

zou blijken dat daarin fundamentele fouten zitten die tot geheel andere consequenties leiden moet het beleid om. Kennis verandert net als politieke inzichten: beleidsmakers zouden niet alleen rekening moeten houden met veranderingen die van bovenaf (politiek) worden aangestuurd maar ook met die van onderaf (onderzoeksresultaten) aangedragen worden.

Nu terug naar de hydrologie: naar de plaats van hydrologie in het landelijke beleid. In de derde nota waterhuishouding is voor het eerst een uitspraak gedaan dat niet alleen waterwinnings verdroging veroorzaken maar dat ook de landbouwwaterhuishouding daar veel effect op heeft. Deze uitspraak kon voor een belangrijk deel onderbouwd worden door het gebruik van een landelijk model. Voor het globaal inschatten van effecten van maatregelen tegen verdroging zijn landelijke modellen onontbeerlijk gebleken. De commotie die ontstond over inschatten van kosten van maatregelen had niets van doen met de kwaliteit van de hydrologische modellen (wel met aannames die gedaan zijn bij het vertalen van maatregelen in kosten), hoewel dat bij diverse beleidsmakers nog steeds wel zo in het hoofd zit (naar mijn persoonlijke ervaring). Het is juist dat landelijke modellen niet geschikt zijn voor de feitelijke implementatie van maatregelen op lokale schaal: daarvoor zijn ze nooit bedoeld. Wel is het waterbeleid in de afgelopen jaren met behulp van de landelijke modellen verder uitgewerkt op provinciale schaal en heeft daar een belangrijke invloed gehad op het denken. Dit was van groot belang voor de acceptatie van het landelijke beleid. Bij dit type modelleringen is het vanzelfsprekend dat er fijner gerekend wordt en meer informatie wordt toegevoegd aan de modellen. De landelijke modellen worden er dus beter van. Modellen voor hydrologische processen in de waterhuishouding zijn dus nog springlevend en niet alleen maar 'goed beheerd'.

De huidige kennis die in de modellen zit is lang niet altijd voldoende om goede uitspraken te doen: er zijn te veel manco's bekend, waaronder het ontbreken van een landelijk geaccepteerd bestand van modeldata. Daar aan wordt in het kader van consensus heel hard gewerkt. Op basis van voor landelijke studies meer dan voldoende hoeveelheden data worden landelijke parametersets gemaakt. Ook over de modelconcepten is binnen de consensusgroep vrijwel overeenstemming. (Deze zaken zullen we dit jaar nog naar buiten brengen). De gevolgen hiervan zijn dat uit de hernieuwde landelijke modellen wel eens behoorlijk andere resultaten kunnen komen dan voorheen. Dat geeft nieuwe en betrouwbare inzichten in de oorzaak-effect keten die gezamenlijk worden gedragen.

Tot slot, (landelijke) hydrologische modellen staan niet op zich zelf: Zij staan in een keten van andere modellen en systemen die de antwoorden geven op vragen die het water-gerelateerde beleid en beheer stellen. Hydrologie is een basis voor ecologische voorspellingen, verspreiding van meststoffen, ingrepen in de waterhuishouding, klimaatveranderingen, etc.

Wim de Lange

Reactie op '**Modellering van niet-stationaire grondwaterstroming; vergeten we iets?**' van Hans Leenen in STROMINGEN 5 (1999), nummer 4.

Met veel genoegen heb ik bovengenoemd artikel gelezen waarin wordt betoogd dat in de algemeen-gebruikte-grondwaterrekenmodellen de invloed van (boven)belastingsveranderingen die samenhangen met bewegingen van het freatisch vlak – door de auteur wordt dit het 'grondmechanisch effect' genoemd – ten onrechte buiten beschouwing wordt gelaten.

Hoewel ik deze stelling onderschrijf, wil ik in deze reactie enige aanvullingen, kleine correcties en antwoorden op de door de auteur gestelde vragen geven, alsmede een paar opmerkingen maken.

Aanvulling:

Het verschijnsel dat Leenen bediscussieert is in het verleden beschreven en onderzocht door o.a. Van der Kamp in de zuidelijke prairies van Saskatchewan, Canada (Van der Kamp en Maathuis, 1991; Van der Kamp en Schmidt, 1997), weliswaar niet specifiek voor veranderingen in het freatisch niveau, maar voor seizoensvariaties in het bodemvochtgehalte, een bijdrage die ook door Leenen wordt genoemd. Van der Kamp en collega's laten zien dat de grondwaterspanningsfluctuaties in een door een dikke, slechtdoorlatende keileem afgesloten aquifer de belasting die samenhangt met het bodemvochtgehalte weerspiegelt en dat deze 'techniek' kan worden gebruikt als grootschalige lysimeter. Dit neemt niet weg dat het verschijnsel niet wordt meegenomen in de bekende grondwaterrekenmodellen.

Opmerking 1:

Leenen leidt af dat wanneer wateroverspanning is gegenereerd in een watervoerend pakket met elastische berging, S , en dat aan de bovenzijde wordt afgesloten door een slechtdoorlatende laag met weerstand c , deze overspanning dissipeert met tijdschaal $\tau = S \cdot c$ (zijn vgl. 5). Hij noemt deze tijdschaal "de tijdschaal van het grondmechanisch effect". Dit is nogal verwarrend omdat deze tijdschaal hoort bij het proces van dissipatie of diffusie van overspanning bij niet-stationaire problemen en niet specifiek gerelateerd is aan iets grondmechanisch. Om dat te illustreren is het inzichtelijk om te kijken naar de gebruikelijke partiële differentiaalvergelijking in termen van

stijghoogte, h , (voor wateroverspanning ϕ zoals Leenen doet moet de stationaire oplossing voor de momentane randvoorwaarden daarvan worden afgetrokken) met daarin een grondbelastingsterm. Voor het gemak is een een-dimensionale situatie met ruimtelijk uniforme hydraulische eigenschappen aangenomen:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = D_h \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + \gamma \frac{\partial h_b}{\partial t}$$

$$D_h = K_v / S_s$$

waarin

- D_h = hydraulische diffusiviteit [L²T⁻¹]
- K_v = verticale conductiviteit [LT⁻¹]
- S_s = specifieke bergingscoëfficiënt [L⁻¹]
- h_b = gronddruk (uitgedrukt in equivalente hoogte waterkolom) [L]
- γ = getijde-efficiëntie [-]

Dit is de welbekende diffusievergelijking met een bronterm aan de rechterzijde. Het gedrag van deze vergelijking wordt bepaald door twee tijdschalen, die van de diffusie-term (eerste term rechterhand) en van de bronterm (tweede term rechterhand). De tijdschaal van de diffusie-term wordt voor het speciale geval dat Leenen beschouwt, en bij verwaarlozing van berging in de afdek-kende laag, gegeven door zijn vgl. 5 zoals boven vermeld. De tijdschaal van de bronterm wordt gegeven door $P / 2\pi$ waarin P de periode is waarmee h_b varieert (kunnen er meerdere zijn afhankelijk van het spectrum). Deze laatste tijdschaal die ook correct werd gegeven door Leenen en die samenhangt met de belasting, zou redelijkerwijs kunnen worden beschouwd als 'de tijdschaal van het grondmechanisch effect' omdat dit de tijdschaal is waarop *via de*

mechanische koppeling tussen bovenbelasting en poriënvloeistofdruk variaties in vloeistofdruk/stijghoogte worden geïnduceerd. Tot slot kan nog worden opgemerkt dat de koppeling tussen bovenbelasting en gronddruk/waterspanning op diepte strikt genomen niet instantaan is omdat de gronddruk zich voortplant volgens de geluidssnelheid in de ondergrond, d.w.z. de voortplantingssnelheid van een seismische drukgolf. Deze snelheid is echter in de orde van kilometers per seconde en het is in de hydrologie nu eenmaal niet gebruikelijk om metingen te verrichten op de tijdschaal van milliseconden. Deze derde tijdschaal is dus niet erg relevant.

Deze uitgebreide opmerking over terminologie ter zijde blijft de essentie van Leenen's analyse overkort van kracht.

Antwoord 1:

Aan de hand van het bovenstaande kan, naar ik meen, een duidelijk antwoord worden gegeven op de vraag die Leenen stelt onder 'punt 2' van zijn 'Overige gedachte-spinsels' over de benodigde tijdstap in numerieke modellen in relatie tot bovenbesproken tijdschalen. Er moeten hier twee dingen worden onderscheiden. (1) 'Grondmechanisch effect' verwaarloosbaar of niet? (2) Wat is de benodigde tijdstap indien het effect niet is te verwaarlozen? Of het 'grondmechanisch effect' kan worden verwaarloosd hangt niet af van de gekozen numerieke tijdstap, maar van de verhouding van de tijdschalen van de diffusieterm en van de bronterm, almede van de magnitude van de bronterm (hele kleine fluctuaties zijn meestal niet van belang). Het effect is verwaarloosbaar indien de tijdschaal van de bronterm veel groter is dan de tijdschaal van diffusie. Dit is besproken door Leenen. Het onderstaande gaat in op de tweede vraag.

Als het effect niet is te verwaarlozen zal de numerieke tijdstap in de regel kleiner

moeten zijn dan de tijdschaal van de bronterm. Echter, dit hoeft niet onder alle omstandigheden. Stel dat er een dagelijkse gang in bodemvochtgehalte zou zijn die aanleiding zou geven tot meetbare variaties in stijghoogte. Omdat het over een bekend periodisch signaal gaat is men voor de meeste grondwaterproblemen hier niet in geïnteresseerd en kunnen we met een gerust hart een veel groter tijdstap kiezen. Dan moeten we voor de belasting/gronddruk het gemiddelde bodemvochtgehalte over die tijdstap nemen. Omdat er in dit hypothetische geval alleen een dagelijkse gang in bodemvocht aanwezig is, is dat gemiddelde nul en dus de bronterm nul. In feite is dit identiek aan hoe in de praktijk met aard- en barometrische getijden wordt omgegaan; die worden ook niet gemodelleerd, maar uit de meetregistratie gefilterd. Indien er echter variaties met een grote magnitude in grondwaterspiegel en/of bodemvochtgehalte optreden die niet zo'n eenvoudige frequentieinhoud hebben, dan zal voor een goede modellering van meetregistraties de numerieke tijdstap klein moeten zijn ten opzicht van de lage-periode-componenten in die variaties.

Opmerking 2:

Bij de afleiding van de tijdschaal van dissipatie van wateroverspanning in een afgedekt watervoerend pakket (zijn vgl. 5 zie opmerking 2) gaat Leenen ervan uit dat de basis van dat pakket ondoorlatend is. Dit is over het algemeen niet realistisch omdat de door de belasting veroorzaakte wateroverspanning ook in diepere lagen wordt geïnduceerd (effecten van laterale drukspreiding in de bodem buiten beschouwing gelaten) en er dus door een onderliggende slechtdoorlatende laag voeding van het beschouwde watervoerende pakket zal plaatsvinden. Deze voeding is niet *a priori* verwaarloosbaar en leidt tot een aanzienlijk grotere tijdschaal. Dit verschijnsel is o.a. bekend uit

rekenmodellen voor grootschalige compactie en bodemdaling (Kooi, 1997; Kooi en de Vries, 1998). Voor Tertiaire watervoerende pakketten in de Nederlandse ondergrond kan de dissipatietijdschaal oplopen tot vele honderdduizenden jaren. Het is misschien aardig om te vermelden dat op grote diepte wateroverspanningen (stijghoogten) van vele honderden meters tot kilometers vrij gebruikelijk zijn en dat deze overspanningen vrijwel niet meer worden beïnvloed door de regionale grondwaterstand, maar zijn ontstaan door de sedimentlast die over perioden van honderdduizenden tot miljoenen jaren de gronddruk heeft verhoogd.

Correctie:

Leenen stelt op blz. 15 dat de door een instantane stijging van het freatisch vlak geïnduceerde stijging van de waterspanning in een diep pakket door uitstroming van poriënwater weer zal afnemen tot nul. Dit is niet correct voor de 1-dimensionale situatie die hij bespreekt (zijn Figuur 2). Het omgekeerde is het geval. De stijghoogte in het watervoerende pakket neemt instantaan weliswaar toe met $\gamma\mu\Delta h$ (μ is de bergingscoëfficiënt van het freatisch pakket), maar de stijging van het freatisch niveau, Δh , is groter. Instroom zorgt er voor dat de stijghoogte toeneemt tot Δh . Tegelijkertijd neemt de korrelspanning met dezelfde hoeveelheid af. De omgekeerde situatie van een daling van het freatisch vlak is natuurlijk heel bekend. Daarbij neemt de stijghoogte/waterspanning van het diepe pakket af, maar minder dan de daling van het freatisch vlak. Er vindt dus uitstroming plaats, toename van de korrelspanning en consolidatie. Voor meer-dimensionale stromings-situaties (voor belasting over horizontaal klein gebied) kan het bovenstaande echter behoorlijk anders zijn.

Antwoord 2:

Bovenbeschreven correctie geeft direkt antwoord op de vraag van Leenen onder 'punt 3' van 'Overige gedachtespinsels'.

Tot slot wil ik Hans Leenen graag dank zeggen voor een inspirerende bijdrage en vermelden dat er op 10 en 11 april een tweedaagse cursus 'fluid flow and fluid pressures in deformable porous media' zal worden gegeven door G. van der Kamp en ondergetekende bij de afdeling Hydro-(geo)logie van de Vrije Universiteit in het kader van de Nederlandse Onderzoeksschool Sedimentaire Geologie (NSG). Geïnteresseerden kunnen contact opnemen via nsg@geo.vu.nl of kooi@geo.vu.nl.

Literatuur

Kamp, G. van der, en H. Maathuis

(1991) Annual fluctuations of groundwater levels as a result of loading by surface moisture; in: *Journal of Hydrology* 127, pag 137–152.

Kamp, G. van der, en R. Schmidt (1997)

Monitoring of total soil moisture on a scale of hectares using groundwater piezometers; in: *Geophysical Research Letters* 24, pag 719–722.

Kooi, H. (1997)

Insufficiency of compaction disequilibrium as the sole cause of high pore fluid pressures in pre-Cenozoic sediments; in: *Basin Research* 9, pag 227–241.

Kooi, H., en J.J. de Vries (1998)

Land subsidence and hydrodynamic compaction of sedimentary basins; in: *Hydrology and Earth System Sciences* 2, pag 159–171.

Henk Kooi

Vrije Universiteit Amsterdam