
Opinie

Analytische elementen tegen MODFLOW: de grondwaterversie van Apple tegen Microsoft

De analytische-elementenmethode stond in Nederland jarenlang synoniem voor het Nationale GRondwaterModel van RIZA. Vandaar wellicht de uitspraak van Joost Heijkers in de redactioneel van STROMINGEN, jrg 11, nr 4: “aan het grootschalige gebruik van de analytische elementen methode komt wellicht een einde” daar “het voortbestaan van NAGROM op zijn minst twijfelachtig” is. Om met Mark Twain te spreken: “Reports of my death have been greatly exaggerated”. De analytische-elementenmethode is springlevend en staat ons inziens aan het begin van een grote bloeiperiode.

Een vergelijking zou gemaakt kunnen worden met de situatie tussen Apple-computers en personal computers (PC's) met Microsoft-besturingssystemen. In de jaren '80 kwam Apple met een revolutionair besturingssysteem, inclusief geweldige *graphics* en aansturing met een muis, terwijl het op een PC nog behelpen was met het primitieve DOS, ook wel Dumb Operating System genoemd. In de grondwater-

wereld waren er eind jaren '80 de analytische-elementenprogramma's SLAEM en MLAEM, waarmee je op relatief eenvoudige wijze grondwatermodellen kon maken die geen rekengrid (van rechthoekjes of driehoekjes) vereiste. Je kon zelfs door het intypen van eenvoudige commando's stroomlijnen interactief en in kleur op een tweede monitor tevoorschijn toveren. MODFLOW verscheen ook eind jaren '80, maar het was nog behelpen met het handmatig genereren van ASCII-bestanden met waarden voor alle gridcellen, en met het interpreteren van de resultaten.

Eind jaren '80 en begin jaren '90 kopieerde Microsoft het besturingssysteem van Apple en veroverde door slimme marketingstrategieën (en met, hoewel betwistbaar, een inferieur product) in snel tempo de computerwereld. Intussen ging het niet goed met Apple. Weinig tot geen innovatie leidde er toe dat in 1997 de aandelenprijs tot ruim onder de 20 dollar daalde (hij staat nu rond de 75 dollar maar is sinds 1997 al twee keer gesplitst, dus eigenlijk is de waarde nu \$ 300). In de grondwaterwereld zaten de ontwikkelaars voor MODFLOW ook niet stil. Mooie graphische schillen werden ontwikkeld die onder Windows draaiden, hetgeen het genereren van grids en de bijbehorende data sterk vereenvoudigde. Ook het interac-

tief berekenen en weergeven van stroomlijnen is onder Windows niet moeilijk meer. In de tussentijd was er niet genoeg vooruitgang in de analytische-elementenwereld om de numerieke methoden een stapje voor te blijven, hetgeen eind 2005 leidde tot de hiervóór aangehaalde uitspraak van Joost Heijkers in STROMINGEN.

Na de bijna-ongedrag van Apple eind jaren '90, werd er een inhaalslag gemaakt. De ontwikkeling van Apples MacOS X resulteerde in een ongekend robuust en veilig besturingssysteem met prachtige *graphics* en vernuftige features. Nieuwe, obsceen mooie computers, beeldschermen en laptops volgden elkaar in snel tempo op, bijgestaan door sublieme uitvindingen zoals Airport – om over de ontwikkeling van de iPod nog maar te zwijgen. Apple staat weer een paar (grote) stappen voor op Microsoft, hetgeen op hilarische wijze onderstreept werd in een filmpje waarin Bill Gates te horen is in een keynote toespraak tijdens de Consumer Electronics Show in 2006. In de keynote demonstreerde Gates de nieuwe mogelijkheden van Windows Vista (de opvolger van XP). Hoewel je de stem van Gates hoort, zie je in het filmpje beelden van het Apple-besturingssysteem waar deze snuffjes allang in beschikbaar zijn.¹

Maar hoe zit het dan met de analytische-elementenmethode? Ook hier is niet stil gezeten. Zo zijn er algoritmes ontwikkeld voor de uiterst nauwkeurig berekening van 3D grondwaterstroming door een medium met honderdduizenden ellipsoïde inhomogeniteiten (3D ellipsen met een random gekozen doorlatendheid), die gebruikt worden voor het testen van theorieën voor het beschrijven van de verspreiding van verontreinigingen in heterogene pakketten. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Igor Janovic e.a. aan de universiteit van Buffalo,

New York.² Ook heeft Igor een analytische-elementenprogramma ontwikkeld voor de nauwkeurige berekening van stationaire stroming door een enkele laag. Dit programma, Split, is gratis beschikbaar en er is ook een fraaie grafische schil beschikbaar.³

Daarnaast zijn er nieuwe elementen ontwikkeld voor het modelleren van stroming in de onverzadigde zone. Hiermee kunnen inhomogeniteiten met verschillende grondsoorten nauwkeurig gemodelleerd worden (zie de artikelen van Bakker en Nieber, <http://www.engr.uga.edu/~mbakker/publications.html>). Het nauwkeurig modelleren van stroming rond inhomogeniteiten in de onverzadigde zone is, numeriek gezien, een stuk moeilijker dan in de verzadigde zone, hetgeen overduidelijk naar voren kwam toen nauwkeurige analytische-elementoplossingen (tot de precisie van de computer) vergeleken werden met eindige-elementoplossingen.

Er zijn nog verschillende andere ontwikkelingen gaande, door andere onderzoekers, maar laten we terugkeren naar de stroming in meerlagensystemen, die ook met MODFLOW gemodelleerd kan worden. In de laatste jaren is er een geheel nieuwe analytische-elementenformulering ontwikkeld voor meerlagenstroming, die de meerlagen-theorie van Kick Hemker⁴ combineert met nieuwe analytische elementen. Dit is een echte analytische-elementenformulering, en dus kunnen stijghoogtes en snelheden analytisch berekend worden op elk punt in

¹ Zie <http://maclive.net/sid/134>.

² Voor een lijst met artikelen zie <http://www.groundwater.buffalo.edu/faculty/igor/igor.htm>.

³ Zie <http://www.groundwater.buffalo.edu/software/VBB/VBBMain.htm>.

⁴ Kick Hemker (1984) Steady groundwater flow in leaky multiple-aquifer systems; in: *Journal of Hydrology*, vol 72, pag 355–374.

het meerlagensysteem. Er zijn vier belangrijke praktische voordelen aan het gebruik van analytische elementen. Ten eerste heb je geen grid van vierkantjes of driehoekjes nodig. Sommige lezers kunnen zich wellicht de *meshes* van area-sinks herinneren die in MLAEM nodig waren voor het modelleren van de verticale interactie tussen pakketten. Deze meshes zijn voltooid verleden tijd. Ten tweede hoeft er geen gesloten rand om je modelgebied te liggen. Dus het is niet nodig om randvoorwaarden te verzinnen langs modelranden die niet langs een stroompje of kanaaltje lopen, hetgeen in de diepere pakketten alle randen zijn. Ten derde kunnen putten en riviertjes, maar ook bijvoorbeeld alle slootjes in een poldergebied, zo uit een GIS gehaald worden en in het model gestopt worden, zonder dat ze omgevormd moeten worden naar een rechthoekig grid. En tot slot blijkt het modelleren met analytische elementen inzichtelijk te werken, daar elk analytisch element een

geohydrologische *feature* voorstelt, zoals een put, rivier, meer, breukrand, of een verandering in de geologie.

Deze analytische-elementenformulering voor meerlagenstroming is geïmplementeerd in het programma *Tim*^{ML}, dat gratis is te downloaden van www.engr.uga.edu/~mbakker/timml.html. Helaas is er nog geen grafische schil, maar het aansturen vanuit een GIS is een eitje, daar het programma geschreven is in de programmeertaal Python (waarover al eerder in STROMINGEN, jrg 8, nr 4 geschreven is). En, jawel, *Tim*^{ML} draait ook op een Mac!

Mark Bakker

Water Resources Section
Civiele Techniek en Geowetenschappen
TU Delft
E-mail: markbak@gmail.com.