Ngo, 1992). Dit simulatiemodel is met behulp van de MODFLOW-code uitgevoerd. In dit model zijn de peilen in het oppervlaktewatersysteem voor elke rekenperiode van 14 dagen vastgehouden. Het model is geïkt voor grondwaterstanden en stijghoogten van 1989.





In december 1993 heeft de Provincie een winvergunning voor het onttrekken van 1,5 miljoen m³ per jaar aan de WMO afgegeven, met de voorwaarde dat, voor zover mogelijk, de nadelige effecten voor de landbouw en de eventueel aanwezige natuur binnen het invloedsgebied met behulp van wateraanvoer worden gecompenseerd.

Met behulp van MODUFLOW is een wateraanvoerplan berekend ten behoeve van compensatie van de grondwaterstands dalingen die veroorzaakt zullen worden door de toekomstige waterwinning Rodenmors.

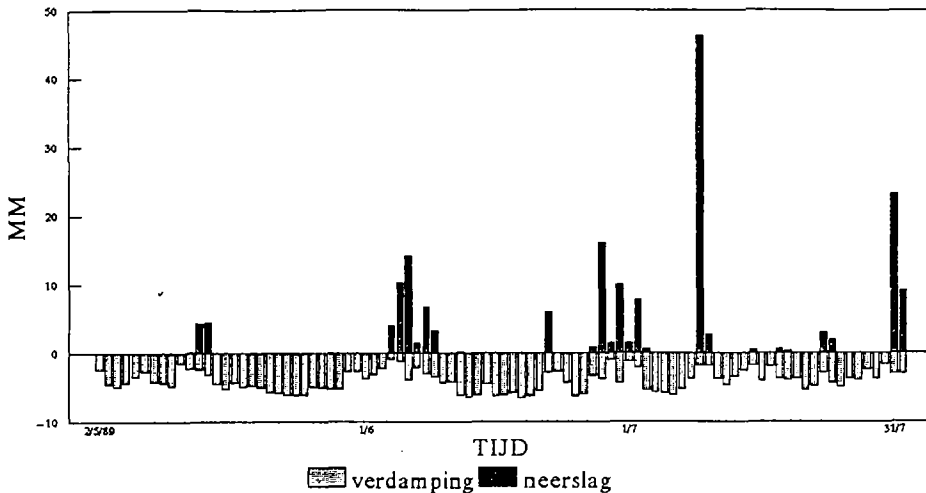
Er is gekozen voor MODUFLOW in de bovengenoemde toepassing omdat de langzame component (basisafvoer) van de afvoer in de droge periode overheerst, waardoor de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater een grote rol speelt. De meerwaarde van het gekoppelde model MODUFLOW ten opzichte van de 'traditionele' modellen wordt voor dit soort toepassingen aangetoond.



figuur 1 : overzicht van het modelgebied

-  waterwinning Rodenmors
-  Omleidingskanaal
-  23.4 stuw met bijbehorende zomerpeil
-  5 Duflow-knooppunt met bijbehorende nummer

Figuur 1: Overzicht van het modelgebied



Figuur 2: Neerslag (positief) en verdamping (negatief) volgens KNMI

In dit artikel zal eerst de modelopzet worden beschreven. Daarna wordt de ijking van het model op het (oppervlaktewater)peil en het debiet bij de stuw Johanninksweg in het Omleidingskanaal beschreven. Vervolgens worden twee wateraanvoervarianten doorgerekend. Daarna wordt een scenario doorgerekend waarbij de wateraanvoer wordt stopgezet. Tevens worden de effecten van een scenario waarin de stuwpeilen worden opgezet, beschreven.

Modelopzet

Er is gekozen voor een relatief droge rekenperiode van 2 mei tot en met 1 augustus 1989 (90 dagen). In deze periode was de gewasverdamping groter dan de neerslag, en was dus er sprake van een negatief neerslagoverschot. De gemeten neerslag van het weerstation Denekamp en de referentieverdamping van de vliegbasis Twente zijn in figuur 2 weergegeven.

De startwaarden voor grondwaterstijghoogten zijn uit het MODFLOW-model gehaald. Voor het peil in het Omleidingskanaal zijn de gemeten waarden van 2 mei 1989 als startwaarden ingevoerd. Als randvoorwaarden voor het model zijn de gemeten debieten bij de stuw Puntbeek voor knooppunt 1 ingevoerd (figuur 1). In knooppunt 31 is een vast peil opgegeven.

Ijking

Om de mogelijkheden van wateraanvoer ten behoeve van de toekomstige waterwinning Rodenmors te onderzoeken is samen met het Waterschap Regge en Dinkel gedurende de periode van augustus 1988 tot en met september 1989 een meetprogramma uitgevoerd. Een deel van deze gegevens, met name die in de droge periode, is gebruikt om het MODFLOW-model (debiet en peil) te ijken.

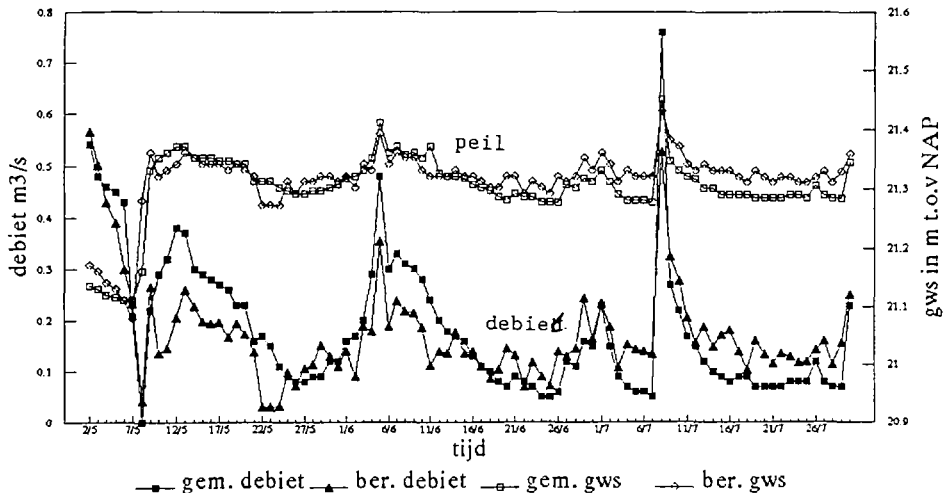
Schematisatie ijkingsmodel

In het MODFLOW-model zijn de waterlopen met vaste peilen gesimuleerd. Er treedt geen stroming op in de waterlopen. Om het debiet en het peil van het Omleidingskanaal te kunnen iken is het MODFLOW-model omgezet naar het MODUFLOW-model. Het Omleidingskanaal wordt daardoor met de MODUFLOW-code gesimuleerd, terwijl de andere invoergegevens (zoals de geometrie, overige waterlopen, etc.) van het geijkte MODFLOW-model zijn overgenomen.

Het Omleidingskanaal is in 31 knooppunten verdeeld. Tussen knooppunt 1 en 31 zijn drie stuwen in het DUFLOW-netwerk opgenomen (figuur 1).

Ijkingsresultaten

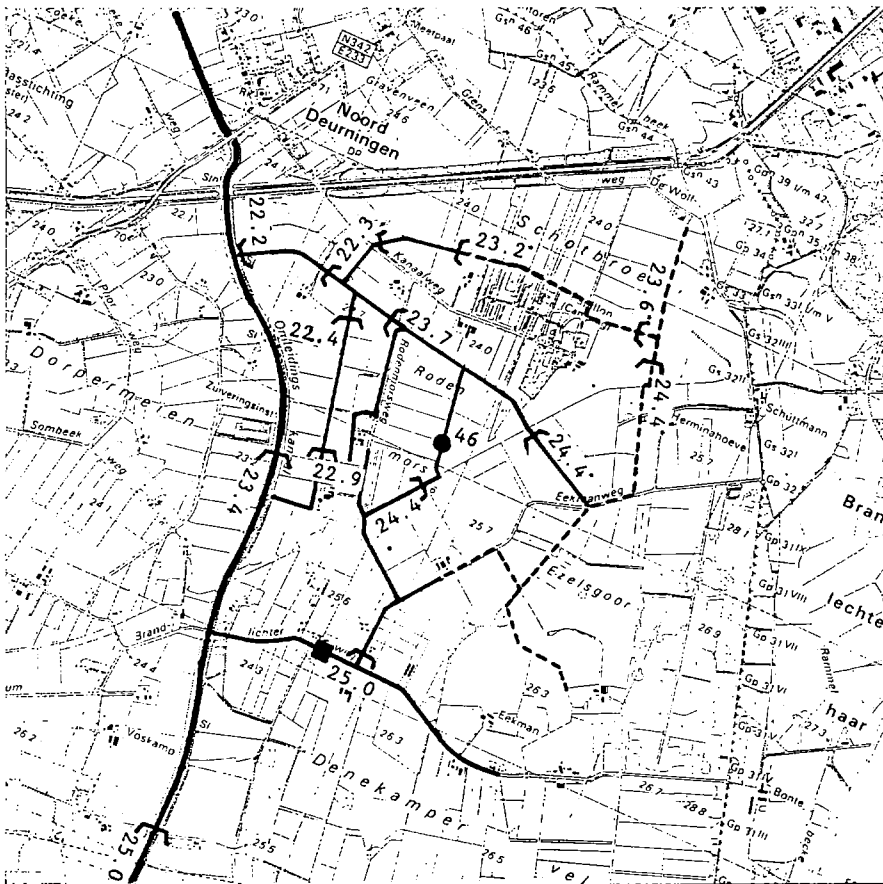
In figuur 3 is een vergelijking van het gemeten en berekende debiet en het bovenstroomse peil bij de stuw Johanninksweg (knooppunt 30) over de rekenperiode weergegeven. Hieruit blijkt dat het oppervlaktewaterpeil goed is berekend. De afwijking in de gemeten en berekende debieten is als volgt te verklaren: DUFLOW is uitgegaan van een standaard kunstwerk met een klepbreedte van 5 meter. In werkelijkheid bestaat de stuw bij de Johanninksweg uit twee kleppen. Elke klep heeft een breedte van 5 meter. Tijdens de rekenperiode is één klep opgetrokken, zodat de afvoer slechts plaats vond over de overgebleven klep. Hierdoor is de Q - h -relatie van een standaard kunstwerk niet gelijk aan de werkelijke Q - h -relatie.



Figuur 3: Vergelijking gemeten en berekende waarden van peil en debiet in knooppunt 30 (stuw Johanninksweg)

Wateraanvoerplan Rodenmors

Met behulp van het bovengenoemde niet-stationaire grondwaterstromingsmodel MODFLOW is het effect van een onttrekking van 1,5 miljoen m³ per jaar bepaald (Ngo, 1992). Om de grondwaterstandsvaling te compenseren, heeft Heidemij N.V. een aantal aanvoervarianten ontworpen (Heidemij, 1994). Eerst wordt het simulatiemodel MODFLOW gebruikt om na te gaan of de voorgestelde stuwpeilen voldoen en om na te gaan of op een aantal plaatsen nieuwe aanvoersloten gewenst zijn. Ter illustratie zijn twee aanvoervarianten in figuur 4 weergegeven. Nadat is gebleken dat de grondwaterstandsvalingen worden gecompenseerd, is het gekoppelde model MODUFLOW gebruikt om de stroming in de aanvoersloten te controleren.



- variant 1
- variant 2
- gemeaal
- 23.4 stuw met bijbehorende zomerpeil
- 22.6 stuw hoort bij variant 2
- 46 Dufflow-knooppunt nr. 46

Figuur 4: overzicht twee aanvoervarianten

Schematisatie model met wateraanvoer

In MODUFLOW worden de aanvoersloten, het Omleidingskanaal met de bijbehorende stuw en het inlaatgemaal met behulp van DUFLOW gesimuleerd. De rest van het oppervlaktewatersysteem zoals de Dinkel, het kanaal Almelo-Nordhorn en de andere watergangen zijn als 'river' met behulp van MODFLOW gesimuleerd. Dit betekent dat voor die oppervlaktewateren in MODFLOW een vast peil gedurende de rekenperiode is aangehouden.

Ten behoeve van de wateraanvoervariant 1 is het oppervlaktewatersysteem in DUFLOW tot 83 knooppunten geschematiseerd. Voor variant 2 is het oppervlaktewatersysteem, in DUFLOW, met 94 knooppunten vastgelegd.

Voor het gebied Rodenmors is een aanvoernorm van 0,25 liter per seconde per hectare toegepast. Dit komt overeen met een maalcapaciteit van 0,67 m³/s voor variant 1 en 1,00 m³/s voor variant 2. In de simulatie wordt het gemaal op 'downstream control' gebaseerd. Dat wil zeggen dat het debiet wat wordt ingelaten, wordt bepaald door de vraag die benedenstrooms optreedt.

Resultaten

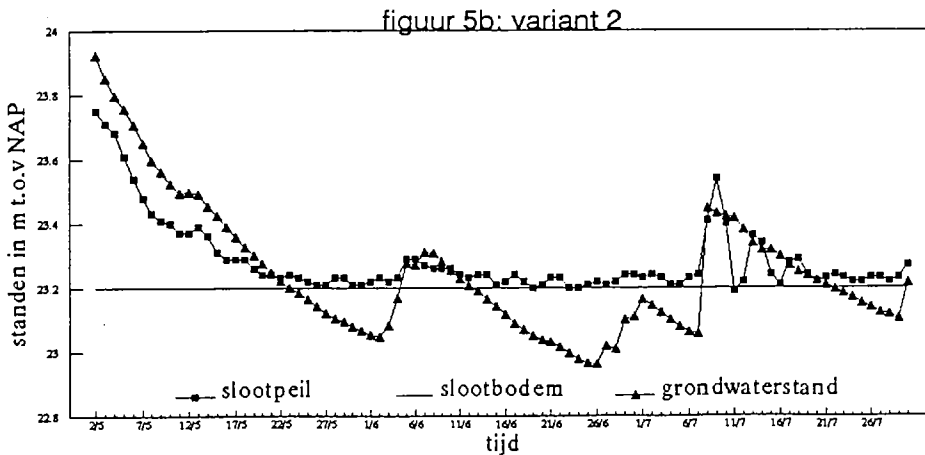
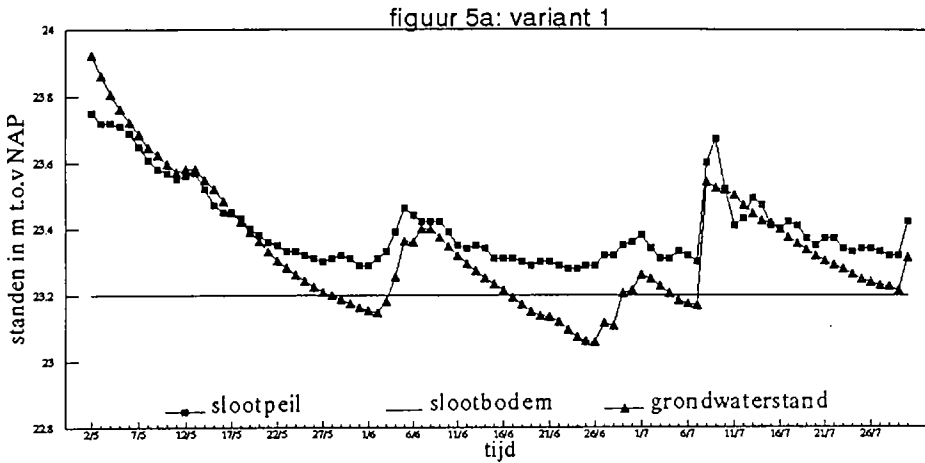
Uit de berekeningen is gebleken dat met de gekozen inlaatdebieten overal in de aanvoersloten stroming zal optreden. De stroomsnelheid in de sloten, voor beide varianten, bedraagt circa 0,01 m/s. Voor beide varianten stroomt in knooppunt 57 (zie figuur 4), waar water naar het Omleidingskanaal terugstroomt, een debiet van 0,016 m³/s uit het voorzieningsgebied. Dit betekent dat een debiet van 0,051 m³/s (ofte wel 1,6 miljoen m³ per jaar) in de bodem zal infiltreren. Voor variant 2 bedraagt het infiltratiedebiet 0,084 m³/s (ofte wel 2,7 miljoen m³ per jaar).

Zoals in figuur 3 is aangegeven, wordt de waterinlaat ten behoeve van de wateraanvoer vanuit het Omleidingskanaal (stuwwand 23,40 m +NAP) gerealiseerd. Ondanks de ont-trekking van water vanuit dit stuwwand met een maalcapaciteit van 0,67 m³/sec voor variant 1 en 1,0 m³/sec voor variant 2, blijft het oppervlaktewaterpeil in de droge periode min of meer gelijk aan het stuwpeil. Drainage van beide kanten van het Omleidingskanaal zorgt ervoor, dat het peil niet onder het stuwpeil wegzakt.

Scenario stoppen wateraanvoer

Vervolgens is bestudeerd voor welke situatie gedurende de rekenperiode (02/05 t/m 01/08/1989) wateraanvoer niet mogelijk is (worst case) en wat dat zal betekenen voor het peil van het oppervlaktewatersysteem en het grondwatersysteem in het voorzieningsgebied. Voor dergelijke situaties bieden de traditionele grondwatermodellen en oppervlaktewatermodellen geen mogelijkheden om de opgetreden hydrologische effecten te voorspellen. Slechts een gekoppeld model zoals MODUFLOW kan deze effecten bepalen.

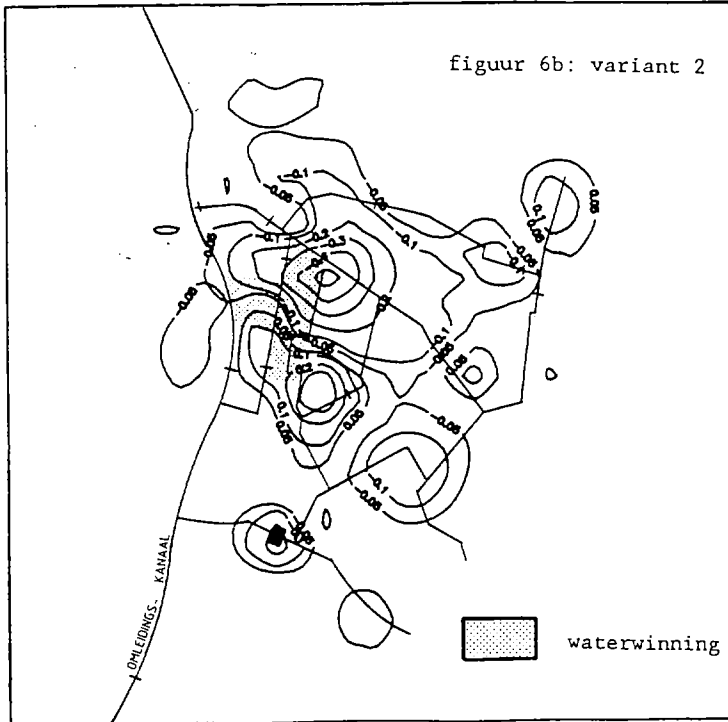
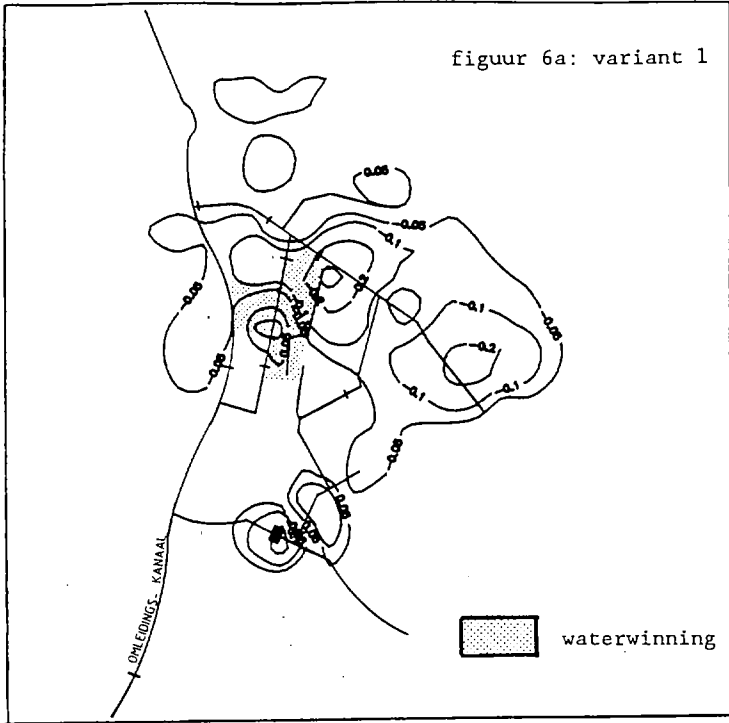
In figuur 5a en b zijn voor knooppunt 46 (zie figuur 3) het verloop van het oppervlaktewaterpeil en de bijbehorende grondwaterstand van respectievelijk variant 1 en 2 in de tijd weergegeven. Hieruit blijkt dat beide varianten verschillend reageren. Bij variant 1 ligt nog een laag water op de slootbodembodem, terwijl bij variant 2 het peil na ca. 16 dagen tot de slootbodembodem zakt.



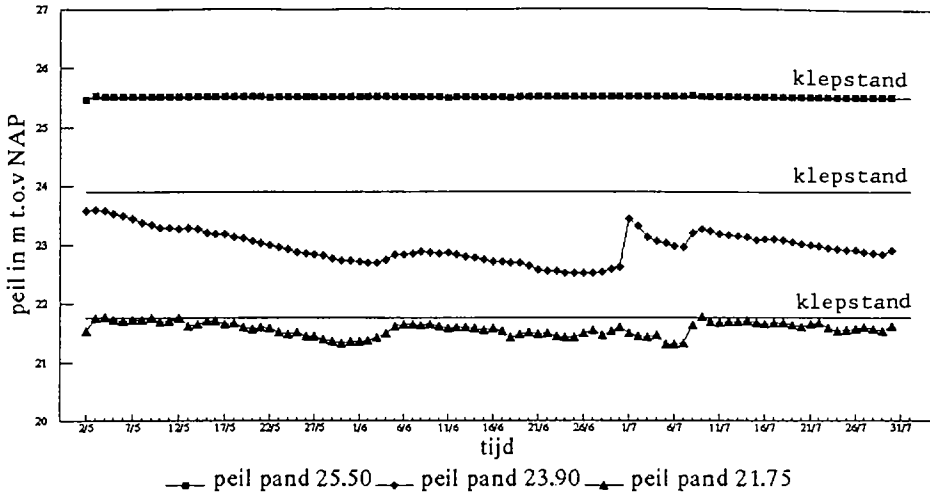
Figuur 5a+b: Verloop van peil en grondwaterstand in knooppunt 46 na het stopzetten van wateraanvoer

Bij variant 1 is een kortsluiting van stroming ontstaan. Uit het bovenstroomse gedeelte van stuwvak 23,70 m +NAP is drainage opgetreden ten gevolge van de lagere slootbodem en de hogere natuurlijke grondwaterstand. Benedenstrooms loopt water weg naar de ondergrond door infiltratie ten gevolge van de lagere grondwaterstand die door de onttrekking wordt veroorzaakt. Op een gegeven moment blijft deze laag water bij variant 1 op een constant peil omdat de evenwichtssituatie is bereikt. In die situatie zijn de hoeveelheden drainage en infiltratie gelijk.

Bij variant 2 wordt drainage tegengehouden, door de aanwezigheid van stuwvak 24,40* m +NAP (zie figuur 4). Het stuwvak met een peil van 23,70 m +NAP krijgt geen aanvoer meer van het bovenstroomse gebied en de sloten in dit stuwvak vallen na circa 16 dagen droog.



Figuur 6a+b: Contouren grondwaterstandsveranderingen. Negatief zijn verlagingen. Positief zijn verhogingen.



Figuur 7: Verloop van peil in het Omleidingskanaal in verschillende stuwpannen na het opzetten van de klepstand (+0.50 m)

Deze effecten zijn ook te zien in figuur 6a en 6b. De grondwaterstandsdeling in het centrum bij variant 1 is kleiner dan bij variant 2, terwijl bij variant 2, ter hoogte van stuwvak 24,40* m +NAP er grondwaterstandsverhogingen plaatsvinden en bij variant 1 grondwaterstandsdingen.

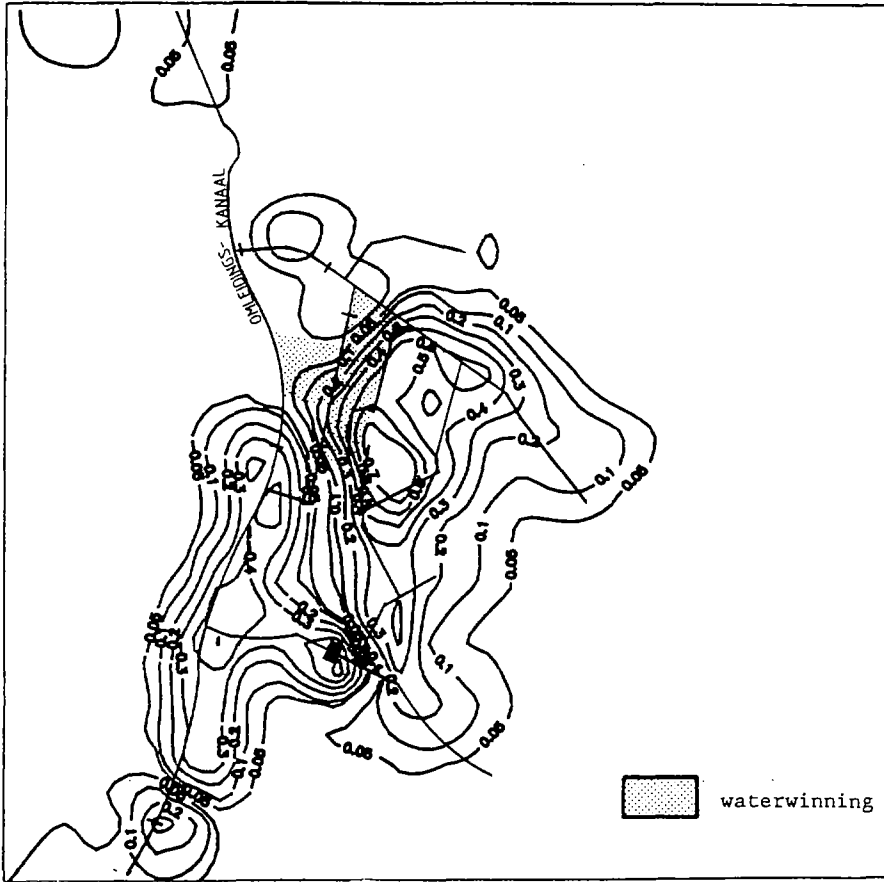
De pieken in het oppervlaktewaterpeil worden veroorzaakt door periodes met veel neerslag (zomerse buien) en weinig verdamping. In het model is de oppervlakkige afvoer (de zogenaamde runoff) niet gesimuleerd.

Scenario water conserveren

Om meer water te kunnen conserveren is ten behoeve van variant 1 een situatie doorberekend waarbij de klepstanden in het Omleidingskanaal met 0,50 m en de aanvoersloten met 0,30 meter worden opgezet, terwijl het gemaal water blijft aanvoeren. Uit de MODUFLOW-berekening is gebleken dat door het opzetten van de stuwpeilen minder drainage in het kanaal zal optreden. In het stuwvand met het peil 25,50 m +NAP blijft het peil nog op de klepstand staan. In de benedenstroomse stuwpannen zakt het water weg door de volgende drie oorzaken.

- Ten eerste krijgen deze panden geen aanvoer van het bovenstroomse pand.
- Ten tweede wordt water onttrokken door het gemaal ten behoeve van de watervoorziening.
- Ten derde gaat water verloren uit het kanaal ten gevolge van infiltratie bij laag liggende gebieden.

De berekende peilen in de verschillende stuwpannen ten gevolge van het opzetten van de klepstanden zijn in figuur 7 geïllustreerd. Figuur 8 geeft de grondwaterstandsveranderingen van het modelgebied weer.



Figuur 8: Contour grondwaterstandsveranderingen na 30 dagen opzetten van de klepstanden. Negatief zijn verlagingen. Positief zijn verhogingen.

Uit de bovenstaande resultaten blijkt dat het opzetten van de peilen niet automatisch tot een verhoging van grondwaterstanden zal leiden. Bij het aannemen van een vast peil bij de simulatie, zoals in de traditionele modellen gebruikelijk is, kunnen verkeerde effecten worden berekend.

Slotbeschouwing

Slechts enkele van de vele mogelijke toepassingen van MODUFLOW zijn hier besproken, zoals droogvallende sloten ten gevolge van infiltratie in de loop van tijd. MODUFLOW biedt mogelijkheden voor een beter ontwerp van het slotenstelsel met bijbehorende kunstwerken zoals stuwen en gemalen, in combinatie met grondwateronttrekkingen. Kortom de inzetbaarheid van het gekoppelde model is groot. In de praktijk is gebleken dat een dergelijk hulpmiddel van grote waarde is, voor problemen waarbij de dynamische interactie tussen oppervlaktewater en grondwater een rol speelt. Door MODUFLOW toe te passen wordt een

betere waterbalans van het hydrologische systeem ten opzichte van de traditionele grondwater- of oppervlaktewatermodellen verkregen. MODUFLOW is niet alleen te gebruiken voor een goed ontwerp van een wateraanvoerplannen maar ook ter ondersteuning van het peilbeheer. Het droogvallen van sloten kan met dit modelinstrumentarium goed worden voorspeld.

De verdere ontwikkeling van het programma ligt thans vooral in de verbetering van de gebruiksvriendelijkheid en optimalisering van de discretisatie van de tijd en ruimte.

Dankwoord

De auteur bedankt de collega's van de afdeling Onderzoek (WMO), T. Visser, J. van Klompenburg (Waterschap Regge en Dinkel) en de redactieraad van 'STROMINGEN' voor hun waardevolle adviezen voor dit artikel.

Literatuur

Heidemij (1994) Wateraanvoerplan waterwinning Rodenmors.

ICIM (1992) A micro-computer package for the simulation of one-dimensional unsteady flow and water quality in open channel system.

McDonald, M.G. en A.W. Harbaugh (1988) A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, United States Geological Survey, Geragthy & Miller.

Ngo, X.T. (1992) Denekamp II, niet-stationaire modelsimulatie ten behoeve van effectberekeningen.

ir. X.T. Ngo
Waterleiding Maatschappij Overijssel
Postbus 10005
8000 GA Zwolle
(038) 4276111