
Bijeenkomst

19^e Salt Water Intrusion Meeting

25–29 September 2006, Cagliari

Het managen en modelleren van aquifers waarin zowel zoet als zout water zit (en dus ook brak) blijft een lastig probleem. Om vorderingen, resultaten, en ideeën met collega's uit te wisselen wordt er elke twee jaar een Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) gehouden. In september 2006 was alweer de negentiende SWIM, dit keer nabij Cagliari, op Sardinië. De 120 aanwezigen konden drie en een halve dag luisteren naar een scala van praatjes. Er werd strak de hand gehouden aan de limiet van 11 minuten spreektijd en dat bleek goed te werken. De meeste praatjes waren prima voorbereid, zodat de sprekers inderdaad in die 11 minuten hun boodschap over konden brengen. Onderwerpen liepen uiteen van nieuwe rekenmodellen en modelstudies tot geochemie, geophysica en management. Daar alle praatjes plenair gehouden werden, zaten mensen van al deze specialiteiten door elkaar, en bij elkaars praatjes. Deze multidisciplinaire aanpak wordt al sinds jaar en dag succesvol toegepast bij de SWIM.

Enkele hoogtepunten?

Professor Gedeon Dagan van Tel Aviv University gaf een presentatie over het aloude probleem van het kiezen van de transversale dispersiviteit. Wat voor waarde moet je nou gebruiken? Daar er bijna geen metingen voor handen zijn vallen vele modelleurs terug op de magische regel dat de transversale dispersiviteit 10 keer zo klein is als de longitudinale. Maar is dat wel zo? Waar komt die regel eigenlijk vandaan? Dagan legt uit dat die verhouding gemeten is op kleine schaal in laboratoria en gaat dus op voor de micro-dispersiviteit. In de meeste rekenmodellen wordt echter de macroscopi-

sche heterogeniteit van het pakket in de longitudinale dispersiviteit verdisconteerd. Het effect van macroscopische heterogeniteit op transversale spreiding is echter gering: de transversale dispersiviteit is vrijwel hetzelfde op microscopische schaal als op macroscopische schaal, en ligt dus in de order van centimeters of millimeters. De verhouding 1/10 gaat dus niet op in regionale modellen! Om rekenmodellen te maken met zo'n kleine dispersiviteit is het cruciaal een model te gebruiken waarin de numerieke dispersie te verwaarlozen is (bijvoorbeeld MOCSENS3D of SEAWAT), of men kan kiezen voor een model waarin dispersie niet meegenomen wordt (SWI package). Dagan heeft een waarschuwend verhaal over modelleurs die hun dispersiviteit verkleinden van 1 meter naar 10 centimeter en geen verschil in de uitkomst zagen, maar die vergaten dat de numerieke dispersie waarschijnlijk veel groter is. Tevens werd geopperd dat transversale dispersie langs het grensvlak wellicht veelal longitudinale dispersie is, als gevolg van beweging van het grensvlak ten gevolge van bijvoorbeeld de seizoenen en het getij. Een interessant punt om verder uit te zoeken.

Alexander Vandenbohede en Luc Lebbe van de Universiteit van Gent presenteerden een bijzonder geval van een stabiele zoutwaterlens boven uitstromend zoetwater op het strand bij de Panne in België. Het strand is hier zeer breed (~500 meter) en het getijdenverschil ligt rond de 5 meter. Doordat de zee het strand een paar keer per dag overspoelt ontstaat een zoutwaterlens. Het uitstromende zoetwater gaat onder deze zoutwaterlens door en stroomt uit in zee. De zoutwaterlens is zowel gemeten als gemodelleerd (met MOCSENS3D). Het verrassende is dat er dus een stabiele situatie met zoutwater boven zoetwater ontstaat met een zeer dunne overgangszone (minder dan 1 meter, de resolutie van de gebruikte meetapparatuur). Het zoutwater dat naar beneden lekt (hetzij door diffusie, hetzij

door het groeien van vingers) wordt door het zoete water weggespoeld naar zee; althans, dat is de hypothese. Een fascinerend geval, in detail beschreven door Vandebode en Lebbe (2006). Het is wellicht interessant met betrekking tot het verhaal van Dagan om de waarden voor de dispersiviteit die in de MOCDENS3D-modellen gebruikt werden te vermelden: 20 cm (α_L), 2 cm (α_T horizontaal) en 2 mm (α_T vertikaal). Inderdaad dus de grootte-orde die Dagan aangaf voor de transversale dispersiviteit, maar ook de longitudinale waarde is klein (wellicht een vrij homogeen pakket?). De zoutwaterlens bij de Panne bleek geen anomalie te zijn, want drie dagen later presenteerde Clare Robinson van de Universiteit van Queensland een vrijwel identiek geval. Clare had het fenomeen eerder waargenomen in een laboratoriumexperiment, waarna ze, ook na het zien van de resultaten van de Belgen, op het strand is gaan meten. Zij bestudeerde het strand van Moreton Island in Australië, waar het strand veel korter is (~25 meter) en het getijdenverschil veel kleiner (~1 meter) en observeerde eenzelfde stabiele zoutwater lens (zie voor details Robinson e.a. (2006)). Clare maakte ook een model (met SEAWAT) en liet zien dat parameterwaarden zo gekozen konden worden dat er soms wel en soms geen aparte zoutwaterlens ontstaat. Hetgeen de vraag oproept (van Dagan) of er misschien een dimensieloze parameter gevonden kan worden, waarmee bepaald kan worden of de zoutwaterlens optreedt. Clare gebruikte overigens ook kleine dispersiviteiten ($\alpha_L = 50$ cm, $\alpha_T = 5$ cm, de beroemde factor $\alpha_T/\alpha_L = 1/10$), maar niet zo klein als de waarden die in België gebruikt werden.

Er waren nog een drietal presentaties waarbij zoutwater van boven infiltreert. Zo overstromde een uitgebreide meetopstelling van Martin Andersen e.a. op een strand in Denemarken toevallig, wat inzicht opleverde over het indringen van zout water in een zoet pakket. Bij de Panne in België

werd door Vandebode en Lebbe gevolgd hoe het zoute water van boven penetreert vanuit een net aangelegde sluffer (zoals de kerf bij Schoorl). In Sri Lanka werd door Prabhakar Clement e.a. nagegaan wat er gebeurde na de tsunami van kerst 2004, die metershoog over het strand walste. Hierbij bedekte het zoute water het zoete pakket en liepen lagoons en open putten vol zeewater. Het zoute water in de lagoons en putten blijkt via vingers binnen enkele weken de basis van de zoete laag te bereiken. Om de putten na een tsunami zo snel mogelijk weer zoet te krijgen, kan je dus het beste maar niets doen: pompen werkt averechts. Net zoals bij het hierboven genoemde strandonderzoek blijkt ook uit zandtankproeven dat bij voldoende sterke zoetwaterstroming geen zoute vingers ontstaan en zout boven zoet stabiel blijft.

In elk geval was het interessant dat er veel gemeten werd. Vermeldenswaardig is hierbij het onderzoek van Hanan Karam e.a. (MIT) naar grondwater uitstroming in zee. Hierbij werd, behalve een batterij geavanceerde kwelmers, een glasvezelkabel van 3 km lengte ingezet die zigzag over een zone van 60 m op de zeebodem werd gelegd en waarmee vervolgens *real time* de temperatuur om de meter kon worden gemeten. Dit leverde een dynamisch en ruimtelijk beeld op van de uitstroming op de bodem en leidde tot de ontdekking van een nieuw mechanisme van uitstroming, dat 'seasonal forcing' is gedoopt. Het is de meetbare component van de onderzeese uitstroming door het fluctueren van het grensvlak als gevolg van seizoensvariaties in het neerslagoverschot.

Vooraf uit de tweede en derde wereld kwamen verhalen over grootschalige overonttrekking met onbeheerste zeewaterintrusie tot gevolg. Ongeorganiseerde onttrekking door grote aantallen individuele gebruikers zoals hotels (Brazilië) en boeren, die vaak ook niet anders kunnen, heeft geleid tot grootschalige teloorgang van

zoetwatervoorraden, zonder uitzicht op een oplossing. Als oorzaak kon zowel een gebrek aan regen als een wild-west tafereel van ontbrekende regelgeving en/of handhaving aangewezen worden. De kustzone bij Hydrabad is over 75 km breedte geheel verzilt, waardoor er voor de oorspronkelijke agrarische bevolking niets anders over blijft dan weg te trekken naar de krotten van omringende grote steden. De problemen zijn ernstig, wat prof. Giovanni Barocco (organisator van de conferentie) deed verzuchten dat analyses op congressen als deze wel mooi zijn, maar dat de hydrologen ook met oplossingen moeten komen, willen zij straks niet naar Siberië worden gestuurd.

Hoe zit het dan met oplossingen tegen zeewaterintrusie? Daar was dit keer zowaar een hele sessie voor ingeruimd getiteld 'Intrusion Barriers'. De wellicht bekendste en grootste barrière bestaat uit lange rijen injectieputten langs de kust van Californië nabij Los Angeles. Er was een enthousiast verhaal over hoe goed deze barrières werken zonder ook maar een enkel probleem te noemen, zodat het verhaal meer op zijn plaats was geweest bij een verkiezingsbijeenkomst dan op een wetenschappelijk congres. Maar de omvang van de barrières is indrukwekkend: drie barrières met een totale lengte van 28,5 km bestaande uit 289 injectieputten en meer dan 700 observatieputten. Er wordt jaarlijks 45 miljoen kubieke meter geïnjecteerd. Ook de leeftijd van deze dynamische barrières is indrukwekkend: de eerste startte in 1952. In een ander project, ook in Zuid-Californië, werd onderzocht of het mogelijk was een ondergrondse muur te bouwen die het zeewater tegenhoudt. Ze gebruikten hiervoor een ingenieuze graafmachine om een geul te maken die met een mengsel van grond, cement en klei gevuld wordt, waarbij een doorlatendheid van minder dan 1 mm/dag bereikt kan worden. De graafmachine is een soort grote kettingzaag, die minstens 30 meter diep kan gaan; hij heet 'Trench

Remixing and Deep wall method' (TRD) en is in Japan ontwikkeld. Voor ondiepe aquifers lijkt het een prima mogelijkheid. In Californië hebben ze als demonstratieproject twee vierkante testcellen gemaakt, één tot 20 meter, de ander tot 24 meter; de diepste (jawel!) werkte het beste. Naast deze dynamische en mechanische barrières werd een proef op Sicilië besproken met chemische barrières, waarbij door zwavelzuurinjectie kalksteen in gips wordt omgezet dat een tweemaal zo groot volume inneemt, waardoor poriën en spleten verstoppen. Kunst is om met een toevoegmiddel de reactie een halve dag uit te stellen zodat het zwavelzuur voldoende in de spleten kan dringen. De resultaten waren nog zeer prematuur, maar het geeft een indruk van waar men mee bezig is. Of we dit willen is natuurlijk een heel andere vraag. Overigens wordt deze methode in de mijnbouw gebruikt en is het al eens geopperd om op deze manier Nederland op te tillen, of de verbinding tussen India en Sri Lanka boven water te tillen (zie Google). Men wil eerst oefenen op oceaaneilandjes die door zeespiegelstijging dreigen te verdrinken. We zullen er dus nog wel meer van horen.

Al met al was de lijst oplossingen vooral heel *high tech* van aard. Verzilting blijkt net als andere grondwaterproblemen veroorzaakt te zijn door veel individuele gebruikers die ieder voor zich maar raak pompen. Verzilting is dus veelal een managementprobleem, waarbij het erom gaat al deze gebruikers in het gareel te krijgen. Een aantal van zulke managementsystemen werd gepresenteerd, maar het was duidelijk dat het handhaven in Canada een stuk beter lukt dan in Brazilië. Gezien de snelheid waarmee verzilting op veel plaatsen om zich heen grijpt is het wellicht zinvoller om eerst een categoriseringssysteem op te zetten, in plaats van het maken van complexe modellen. Het is de taak van hydrologen om met een zinvol, hydrologisch goed werkend, systeem te komen, gebaseerd op

de weinige gegevens die beschikbaar zijn.

De Hollanders waren, zoals gebruikelijk, weer sterk vertegenwoordigd op de SWIM. Zij hadden stuk voor stuk interessante verhalen. De ruimte is onvoldoende om die hier te bespreken, maar we gaan er vanuit dat daar binnenkort nog stukjes van in Stromingen zullen verschijnen. Meer weten over de SWIM? Kijk dan eens op de website <http://swim-site.org>. Hier staat informatie over de SWIM inclusief digitale versies van de proceedings van enkele vorige SWIMs. De proceedings van dit jaar komen er, hopelijk, ook spoedig bij. De volgende SWIM is over 2 jaar in Florida.

Mark Bakker – TU Delft
en

Theo Olsthoorn – Waternet en TU Delft

Literatuur

Robinson, C., B. Gibbes en L. Li (2006)

Driving mechanisms for groundwater flow and salt transport in a subterranean estuary; in: *Geophysical Research Letters*, vol 33.

Vandenbohede A. en L. Lebbe (2006)

Occurrence of saltwater above freshwater in dynamic equilibrium in a coastal groundwater flow system near De Panne, Belgium; in: *Hydrogeology Journal*, vol 14, pag 462–472.