# Het simuleren van grondwaterstroming met spreadsheet; nog enkele voorbeelden



Timmer en Roelofs beschrijven in $H_2O$ 20 (1987) p. 58-62 aan de hand van twee voorbeelden het modelleren van grondwaterstroming met een spreadsheet. Dat het artikel volgens de auteurs als vervolg moge worden gezien op mijn artikel uit 1984 verheugt mij natuurlijk. Daar de auteurs de finesses van de techniek onbeantwoord laten, lijkt een aanvulling in het licht van het gedemonstreerde gebruik gewenst.
De gegeven vergelijking (nr. 3) geldt alleen voor de eenvoudigste 2-dimensionale situatie. Hiermee kunnen de gegeven voorbeelden



IR. T. N. OLSTHOORN

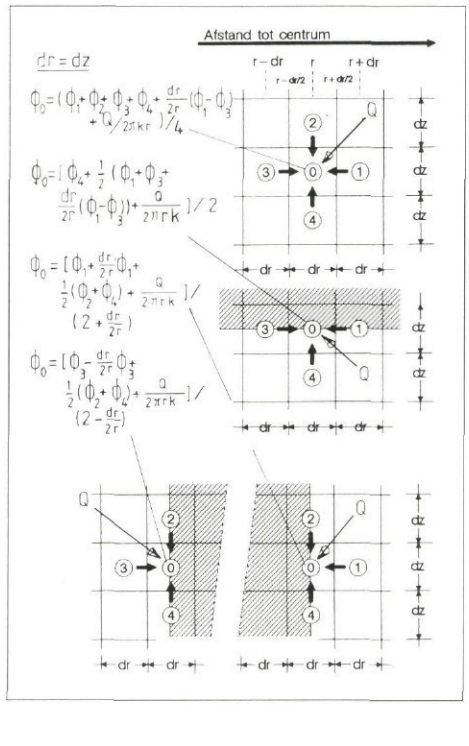
niet worden berekend. De lezer blijft dus in het ongewisse ten aanzien van de in werkelijkheid toegepaste techniek. Daar in mijn artikel een radiaal symmetrisch voorbeeld ontbrak zal ik dit hierna geven voor het Griftparkvoorbeeld van Timmer en Roelofs.
Het is juist dat het spreadsheet zijn grote flexibiliteit plaatst tegenover de wat kortere rekentijden van specifieke grondwatermodellen, een flexibiliteit die zich vooral uit wanneer een specifiek model niet voldoet in de onderhanden situatie. Wat dit betreft zijn de gekozen voorbeelden minder overtuigend, daar ze zonder meer met een en hetzelfde eindige-elementenprogramma kunnen worden uitgerekend.
In het Griftparkvoorbeeld is rond de vervuilde plek een damwand aangebracht tot op de scheidende kleilaag op ca. 44 m diepte. De waterstand binnen de damwand wordt op een ca. 1,6 m lager peil gehandhaafd ten opzichte van de omgeving om weglekken van opgeloste verontreinigingen te voorkomen. Gevraagd is de grootte van de onttrekking van de damwand, in de als 'worst case' te beschouwen situatie, namelijk die waarin de damwand niet diep genoeg wordt uitgevoerd en een spleet van 1 m met de onderliggende kleilaag openblijft.
Door de afmetingen van de damwand (ca. 300 x 150 m) toont de situatie meer overeenkomsten met een cirkel dan met een oneindig lange wand. De gevraagde volumestroom kan dus goed worden berekend door de situatie als radiaal symmetrisch te beschouwen.
De aanpak waarin de situatie wordt benaderd door een strook van 1 m breedte, waarop men vervolgens de neerslag plaatst die hoort bij een radiaal symmetrische situatie, zou ik niet durven verantwoorden. Waarom zouden we dit probleem niet van meet af aan radiaal symmetrisch oplossen? De noodzakelijke formules kunnen immers recht toe recht aan worden afgeleid. Verdelen we de radiaalsymmetrische doorsnede in rechthoekige elementen met hoogte dz en breedte dr, dan ontstaat in de isotrope situatie, met de continuïteit en de wet van Darcy, de volgende waterbalans voor zo'n blok:

$$k\,2\pi(r+dr/2)\,(\phi_1-\phi_0)\,\frac{dz}{dr} + k\,2\pi r\,(\phi_2-\phi_0)\,\frac{dr}{dz} +$$

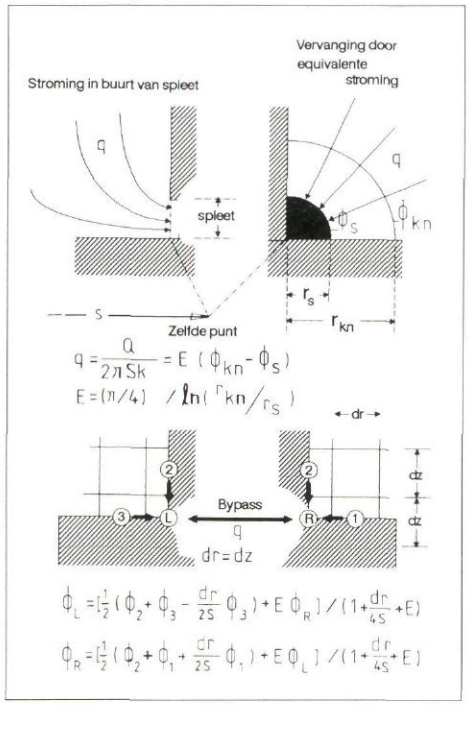
$$k\,2\pi(r-dr/2)\,(\phi_3-\phi_0)\,\frac{dz}{dr} + k\,2\pi r\,(\phi_4-\phi_0)\,\frac{dr}{dz} +$$

$$Q = 0$$

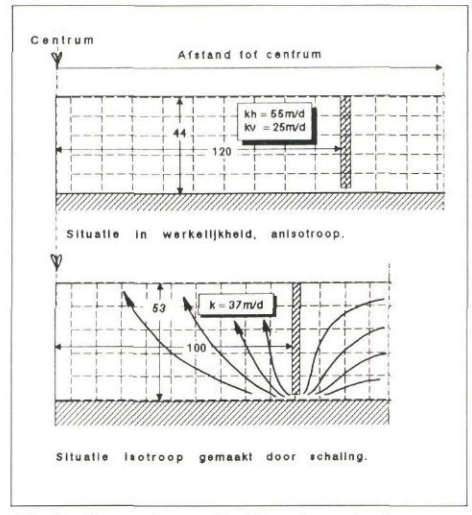
Als men van vierkante blokken uitgaat, zodat dr = dz, en bovendien door 2 $\pi$rk deelt, worden de formules eenvoudiger (zie afb. 1). Deze formules geven aan hoe de stijghoogte in een willekeurig knooppunt wordt berekend uit de omringende. De oplossing krijgt men door iteratie. Langs randen zijn bijzondere formules nodig (zie afb. 1). Het radiaalsymmetrische effect komt tot uiting in de termen met 1/r. Het inbrengen van de formules is geen probleem voor mensen die met een spreadsheet kunnen omgaan.
Het gepresenteerde voorbeeld is echter niet isotroop. In dit geval kan anisotropie door schaling worden geëlimineerd (afb. 2), [zie Olsthoorn, 1982]. De clou is nu dat we uitsluitend het geschaalde, isotrope vraagstuk implementeren; pas bij het tekenen van de isolijnen wordt teruggeschaald.
Interessant is dat men met een vrij grof netwerk kan volstaan, zonder netwerkverfijning. De hier toegepaste elementen met een riblengte van ruim 10 m, zijn voldoende voor het probleem als geheel, maar veel te grof voor de stroming in de buurt van de spleet onder de damwand. Dit is op te lossen door de damwand eerst geheel te sluiten en vervolgens de detailstroming door en rond de spleet te vervangen door een aparte 'bypass', die de knopen aan de pakketbasis ter weerszijde van de damwand met elkaar verbindt (afb. 3). De bypass onttrekt water uit de ene knoop en injecteert dit in de andere.
De weerstand van deze vervangende bypass wordt hierna afgeleid.
Een modelknoop waaruit water wordt onttrokken gedraagt zich als een drain (of put) met een equivalente radius ter grootte van ca. 0,2 maal de riblengte van het blok waarin het punt zich bevindt [Iichiro Kono, 1972].



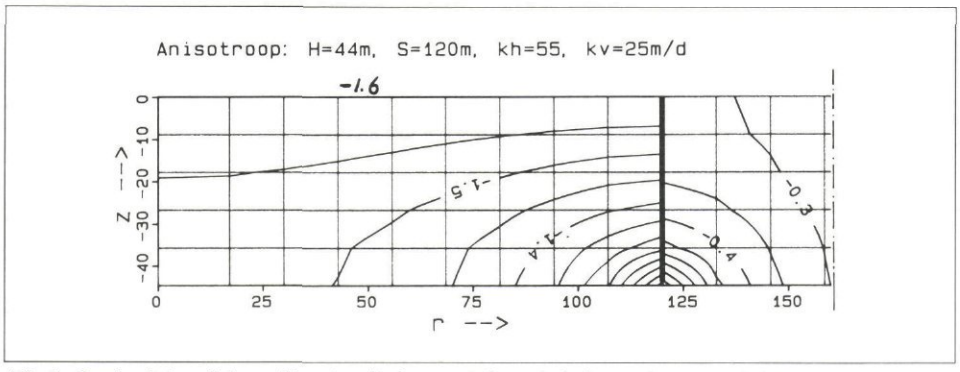

*Afb. 1 - Spreadsheetformules bij radiaalsymmetrische grondwaterstroming in een isotroop medium (verticale doorsnede).*




*Afb. 2 - Schaling van het isotrope real-worldmedium naar het isotrope rekenmedium. Alleen het isotrope medium wordt geïmplementeerd.*




*Afb. 3 - Vervanging van detailstroming onder de damwand door equivalente radiale stroming; specifieke formules voor de via de bypass verbonden knopen.*




*Afb. 4 - Berekende iso-stijghoogtelijnen in radiaalsymmetrische verticale doorsnede na terugschaling tot de real-world situatie. Door de schaling zijn de vierkante rekenelementen veranderd in rechthoeken. Bij de toegepaste buitenradius van 280 m (de afb. loopt slechts tot ca. 160 m) bedraagt de totale volumestroom 5.400 m³/d ofwel 7,1 m²/d per m damwand.*

Dit is te verifiëren door een element te modelleren en te vergelijken met de analytische oplossing). Bij ruim 10 m lange elementribben, zoals in mijn netwerk (afb. 2), is deze equivalente straal dus circa 2 m.
De doorstroomopening onder de damwand kan ook worden vervangen door een drain met een zekere equivalente radius. Bij een spleet van 1 m kan deze worden geschat op 0,65 m (wie een 'exacte' oplossing verlangt, passe een complexe transformatie toe).
Het stijghoogte-verval tussen de knoop en de keel van de spleet is dus gelijk aan die bij radiale stroming tussen de genoemde twee equivalente stralen (afb. 3). Dit verval kan direct met de formule van Thiem worden opgeschreven (ook in afb. 3).
Aangezien de damwand zich op afstand S van het centrum bevindt, is de in deze verticale doorsnede berekende specifieke volumestroom q [m³/d/m_damwand] gelijk aan de totale Q [m³/d] door de spleet, gedeeld door de wandomtrek: $q = Q/2\pi S$. Na deling door k levert dit de term die bij de twee betreffende modelknopen aan de formule in afb. 1 moet worden toegevoegd om de lekkage door de spleet volledig en in afhankelijkheid van riblengte en spleetomvang mee te nemen (zie afb. 3). Doordat het mogelijk was met een grof netwerk te volstaan, duurt een berekening niet meer dan een minuut.
De resultaten van de berekening zijn in afb. 4 gegeven. Voor de analyse van de gevoeligheid van de volumestroom voor de radius van de buitenrand van het model zijn geen extra berekeningen nodig, aangezien het probleem nu kan worden samengesteld uit de berekende situatie en een eenvoudige radiale stroming daarbuiten.

Tenslotte enkele afsluitende opmerkingen naar aanleiding van het artikel van Timmer en Roelofs:
Op grond van het superpositiebeginsel bepaalt uitsluitend de ligging van de gebiedsrand de te onttrekken volumestroom. Neerslag noch waterscheiding hebben daar mijns inziens iets mee te maken. Zijn er in de wijde omtrek geen randen te vinden, dan is het vraagstuk in essentie instationair; ook dan speelt de neerslag geen rol.
Het begrip 'driedimensionaal' dient mijns inziens te worden gereserveerd voor de situatie waarin elk punt door 3 onafhankelijke coördinaten wordt vastgelegd. Een quasi-driedimensionaal model is een n-lagen model. In zo'n model is elke laag op zichzelf tweedimensionaal (heeft alleen x,y-coördinaten), terwijl de vrijheid van de z-coördinaat beperkt is tot de nummers van de lagen in het model. Deze begrippen zijn bij Timmer en Roelofs niet van toepassing, en onnodig voor berekening van 'invloed van grondwateraanvulling'. Wat betreft het tweede voorbeeld, het Engelse Werk, met de scheefgestelde kleilaag, blijft te bewijzen dat de stroming in de gekozen sector inderdaad radiaal symmetrisch en dus toepasbaar is.

Wat betreft de rekentijden zij opgemerkt dat niet elk spreadsheet automatisch van een eventueel aanwezige coprocessor gebruik maakt. Naar mijn weten doen alleen de nieuwe versies van Lotus en Symphony dat. Het is goed om dit voor uw spreadsheet te verifiëren alvorens voor dit doel zo'n coprocessor aan te schaffen.
De rekentijd hangt daarnaast sterk af van de machine, dat wil zeggen de processor waarop zij is gebaseerd. Systemen gebaseerd op een 8086-processor zijn in de regel ongeveer twee keer zo snel als die met een 8088 (IBM-PC) en twee keer zo traag als 80286 machines (IBM-AT). De op de 80386-chip gebaseerde systemen, als de Compaq-386, zijn ruim 20 keer zo snel als een standaard IBM-PC en ongeveer drie keer zo snel als een IBM-AT. Zij geven de capaciteit van een minicomputer tegen de prijs van een micro.
Rekentijden zijn dus gedeeltelijk een hardware-kwestie. Hiernaast wordt de grootste winst ontegenzeggelijk behaald door de omvang van het probleem zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld op de wijze die hiervoor is gedemonstreerd aan de hand van de damwandlekkage.

**Verantwoording**
Dit artikel valt onder persoonlijke verantwoording van de auteur.

**Referenties**
Kono, I. (1972). *The Area of Pumping Site of Groundwater in Numerical Method.* TH-Delft, University Soil Mechanics Laboratory, Delft, april, 10 pp.
Olsthoorn, T. N. (1984). *Modelleren zonder speciale programma's, de kracht van het elektronische werkblad.* $H_2O$ (17) 1984, nr. 3.
Olsthoorn, T. N. (1982). *Anisotropie een verwaarloosd verschijnsel bij grondwatervraagstukken.* $H_2O$ (15) 1982, nr. 11, p. 262-267.
Timmer, J. L. en Roelofs, H. (1987). *Het simuleren van grondwatervraagstukken met spreadsheet; enkele voorbeelden.* $H_2O$ (20) 1987, nr. 3, p. 58-62.

● ● ●

## IWSA-symposium en tentoonstelling 'Water 2000' ter gelegenheid van 40-jarig bestaan

'Watertechnologie in de toekomst' is het thema van 'Water 2000'-symposium en tentoonstelling die in september 1987 in Nice wordt gehouden als een van de activiteiten ter viering van het 40-jarig bestaan van de International Water Supply Association.
Doel van 'Water 2000' is aandacht te schenken aan technische ontwikkelingen, relevant zowel voor de toekomstige behoeften van de traditionele drinkwatervoorziening als voor (proceswater)toepassingen in gespecialiseerde takken van industrie (landbouw, electronica, kernenergie, medische en farmaceutische industrie en voedingsmiddelen).
'Water 2000' stelt managers en technici in staat hun behoeften voor de komende eeuw te formuleren en de in ontwikkeling zijnde nieuwe technologieën en hun betekenis voor de toekomstige bedrijfspraktijk te bespreken.
Het symposiumprogramma zal bijdragen bevatten over management en automatisering, expert systems, automatische meteraflezing, strategieën voor onderzoek en ontwikkeling, vernieuwingen in de technologie, nieuwe trends in waterbehandeling, distributienetwerken en bouwkundige aspecten.
De tentoonstelling zal aan een breed scala van bedrijven, researchinstituten, universiteiten en overeenkomstige organisaties gelegenheid bieden zich te presenteren.
Om het 40-jarig jubileum van de IWSA te benadrukken krijgen deelnemers met een leeftijd onder de 40 jaar een korting op de deelnameprijs.
'Water 2000' vindt plaats in het Palais des Expositions te Nice, Frankrijk, van 8 tot 11 september 1987.
Voor meer informatie:
Symposium Secretariaat, Eau/Water 2000, c/o International Water Supply Association IWSA, 1, Queen Anne's Gate, London SW1H 9BT.
Tel: (1)222 8111, Telex: 918518.