
Bijeenkomst

Hydrologische avonturen in Tsjechië

Van 13 tot en met 16 september is in Tsjechië in het beroemde Carlsbad, tegenwoordig Karlovary Vary genaamd, de FEM_MODFLOW-conferentie gehouden. De week ervoor werd in Praag de gelegenheid geboden tot het volgen van een cursus modellering van grondwaterstromingen. Een reconstructie van de cursus en het congres door uw verslaggevers ter plaatse...

PRAAG

De cursus aan de Universiteit van Praag was vooral gericht op het transport van vervuiling. Hiervoor werden MODFLOW-2000 en MT3DMS ingezet. Verder was er aandacht voor gevoeligheidsanalyses, het verzamelen of afschatten van de benodigde gegevens, kalibratie en wat er komt kijken bij een evaluatie van onzekerheden in een model. De begeleiding was in handen van de Mary C. Hill en Chunmiao Zheng. Beiden zijn met betrekking tot dit onderwerp vooraanstaande vakgenoten en de cursus werd dan ook professioneel en bovenal heel enthousiast gegeven.

De *Universita Karlova* is in de veertiende eeuw door koning Karel IV gesticht. De cursusruimte bevond zich in een middeleeuws labyrint van gebouwen, steegjes, poorten en trappen in het centrum van de stad. Het werkt inspirerend als je in een dergelijke historische omgeving je werk mag doen.

Doordat ik (Frank) drie dagen te vroeg aankwam was er ook de gelegenheid om Praag te bekijken. Ik was al van alle kanten gewaarschuwd, maar toch overviel het me. De stad van de honderd klokkentorens behoort inderdaad tot de mooiste steden van Europa. Goethe schreef het al: "Praag,

een kostbare parel aan de kroon van de aarde...". Geen woord teveel.

In het stadhuis was een indrukwekkende tentoonstelling over de piekafvoer van de rivier de Vlatava (Moldau) in augustus 2002. Een groot deel van de oude binnenstad kwam toen onder water te staan, de tunnels van de metro liepen vol en ongeveer 60.000 bewoners moesten worden geëvacueerd. Op dit moment is de waterschade aan de meeste gebouwen hersteld en wordt er onder andere een demontabele hoogwaterkering aangelegd. Op een vaste fundering van staal en beton kunnen bij een dreigend hoogwater frames worden gezet, waartussen aluminium panelen worden geschoven. Deze waterdichte kering kan tot enkele meters hoog worden opgebouwd. Misschien ook voor sommige dijkvakken in Nederland een oplossing, bijvoorbeeld voor het knelpunt Deventer?

In 2006 hoopt men klaar te zijn met de aanleg van de bescherming tegen hoogwater. De herhalingstijd van de overstromingen die het systeem moet kunnen keren is 500 jaar, naar schatting ongeveer gelijk aan de herhalingstijd van de overstroming van 2002. Gezien de doorlooptijd van sommige projecten in Nederland met betrekking tot hoogwaterbescherming, mogen de resultaten van onze Tsjechische collega's best met respect worden bekeken.

Bij het bezoeken van meerdere monumentale gebouwen in het centrum, bleek dat Praag in het verleden al vaker te kampen heeft gehad met hoogwater. Aan het begin van de Middeleeuwen is de stad langs de rivier om die reden integraal één verdieping opgehoogd; de toenmalige begane grond werd daarmee het huidige kelderniveau. Elke tijd heeft zo zijn eigen technische oplossingen voor min of meer dezelfde problemen.

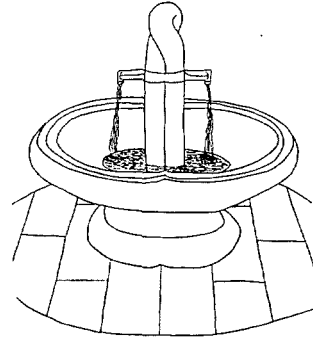
KARLOVY VARY

Een beroemd kuuroord

De FEM_MODFLOW-conferentie werd gehouden in Grand Hotel Pupp in Karlovy Vary. Dit stadje is een van oudsher vermaard kuuroord in het westen van Tsjechië, aan de rand van het Eertsgebergte. Twaalf thermale bronnen ontspringen in deze stad. De bronnen bevinden zich in en nabij monumentale colonnades en hebben elk een constant debiet van 1,5 tot 5,5 liter per minuut, met een constante watertemperatuur van 39,6 tot 63,8 °C. Met uitzondering van de zogenaamde hete bron of *Sprudel*, die heeft een debiet van 2000 liter per minuut en een watertemperatuur van 73,0 °C. Eigenlijk lijkt dit meer op een geiser, het water spuit tot veertien meter hoog. Deze bron is gecapteerd met vier verticale pijpen van 44 tot 88 meter.

Het water uit de *Sprudel* wordt op de rivier geloosd. Zeker 's ochtends vroeg is dat een fraai gezicht, met een dampende rivier. Bij de monding van de bron in de rivier weet een kleurrijke populatie algen zich te handhaven en wordt ook een soort travertijn-bank afgezet door mineralen die neerslaan. Dit proces is al eeuwen aan de gang en een deel van Karlovy Vary is op deze afzetting gebouwd. Een klassiek souvenir-tje uit Karlovy Vary is een roos die een poosje in dit uittredende water is gehangen en dientengevolge is versteend.

Het water uit de bronnen wordt door de kuurgasten niet alleen gebruikt om in te baden, maar vooral om te drinken. Dit ter genezing of voorkoming van allerhande problemen aangaande de spijsvertering. De kuurgasten trekken een aantal keren per dag met een speciaal kannetje langs alle bronnen.



Figuur: De bron van koning Wenceslas.

Onderwerpen van de conferentie

Op de conferentie, met als officiële titel *Finite Element Models, MODFLOW and more: solving groundwater problems*, werden gedurende vier dagen bij elkaar iets van 80 mondelinge presentaties van 15 of 25 minuten gegeven en zijn er ongeveer evenzoveel posters opgehangen. De onderwerpen staan in onderstaand overzicht:

- 1 modeling approaches, concepts and numerical techniques
- 2 systematic approach to groundwater modeling: formalized frameworks, guidelines and structural quality assurance
- 3 conceptual models
- 4 calibration, parameter estimation and model output uncertainty
- 5 solute transport modeling and groundwater quality (including nonlinear coupled flow, density effects and hydrogeochemical processes)
- 6 coupled/combined modeling of unsaturated, saturated and surface water; groundwater recharge estimation
- 7 remediation, remediation design optimization, risk-based decision-making, natural attenuation and source reconstruction
- 8 groundwater management, water resources management, groundwater protection

9 large-scale groundwater modeling and examples of other typical model applications
10 software developments and improvements

We bespreken een arbitraire selectie van opmerkelijke bijdragen en wat ons verder opviel.

Integrale modellen

Verscheidene bijdragen demonstreerden het toenemend gebruik van grootschalige modellen, waarin oppervlaktewater en grondwater als één geheel worden gemodelleerd, of modellen waarmee grondwater, temperatuur en veranderingen van de gesteenten gelijktijdig worden meegenomen. Deze aanpak zorgt in elk geval voor consistentie van de totale waterbalans. Het levert een goede over- en weer controle op, aangezien tenminste het gemodelleerde oppervlaktewater in stand en afvoer, dat nu geen randvoorwaarde is, maar deelneemt in het model, gemakkelijk in de praktijk te zien en te controleren is. Vooral bij modellen op zeer grote schaal kan dit zijn nut bewijzen. Een probleem is veelal de kalibratie, omdat het huidige systeem ver afwijkt van het natuurlijke systeem en het totale waterverbruik een groot deel van de hydrologische kringloop kan beslaan, maar tegelijk nauwelijks bekend is hoeveel water waar precies wordt gewonnen. Succesvolle analyse blijkt vaak alleen mogelijk door gedegen historisch onderzoek, zoals door Blanford (Daniel B. Stephens & Associate, USA) voor de Great Planes, waarbij gebruik wordt gemaakt van oorspronkelijke bronnen en rivierlopen voordat zij droogvielen door de grondwaterwinning. Blanford liet zien hoezeer de huidige verdeling van de grootschalige onttrekking aan de Great Planes Aquifer, ook wel aangeduid als de broodmand van de wereld, samenhangt met

de verdeling van ondergrondse geulstructuren in de basis van de aquifer. Een ander voorbeeld was de modellering van geheel Brabant, gepresenteerd door Te Stroet (TNO-NITG).

Zeer complexe 3D-modellen blijken toegepast toe te worden in verband met bodemgebruik dat met aanzienlijke temperatuurveranderingen gepaard gaat, zoals opslag van radioactief afval, opslag en onttrekking van warmte (Kolditz, Universiteit van Tübingen, Duitsland). Bij dergelijk gebruik ontstaan spanningen in het gesteente, wijzigt permeabiliteit, veranderen de eigenschappen van scheuren en verandert de dichtheid van het water. Daarnaast versnellen en veranderen chemische processen in de bodem.

Uiteraard vergen deze modellen het nodige van de numerieke oplossingsmethoden. De laatste jaren krijgt de algebraïsche multigrid-methode veel aandacht. Deze blijkt bij zeer grote systemen tot enkele orders sneller te kunnen zijn dan zijn concurrenten. Helaas is de multigrid-oplosser, die twee jaar geleden nog gratis bij MODFLOW zat, tegenwoordig alleen commercieel verkrijgbaar. Het zou in het belang van de vooruitgang fijn zijn als bijvoorbeeld een universiteit dit zou kunnen doorbreken.

Modeling guidelines

Uitgebreid kwamen de *Groundwater Modeling Guidelines* aan de orde zoals die momenteel bestaan in de Groot-Britannië, Duitsland, Australië en de USA. Tijdens de paneldiscussie bleek dat velen bevreesd zijn dat de richtlijnen te snel tot verplichte norm zullen worden verheven. En inderdaad, hoewel niet de bedoeling, is dit in de praktijk wel het geval. Mary Hill (USGS, USA) vroeg zich af of het vakgebied er al rijp voor was. Er bestaat onder de vakgenoten een grote terughoudendheid ten aanzien van verplichte richtlijnen, maar men beseft

ook dat zonder richtlijnen de overheid soms zelf ingrijpt en met deels onzinnige voorschriften komt (Frind, Universiteit van Waterloo, Canada). Het is zinvol om richtlijnen op papier te hebben, zeker voor beginnende modelleurs, echter het verplicht stellen om de richtlijnen te volgen werkt eerder averechts omdat veel modelstudies een uniek karakter hebben. Wel werd een positieve invloed verwacht als modelstudies door een team van deskundigen zou worden begeleid, zodat de uitkomsten op een of andere manier, als in een *peer-review*, getoetst worden. Hier moet echter tijd en budget voor worden vrijgemaakt.

Opvallend waren de verschillende accenten:

In Groot-Brittannië (Hulme, Environmental Agency Science Group, UK) heeft men zich bijvoorbeeld eerst geworpen op een evaluatie van 35 grote bestaande modellen die voor de autoriteiten in het verleden zijn gemaakt. Het blijkt dat maar 4 daarvan daadwerkelijk nu nog worden ingezet en dat een groot deel zelfs helemaal nooit is gebruikt, wegens een te geringe betrouwbaarheid in de ogen van de opdrachtgevers. Tal van inconsistenties werden in de modellen ontdekt en aspecten waarvan men dacht dat deze in het model zaten, bleken nogal eens afwezig. Een en ander was veelal terug te voeren op een gebrekkige documentatie. Sinds de *guidelines* er zijn, staat de kwaliteit hoog in het vaandel, maar zijn de modelstudies wel vijfmaal zo duur geworden.

De Duitse *Richtlijnen* (Riegger, Universiteit van Stuttgart, Duitsland) leggen de nadruk op consistentie van het conceptuele model alvorens een numeriek model in elkaar wordt gezet. De structuur van het model wordt belangrijker geacht dan de parameters en hun numerieke waarden. Dit heeft al geleid tot belangrijke wijzigingen in de grootschalige modellering van Noord-Beieren.

De Australische *Guidelines* (Middlemis, Aquaterra, Australië) zijn inmiddels in

Australië breed geaccepteerd als *best practices*. De nadruk ligt hier op reviews in diverse fasen van het project door deskundige buitenstaanders. Een ander aspect en specifieke doelstelling is het bij de aanvang van een project vastleggen van de focus van het modelonderzoek, zodat opdrachtgever, opdrachtnemer en reviewers weten wat de eisen en de grenzen van het modelonderzoek zijn. Grote nadruk ligt ook op een evaluatie achteraf.

Moeilijkheden ontstaan wanneer wettelijke of juridische aansprakelijkheid aan de *Guidelines* wordt gekoppeld (Ahlfeld, Universiteit van Massachusetts, USA). Een probleem dat typisch is voor de Amerikaanse situatie. Het Nederlandse *Good Modeling Practice* werd alleen in de marge genoemd, maar naar het Europese Harmoniqua project zal nog worden gekeken door Middlemis, die momenteel de *guidelines* van de verschillende landen inventariseert.

Conceptuele modellen

Wellicht het meest opvallende tijdens deze conferentie is de plotselinge aandacht voor de beoordeling van verschillende modelstructuren. De vraag is hoe je beoordeelt welke van de verschillende mogelijke modellen van een gebied het beste is. Als een extra parameter in het model wordt meegenomen en de fit wordt daardoor beter, heb ik dan inderdaad een beter model gekregen, of is dit slechts schijn? Het is duidelijk dat je dit zonder adequate statistiek niet kunt beoordelen. De kennis van dit moment is dat je elk model op elke dataset kunt fitten, mits je maar voldoende parameters en dus vrijheidsgraden hebt. Met het toenemen van het aantal parameters wordt de betrouwbaarheid waarmee je deze parameters kunt kalibreren echter kleiner en op een gegeven moment is het inverse model niet meer uniek, zodat er in principe oneindig veel combinaties van de gekozen

parameters zijn die statistisch hetzelfde resultaat opleveren. Het doel van een kalibratie is om de beste fit te krijgen met het minst mogelijk aantal parameters. De diverse beoordelingscriteria die hiervoor bestaan geven dan ook strafpunten voor een groter aantal parameters.

Op de MODFLOW-conferentie in Golden in 2003, hield bioloog David Anderson een voordracht getiteld *Multimodel Inference Based on Kullback-Leibler Information*. Het Kullback-Leibler criterium uit 1951, meet de afstand tussen het 'ware model' en andere modellen. Hoewel het ware model niet bekend is, levert dit criterium wel de mogelijkheid op om modellen op volgorde te plaatsen en objectief het beste model te kiezen. Hoewel de voordracht werd gehouden door een bioloog en de theorie al enkele tientallen jaren oud was, ging er toch een lichte schok van herkenning door de zaal. Nu, 2 jaar later, zien we in Karlovy Vary ineens een reeks papers die zich geheel op dit terrein gestort hebben. Het gaat vanaf nu niet meer om het kalibreren van dat ene model dat je zo zorgvuldig hebt gebouwd, maar om de vraag of dit wel het beste model is, dat wil zeggen het model dat de beste voorspellingen levert! Belangrijk is dat het model met de beste kalibratie niet noodzakelijkerwijs het model is dat de beste voorspelling geeft. Je moet dus niet alle mogelijke modellen met een lagere plaats in de rangorde weggooien ten gunste het model dat als beste uit de kalibratie kwam, maar ze wegen naar de mate waarin het model door de gegevens wordt gedragen. Vervolgens worden voorspellingen gedaan met alle modellen en worden de uitkomsten naar rato van de voornoemde gewichten gemiddeld. Dit levert een betrouwbaarheidsinterval op.

Poeter (Colorado School of Mines, USA) kondigde in haar voordracht de straks voor ieder gratis beschikbare Jupiter programmatuur aan die momenteel door USGS en EPA wordt ontwikkeld om deze simultane

analyse van meerdere conceptuele modellen mogelijk te maken. Centraal staat het identificeren van de modelstructuur en het bepalen van het model waarvan de structuur het eenvoudigst is, maar waarmee nog steeds betrouwbaar kan worden voorspeld. Een en ander neemt niet weg dat het heel goed mogelijk is dat wezenlijke processen in het model ontbreken. Hierop moet men bedacht blijven.

Grondwaterkwaliteit

Chunmiao Zheng (Universiteit van Alabama, USA) presenteerde de resultaten van 20 jaar onderzoek naar het gedrag van verontreinigende stoffen op de zogenaamde Made-site, een vliegveld in de Verenigde Staten met een sterk heterogeen fluviatiel pakket. De modellering van het verloop van de op honderden plaatsen in de afgelopen 20 jaar gemeten concentraties bleef lange tijd nagenoeg onmogelijk. Tegenwoordig kan het verloop in de tijd en ruimte met *dual porosity* behoorlijk worden gesimuleerd, maar veel blijft toch onzeker. Ruim 3000 in het veld gestoken monsters blijken onvoldoende om de pluim goed te kunnen karakteriseren. Ook Sudicky (Universiteit van Waterloo, Canada) houdt zich bezig met het reconstrueren van pluimen van verontreinigingen. Hij construeerde een geologisch model op basis van metingen van de doorlatendheid op 268.000 punten in de wand van een droge zandgroeve in Zuid-Duitsland. Uit de vergelijking van verschillende statistische methoden om het totale doorlatendheidsbeeld te reconstrueren, blijkt dat het doorgaans gebruikte kriging het beeld teveel versmeert en daardoor tot verkeerde conclusies leidt. Markov ketens, met een daaraan gekoppelde formele opschaling presteren een stuk beter.

Dat stochastiek bij transport essentieel is, werd getoond door Sykes (Universiteit van Waterloo, Canada). Met het meenemen

van stochastiek bleek de berekende verontreiniging ook daadwerkelijk de putten te bereiken waarin vervuiling was geconstateerd. Bij aanname van alleen maar advectie werden deze putten door de vervuiling gepasseerd. Dit impliceert ook een grotere kans op waarneming van een verontreiniging in waarnemingsputten.

Interessant in dit geheel zijn de grondwaterwervels van Kick Hemker (Vrije Universiteit Amsterdam), zoals onlangs in Stromingen is verschenen. Na afloop gaf dit een behoorlijke discussie. Het is een van de meest intrigerende onderwerpen van de conferentie, in die zin dat het een volstrekt andere kijk geeft op dispersie. De wervels kunnen immers makkelijker dan ooit gedacht deeltjes over grote afstanden bij elkaar brengen. Frappant was Kick's verhaal in de wandelgangen over de moeite die het hem heeft gekost de reviewers van Groundwater te overtuigen zijn artikel te plaatsen, terwijl het verhaal toch volstrekt helder is en er nauwelijks twijfel over kan bestaan dat de ondergrond op allerlei schalen anisotroop is en zo de wervels kan veroorzaken. Het zijn overigens geen echte wervels maar stroompatronen die ontstaan door combinatie van heterogeniteit en anisotropie. Mogelijk moet de Made-site van Zheng opnieuw worden bekeken door de bril van de wervels. Hij zou erover nadenken. Nog een tip van Zeng: "Mocht U voor uw eigen werkzaamheden op zoek zijn naar een onbemeten en verder maagdelijke pluim van verontreinigingen, dan volstaat een telefoontje naar de U.S. Airforce".

Een steeds terugkerend onderwerp is het ondergrondse lot van DNAPLs (Dense Non Aqueous Phase Liquids) als tri- en tetrachooretheen. Het transport is en blijft grillig en bijzonder moeilijk voorspelbaar wegens de grote invloed van de heterogeniteit en gelaagdheid die de DNAPL tegenkomt op zijn weg door het grondwater naar de basis van het pakket. Op tal van plekken met een contrast in doorlatendheden, blijft

een gedeelte van de DNAPLs achter door oppervlaktespanningen tussen de fasen en zal van daaruit jarenlang het grondwater belasten door geleidelijke oplossing. De statistiek van de "architectuur van de bodem" is nodig voor een zinvolle modellering.

Het is soms een verademing om tussen al dat numerieke geweld ook nog wat analoge modellering te zien. Oswald (Centre for Environmental Research UFZ Leipzig-Halle, Duitsland) presenteerde een onderzoek met een MRI-scanner zoals in het ziekenhuis. Het is daarmee mogelijk om op de schaal van een kubus van 20x20x20 cm zoet-zout stroming na te bootsen en uiterst gedetailleerd in de tijd de verplaatsing van het zoute water te meten. Hiermee komt eindelijk gemeten informatie beschikbaar om numerieke modellen te testen. Tot nu toe kunnen dergelijk modellen veelal alleen vergeleken worden met andere numerieke modellen, eenvoudig omdat er geen manier was om voldoende adequate metingen te verkrijgen. De methode bestaat al enkele jaren, maar wordt nu gebruikt om het ontstaan en de ontwikkeling van complexe vingerpatronen te onderzoeken als zout water zich boven zoet water bevindt, iets dat om diverse redenen, zoals gekoppelde, niet-lineaire stroming en transport, numeriek moeilijk simuleerbaar is en onzeker bij gebrek aan experimentele data ter vergelijking. Kortom, een hele aanwinst.

Naast transport zijn natuurlijk ook de veranderingen van belang die de verontreinigingen ondergaan. Hiernaar wordt door onder andere Hyndman (Michigan State Universiteit, USA) uitgebreid geohydrochemisch en bacterieel onderzoek uitgevoerd, waaruit onder meer is gebleken dat bacteriën die grotendeels verantwoordelijk zijn voor de waargenomen veranderingen, zeer stevig aan de korrels gehecht zijn, waardoor deze veranderingen sterk plaatsgebonden zijn.

Harvey (MIT, USA) presenteerde zijn

onderzoek naar het raadsel van de hoge concentraties arseen in het grondwater in Bangladesh. De bevolking is de afgelopen dertig jaar nagenoeg geheel overgeschakeld op grondwater, maar dat blijkt in miljoenen putten arseen te bevatten, met bijzonder nare gevolgen voor tal van mensen. Er is al veel onderzoek verricht, maar tot op heden bleef het onduidelijk waar de hoge concentraties vandaan komen, concentraties die bovendien op slechts enkele meters afstand sterk van elkaar kunnen verschillen. De oorzaak lijkt nu te liggen in de grote wijziging van het landgebruik die samen ging met de beschikbaarheid van grondwater voor bevloeiing. Tegenwoordig staan de velden ook in de droge periode onder water voor de rijstteelt. De grondwateronttrekking die hiervoor nodig is, met alle individuele irrigatieputjes, veroorzaakt een intensieve infiltratie in een uiterst complex stromingspatroon. De oxidatie van organisch stof is hierdoor verveelvoudigd ten opzichte van de situatie van voor de irrigatie-revolutie. De redenering is dat deze oxidatie het arseen mobiel maakt. Er is veel meer over te zeggen, maar in elk geval lijkt het oplossen van arseen hier een nevenverschijnsel van de grondwaterwinning en irrigatie zelf. Terugdraaien is bijkans onmogelijk; het land is dankzij de irrigatie intussen zelfvoorzienend op voedselgebied. Harvey zag echter wel een mogelijke oplossing. Door specifiek voor de kleine hoeveelheid die voor drinkwater nodig is, diepe putten te maken, die lager liggen dan de door de irrigatie opgewekte stromingspatronen, blijft het drinkwater mogelijk vrij van arseen. Zolang echter onduidelijkheid bestaat over de exacte oorzaak en herkomst van het arseen, is er geen garantie voor een goede afloop. Een filmpje liet zien hoe de mensen in Bangladesh zonder machines maar met heel veel mankracht tot wel 130 meter kunnen boren.

Overexploitatie en ecologische draagkracht

Terwijl wij in alle rust in Tsjechië confererden over ingewikkelde stroompatronen en modellen, gaat de wereldwijde overexploitatie van het grondwater gewoon door. Uit de bijdrage van Wolfgang Kinzelbach (Institute of Hydromechanics & Water Resources Management, ETHZ, Zwitserland) bleek dat sinds kort ook de Gele Rivier in China, door overvloedige onttrekking voor irrigatie, de laatste jaren over circa honderd kilometer gedurende een kwart van het jaar volkomen droog staat. Er zijn steeds meer rivieren die tegenwoordig een deel van de tijd droog vallen door onttrekking van grondwater. Grote delen van de wereld zijn de afgelopen 30 jaar overgestapt op grondwater. Dit werd mogelijk dankzij goedkopere boormethoden, pompen en elektriciteit. Irrigatie zonder grondwater is niet meer denkbaar en zou ten koste gaan van een substantieel deel van 's werelds voedselproductie. De duurzaamheid is echter ver te zoeken; aquifers raken uitgeput en minimaal een kwart van het wereldwijd gewonnen grondwater wordt niet aangevuld. Ook de natuur heeft het zwaar. Sinds 1900 is 50% van de wetlands verloren gegaan. In Tunesië zijn inmiddels de meeste bronnen drooggevallen en er is daar ook sprake van 'stervende oases'. De meeste oases zullen voor 2050 zonder water komen te zitten, omdat dan de stijghoogte in de eens artesische bronnen is weggezakt tot 200 meter beneden maaiveld, waardoor het pompen economisch niet meer haalbaar zal zijn.

Florida is juist heel nat, maar heeft volgens Gorelick (Stanford Universiteit, USA) evenzeer een waterprobleem. Het land is vlak en wordt gekenmerkt door duizenden meertjes en poelen met subtropische flora en fauna. Al deze poelen staan in directe verbinding met het eronder gelegen Floridan aquifer. Grondwaterwinning in dit verkarste aquifer leidt direct tot verlaging

van het peil in het oppervlaktewater. Tampa Bay Water heeft door zijn enorme watervraag al tal van poelen droog laten vallen, tot woede van grote groepen natuurliefhebbers en mensen die dachten aan een fraaie plas met alligators te wonen. Na een grote maatschappelijke discussie gedurende de afgelopen 10 jaar, zijn uiteindelijke stevige maatregelen genomen. Uitgezocht is wat de ecologische draagkracht van het systeem is en tussen welke hoogten de waterspiegel zich mag bewegen. Met een complex optimalisatiesysteem wordt nu de onttrekking afwisselend in de tijd verdeeld over de beschikbare pompstations, zodat de negatieve effecten zo gering mogelijk zijn. Het helpt, maar of dit afdoende zal zijn, is zeer de vraag.

Voor Tunesië is het voorstel van Kinzelbach om de onttrekking eveneens zodanig in de ruimte te spreiden zodat de zakkings worden geminimaliseerd en tegelijkertijd ook de kosten van pompen en transport zo klein mogelijk worden gehouden. Het is echter duidelijk dat uiteindelijk alleen beheersing van de vraag naar water een uitweg kan bieden. Deze optimalisatie is hoogstens tijdelijk. De techniek blijkt niet het probleem, de kern zit hem in de benodigde culturele omslag en de politieke wil en daadkracht om dit te verwezenlijken.

Momenteel wordt door onder andere Kinzelbach ook een onderzoek uitgevoerd naar de draagkracht van de Okavango Delta in Botswana. Het is een van 's wereld mooiste en rijkste wetlands, met een wel zeer bijzondere hydrologie. Probleem is nu afweging tussen de wens tot irrigatie in de bovenstrooms gelegen landen en de natuur en het toerisme in Botswana. Bij de analyse blijkt niet zozeer de geringe daling van de gemiddelde aanvoer relevant, maar juist de veel hogere frequentie van extremen die zal gaan optreden. Dit is reeds het geval bij een beperkte reductie van de natuurlijke aanvoer. Naast onttrekking is lokaal vaak ook de infiltratie van water een groot probleem,

aangezien het leidt tot water-logging en accumulatie van zout in de wortelzone zodat het land voor de landbouw onbruikbaar raakt. Het is wel duidelijk dat goede oplossingen alleen mogelijk zijn als het gehele systeem in beschouwing wordt genomen, inclusief de toekomstige ontwikkelingen.

Tenslotte

De conferentie was uitstekend verzorgd, de sfeer open en informeel. Het was al met al een leerzame bijeenkomst, met ca. 140 deelnemers uit 32 landen, waarvan 13 afkomstig uit Nederland. Zoals in deze bijdrage besproken, is op een aantal terreinen flinke vooruitgang geboekt. De conferentie ging meer over modelleren in het algemeen dan over eindige elementen of eindige differentieprogramma's specifiek. Wat voor soort model wordt gebruikt doet er eigenlijk ook niet erg toe. Hoogstens kan worden geconstateerd dat veel van de zaken die voor MODFLOW worden gemaakt al in bestaande eindige elementenmodellen aanwezig waren. Hoewel het moeilijk blijft om resultaten van soms zelfs meerdere jaren onderzoek in een heel kort tijdsbestek over te brengen, viel het op dat de kwaliteit van de presentaties over het algemeen goed was. We hebben in ieder geval veel opgestoken en zitten nu vol ideeën voor ons eigen werk. Als U een exemplaar van de *prepublished proceedings* met samenvattingen van de op de conferentie gegeven presentaties wilt ontvangen, dan kunt U hiervoor een berichtje sturen naar dr. Zbynek Hrkal van de *Universita Karlova* in Praag. Zijn email-adres is hrkal@natur.cuni.cz.

Het conferentie-diner speelde zich af in het dorp Loket. Het riviertje de Ohre snijdt hier met een flinke meander door de rotsen en de naam van de plaats betekent dan ook 'bocht' in het Tsjechisch. Al in de twaalfde eeuw is op deze plek, die van nature makkelijk te verdedigen is, een burcht gebouwd.

In dit onlangs gerestaureerde kasteel werden we gastvrij onthaald door stoere schildwachten en beminnelijke hofdames, met middeleeuwse muziek, zwaardvechten, dans en uitgebreid eten en drinken. Vooral het spontane optreden van Koning Harry mag niet onvermeld blijven...

Theo Olsthoorn en Frank Smits
