Variatie in permeabiliteit van een pleistocene rivierafzetting en de invloed op grondwaterstroming

Samenvatting

De variatie in permeabiliteit van pleistocene rivierafzettingen is van grote invloed op de grondwaterstroming. Bij het vertalen van de complexe werkelijkheid naar een geschematiseerd model kan voor het bestuderen van de grondwaterstroming gebruik gemaakt worden van stochastische en deterministische benaderingswijzen en mengvormen daarvan. Dit artikel behandelt een methode die in hoofdzaak uitgaat van verschillen in sedimentaire structuren; de deterministische aanpak. Het is de bedoeling om met zo weinig mogelijk monsters, zo betrouwbaar mogelijke uitspraken te doen over de variatie in permeabiliteit en daarmee samenhangende grondwaterstroming. Daartoe zijn in de groeve Maalbeek te Belfeld schaalniveaus onderscheiden. Op het *laagste* en meest gedetailleerde schaalniveau zijn de afzonderlijke sedimentaire structuren gebruikt voor het bepalen van de ruimtelijke verdeling van de permeabiliteit. Op het *middelste* schaalniveau worden overeenkomstige sedimentaire structuren samengevoegd tot eenheden. Op het *hoogste* schaalniveau zijn deze eenheden samengevoegd tot één formatie; de Formatie van Sterksel. Wanneer met behulp van een grondwaterstromingsmodel het effect van opschaling van het laagste via het middelste naar het hoogste schaalniveau wordt onderzocht, blijken daaruit duidelijke verschillen in specifiek debiet, stroomrichting en verblijftijd op te treden.

1. Inleiding

Voor een duurzaam landgebruik waar landbouw, natuurbehoud en milieubeheer samengaan, is kennis over de grondwaterstroming onontbeerlijk. De richting en snelheid van het ondergronds transport van water met daarin opgeloste stoffen wordt in belangrijke mate bepaald door de geologische opbouw van een gebied. Belangrijk hierbij zijn de dikte en de verbreiding van verschillende lagen, alsmede de permeabiliteit van deze lagen. De permeabiliteit is één van de belangrijkste parameters bij het modelleren van verzadigde grondwaterstroming. Door geologische processen varieert de permeabiliteit meestal. Op de vraag hoe deze variatie (de meetschaal) 'het beste' vertaald kan worden naar de permeabiliteit voor lokale of regionale grondwaterstromingsmodellen (de modelschaal) bestaat nog geen eenduidig antwoord. Er zijn verschillende benaderingswijzen mogelijk. Sommige benaderingswijzen gaan uit van kansvariabelen, anderen kiezen uitsluitend sedimentaire structuren als uitgangspunt. De meeste benaderingen gebruiken echter een mengeling van beide uitersten. De voor- en nadelen van een hoofdzakelijk stochastische benadering zijn recentelijk door Bierkens [1994a en 1994b] beschreven. Dit artikel beschrijft de variatie in permeabiliteit van een pleistocene formatie, waarbij voor de bepaling van de ruimtelijke verdeling van de permeabiliteit en het effect daarvan op de grondwaterstroming, sedimentaire structuren worden gebruikt (een deterministische benadering).

De Formatie van Sterksel in de groeve Maalbeek is hierbij als studie-object gekozen. Beschreven wordt hoe uitgaande van de sedimentaire structuren lagen met hun kenmerkende permeabiliteit zijn samengevoegd (opschalen), zoals dat gebruikelijk is bij de beschrijving van de lokale en regionale grondwaterstroming. Het effect van de samenvoeging van de lagen is onderzocht door het specifieke grondwaterdebiet uit de Formatie van Sterksel en de verblijftijden van het grondwater voor drie schaalniveaus te vergelijken. Bij die vergelijking is gebruik gemaakt van een eenvoudig 2-dimensionaal, verzadigd grondwaterstromingsmodel (FLOWNET).

2. Gebiedsbeschrijving en onderzoeksopzet

De groeve Maalbeek ligt in de gemeente Belfeld, circa 10 km ten zuiden van Venlo, nagenoeg op de grens met Duitsland.



IR. R. E. LAPPERRE
Iwaco



IR. H. J. SIMMELINK
Rijks Geologische Dienst



H. M. C. SMIT
Studente
Landinrichtingswetenschappen
LU Wageningen



DR. IR. H. A. J. VAN LANEN
Vakgroep Waterhuishouding
LU Wageningen

Geologische opbouw

In de groeve Maalbeek dagzomen de Formaties van Tegelen, Kedichem en Sterksel; fluviatiele afzettingen van pleistocene ouderdom. De Formatie van Tegelen bestaat voornamelijk uit zware, slecht doorlatende kleien. De Formatie van Kedichem bestaat uit fijn zand maar is hier bijna overal geërodeerd door vlechtende rivieren die de Formatie van Sterksel (0,8-0,5 Ma BP) hebben afgezet.

Voor dit onderzoek is de Formatie van Sterksel gekozen als een typisch voorbeeld van een verwilderde rivierafzetting. De Formatie van Sterksel, die in een brede strook langs de lijn Venlo-IJmuiden voorkomt [Rijks Geologische Dienst, 1975], bestaat in de groeve Maalbeek uit naast en op elkaar liggende, goed doorlatende pakketten grindhoudende, grove zanden. Deze pakketten worden onderbroken door intern gelaagde, slechter doorlatende lagen met leemhoudend zand (anisotropie). Het sediment is slecht gesorteerd (heterogeniteit) en door oxydatie van ijzer en mangaan deels verkit. Bij de sedimentologische beschrijving zijn kenmerkende sedimentaire structuren onderscheiden. Hiertoe behoren onder meer 1) met grind opgevulde (erosie)geulen, 2) megaribbellaminatie, 3) horizontale laminatie en 4) convolute structuren. De ruimtelijke verbreiding van deze vier typen structuren kent een zekere regelmaat en is derhalve bepalend voor de wijze van opschalen.

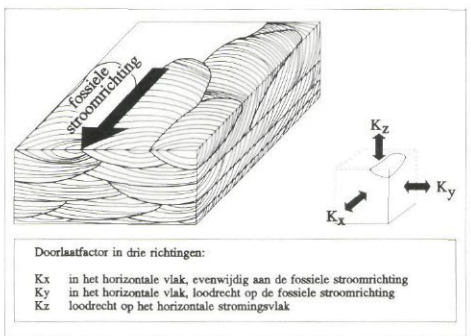
Deze eenheden kunnen in de hele groeve worden onderscheiden en zijn gerelateerd aan verschillende afzettingsmilieus.

Bemonsteringsstrategie

In de groeve zijn vier bemonsteringswanden sedimentologisch beschreven [Lapperre en Smit, 1995]. In dit artikel komt alleen de 2e bemonsteringswand aan de orde.

Door het voorkomen van verschillende typen structuren worden verschillen in permeabiliteit verwacht. Om die reden is in de 2e bemonsteringswand elke structuur in drie, loodrecht op elkaar staande richtingen bemonsterd. In elke richting zijn twee ongestoorde ringmonsters (100 cm^3) gestoken. Dit resulteerde per

structuur in zes ringmonsters. Als 'uitgangsrichting' gold de fossiele stroomrichting die uit de interne opbouw van de structuren volgt. De doorlaatfactor in deze richting is k_x genoemd. Beide andere bemonsteringsrichtingen (k_y en k_z) volgen hieruit (afb. 1).



Afb. 1 - Bemonstering in drie richtingen.

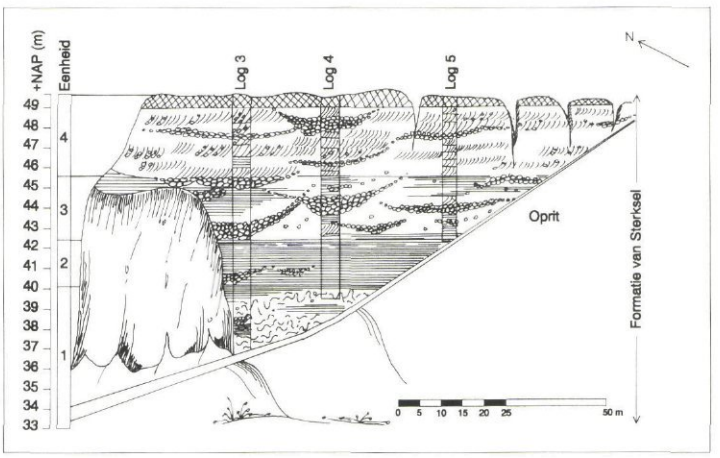
Permeabiliteitsbepaling

De permeabiliteit van een groot aantal ongestoorde monsters (n=271) is gemeten. Voor de slecht doorlatende monsters (n=18) is gebruik gemaakt van de falling-head methode en voor de goed doorlatende monsters (n=253) van de constant-head methode [Klute, 1986]. Elk van de ringmonsters is in een permeameter-bak in tweevoud doorgemeten. Bij verschillen in uitkomsten groter dan 10% is een derde meting uitgevoerd. Van een aantal ringmonsters (n=69) is na het meten van de verzadigde doorlatendheid ook de totale porositeit gemeten. Uit de totale porositeit is de effectieve porositeit (p_e) berekend met behulp van de relatie gegeven door Brassington [1990].

Opschalen

Uit de term *op*schalen volgt dat het gebruikelijk is van een laag schaalniveau (gedetailleerd) naar een hoger schaalniveau (globaal) te werken (afb. 2). Een benaderingswijze die op grond van praktische overwegingen in dit onderzoek

Afb. 2 - Het proces van opschalen binnen de Formatie van Sterksel in de groeve Maalbeek; van het laagste schaalniveau (structuren) via het middelste schaalniveau (eenheden) tot het hoogste schaalniveau (formatie).



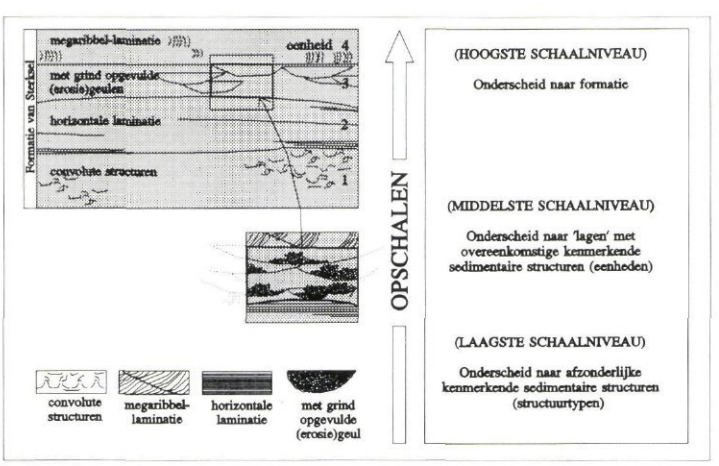
heeft geleid tot het onderscheiden van drie schaalniveaus.

Het laagste schaalniveau bestaat uit in de groeve waargenomen afzonderlijke sedimentaire structuren (afb. 3). De k-waarden uit de drie stratigrafische kolommen (log 3 t/m 5) die in de modelwand voorkomen, worden aan de hand van veldschetsen, foto's en aanvullende metingen overgebracht naar niet-bemonsterde delen. Zo ontstaan k-waarden per structuurtype en een ruimtelijke verdeling over de wand. Enkele structuurtypen zijn verder onderverdeeld op grond van verschillen in doorlatendheid en/of positie in de wand. Op het middelste schaalniveau zijn 'lagen' met overeenkomstige kenmerkende structuren opgeschaald tot, op de lithologie gebaseerde, eenheden. Binnen elk van deze eenheden is telkens één van de structuurtypen dominant aanwezig. De eigenschappen van de eenheden zijn bepaald uitgaande van de procentuele verdeling van de structuurtypen binnen die eenheid. Op het hoogste schaalniveau worden de afzonderlijke eenheden op hun beurt opgeschaald tot één formatie: de Formatie van Sterksel. Wat hiervan de gevolgen zijn voor het specifiek debiet, de stroomrichting en de gemiddelde werkelijke verblijftijd van het grondwater blijkt wanneer de permeabiliteits- en porositeitsgegevens, eerst afzonderlijk maar bij elk hoger schaalniveau steeds verder geclusterd, in FLOWNET ingevoerd worden.

FLOWNET

Het model FLOWNET [Elburg *et al.*, 1989] simuleert verzadigde grondwaterstroming in een verticale doorsnede van een gebied. Het model gaat daarbij uit van stationaire stromingscondities. De 2e bemonsteringswand wordt door een oprit doorsneden. Er is aangenomen dat structuren in het zichtbare deel van de wand horizontaal te extrapoleren zijn naar onzichtbare delen van de wand. Dit is verantwoord omdat de verschillende eenheden door de hele groeve zichtbaar zijn (afb. 3). Dit resulteert in een rechthoekig model met een grootte van 130 bij 14 m.

FLOWNET simuleert onder andere stroomlijnen en verblijftijden. Daarnaast kan uit de waterbalans het specifieke debiet worden afgeleid. Het model maakt bij de oplossing van de potentiaal- en stroomfunctie gebruik van de eindige differentiemethode. Voor deze numerieke oplossingsmethode moet de rechthoekige doorsnede (modelgebied) worden onderverdeeld in cellen. De wand is voor dit onderzoek op elk schaalniveau verdeeld in 4550 cellen, met een grootte van 2 bij 0,2 m. Voor elke cel moet de horizontale k_h en verticale k_v permeabiliteit ingevoerd worden. Bij het vertalen van de meetschaal (3D), k-waarden in drie richtingen, naar de modelschaal (2D) komt één dimensie te vervallen. Afhankelijk van de sedimentaire structuur wordt voor de horizontale doorlaatfactor de k_x- of de k_y-waarde ingevoerd [Lapperre en Smit, 1995]. Voor de verticale doorlaatfactor wordt in alle gevallen de k_z-waarde ingevoerd.



Afb. 3 - Uitgewerkte veldschets van de gemodelleerde 2e bemonsteringswand.

Daarnaast zijn de effectieve porositeiten en randvoorwaarden ingevoerd. De onderkant van het model wordt als gesloten beschouwd (slecht doorlatende Formatie van Tegelen). Langs de open randen van het model, de boven- en zijkanten, zijn fictieve stijghoogten ingevoerd.
Om verzadigde grondwaterstroming te simuleren, is overeenkomstig het verloop in maaiveld, voor de bovenkant van het model een grondwatergradiënt aangehouden van $7{,}7.10^{-4}$ m/m.

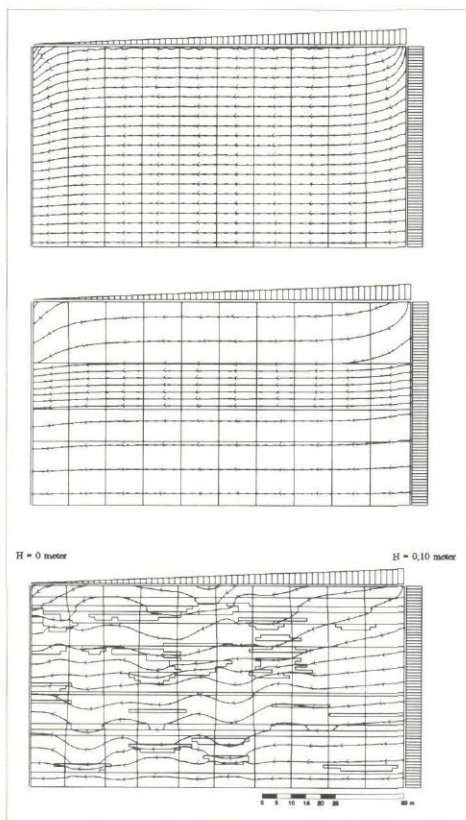
3. **Resultaten**

Afbeelding 4 geeft een overzicht van alle k-waarden en effectieve porositeitsgegevens op de drie onderscheiden schaalniveaus. Voorafgaand aan het modelleren wordt de veldschets van de 2e bemonsteringswand omgezet in een meer schematisch beeld voor de simulatie van de grondwaterstroming met FLOWNET (afb. 5).

Afb. 4 - Overzicht van de k-waarden en effectieve porositeitsgegevens op de drie schaalniveaus. Onder de tabel wordt de samenstelling van de eenheden op het middelste schaalniveau beschreven.

		k_h (m/d)	k_v (m/d)	p_e
HOOGSTE SCHAALNIVEAU				
Formatie van Sterksel		8	11	0,30
MIDDELSTE SCHAALNIVEAU				
Eenheid 4[a] (45,6-49,8 m +NAP)		7	7	0,28
Eenheid 3[b] (42,3-45,6 m +NAP)		24	24	0,32
Eenheid 2[c] (40,1-42,3 m +NAP)		7	11	0,31
Eenheid 1[d] (35,8-40,1 m +NAP)		7	11	0,31
LAAGSTE SCHAALNIVEAU				
Convolute structuur	(Cst)	19	21	0,33
(Erosie)geul 1	(Eg1)	53	80	0,27
(Erosie)geul 2	(Eg2)	24	25	0,27
(Erosie)geul 3	(Eg3)	80	130	0,25
Grindsnoer	(Grs)	18	30	0,25
Horizontale laminatie 1	(Hl1)	22	22	0,33
Horizontale laminatie 2	(Hl2)	17	19	0,33
Leemhoudend zand	(Lez)	1	2	0,18
Megaribbel-laminatie 1	(Ml1)	11	5	0,27
Megaribbel-laminatie 2	(Ml2)	13	11	0,30
Opstort	(Ops)	24	24	0,32

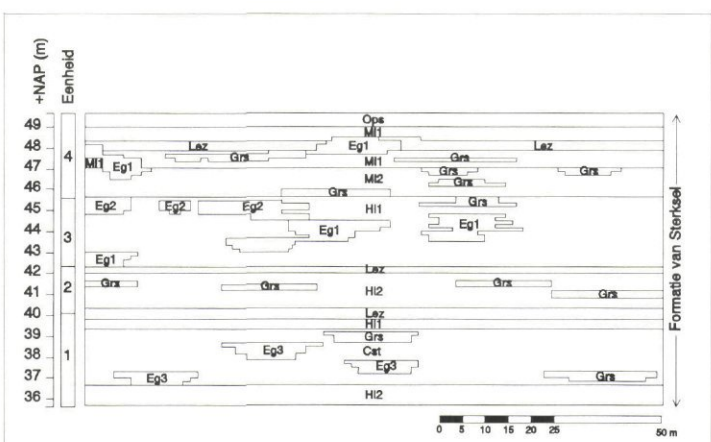
[a] (33,8% Ml2; 27,8% Ml1; 19% Ops; 8,4% Lez; 6,5% Grs en 4,5% Eg1)
[b] (80.9% Hl1; 12,7% Eg1; 5,1% Eg2 en 1,3% Grs)
[c] (85,3% Hl2; 9,1% Lez en 5,6% Grs)
[d] (51,5% Cst; 22,7% Hl2; 9,1% Hl1; 9,1% Lez; 4,8% Eg3 en 2,8% Grs)



Afb. 6 - Het stromingsbeeld na opschalen van het laagste schaalniveau (onder) via het middelste schaalniveau (midden) tot het hoogste schaalniveau (boven).

Laagste schaalniveau

Uit de simulatie met FLOWNET (afb. 6, onder) blijkt dat het specifiek debiet aan de linker modelrand 0,24 m²/d is. De gemiddelde verblijftijd, berekend uit de verblijftijden van alle stroomlijnen, op dit schaalniveau bedraagt 7,3 jaar. De verblijftijden van het grondwater langs de verschillende stroomlijnen verschillen duidelijk. 27% van het grondwater heeft een verblijftijd tussen de 4 en 6 jaar, terwijl 55% een verblijftijd heeft van 8 tot 10 jaar. De uitkomsten gelden uiteraard alleen maar voor de ingevoerde stijghoogtegradiënten.



Afb. 5 - Geschematiseerde weergave van de gemodelleerde 2e bemonsteringswand (voor de codes zie afb. 4).

Middelste schaalniveau

Op het middelste schaalniveau zijn lagen met overeenkomstige uiterlijke kenmerken opgeschaald tot eenheden. Wanneer uitkomsten van meerdere monsters met dezelfde richting gemiddeld moeten worden, suggereert Bierkens [1994b] harmonisch te middelen. Per eenheid volgt dan één k_h-, één k_v- en één p_e-waarde, berekend uit de waarden van het laagste schaalniveau. Hierbij wordt rekening gehouden met het bedekkingspercentage van de verschillende structuurtypen (afb. 4 en 5).

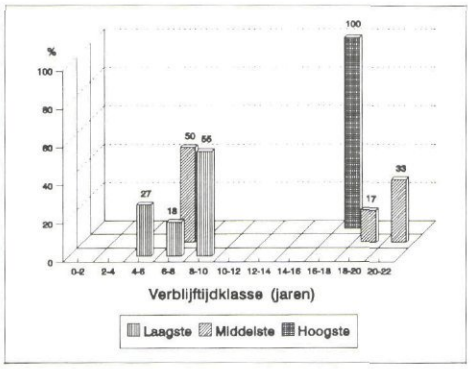
Uit de simulatie van het middelste schaalniveau (afb. 6, midden) blijkt dat het specifiek debiet aan de gehele linker modelrand 0,13 m²/d is. Ten opzichte van het laagste schaalniveau is dit een afname van 46%. De gemiddelde verblijftijd bedraagt 12,9 jaar. Ten opzichte van het laagste schaalniveau is dit een toename van 77%. Tussen de vier onderscheiden eenheden bestaan duidelijke verschillen. In eenheid 3 is het specifiek debiet het grootst en de gemiddelde verblijftijd met 6-8 jaar het kleinst. Dit wordt veroorzaakt door goed doorlatende met grind opgevulde (erosie)geulen die in deze eenheid veelvuldig voorkomen. Door het voorkomen van lagen met leemhoudend zand neemt in de overige drie eenheden het specifiek debiet sterk af en de gemiddelde verblijftijd sterk toe (>18 jaar). Bij harmonisch middelen hebben deze slechter doorlatende lagen een extra verlagende invloed op de k-waarden.

Hoogste schaalniveau

Op het hoogste schaalniveau wordt voor de Formatie van Sterksel nog maar één k_h-, één k_v- en één p_e-waarde berekend. Hierbij wordt rekening gehouden met de dikten van de onderscheiden eenheden. Bij de middeling wordt steeds uitgegaan van de permeabiliteiten van het laagste schaalniveau (afb. 4 en 5).

Het specifiek debiet langs de gehele linker modelrand bedraagt 0,098 m²/d. Dit is een afname van 60% ten opzichte van het laagste schaalniveau en een afname van 25% ten opzichte van het middelste schaalniveau. De gemiddelde verblijftijd bedraagt 17,3 jaar. Ten opzichte van het laagste en middelste schaalniveau is dit een toename van respectievelijk 137% en 34%.

De opschaling van de permeabiliteiten heeft een duidelijke invloed op het stromingsbeeld (afb. 6, boven). Ook het specifiek debiet en de specifieke verblijftijden veranderen. Op het laagste



Afb. 7 - Spreiding van de verblijftijden op de drie schaalniveaus.

schaalniveau bedraagt de kortste verblijftijd 5 jaar, op het middelste schaalniveau 6,2 jaar en op het hoogste schaalniveau 17,3 jaar. De spreiding in verblijftijden (afb. 7) op het hoogste schaalniveau is uiteraard kleiner dan die op het laagste en middelste schaalniveau. Tezamen met de kortste verblijftijd is dit belangrijke informatie bij de voorspelling van de verspreiding van verontreinigingen.

4. Conclusies en discussie

Uit ongestoorde ringmonsters (n=271) blijkt dat de variatie in permeabiliteit binnen de Formatie van Sterksel groot is. Deze verschillen manifesteren zich niet alleen per structuurtype maar ook per bemonsteringsrichting binnen één type. Zo varieert de horizontale permeabiliteit van de structuurtypen tussen de 1 en 80 m/d en kunnen de horizontale en verticale permeabiliteit meer dan een factor 1,5 verschillen.

Bij het opschalen van het laagste naar de hogere schaalniveaus blijken de lagen met leemhoudend zand een grote invloed uit te oefenen op het stromingsbeeld. Door deze dunne lagen mee te nemen in de harmonische middeling neemt de gemiddelde verblijftijd sterk toe (van 7,3 naar 12,9 en 17,3 jaar). Bij het doen van betrouwbare uitspraken met betrekking tot de verblijftijden van verontreinigingen, leent het laagste schaalniveau zich daarvoor het best. Als men toch moet kiezen voor een hoger schaalniveau, zou de door Bierkens [1994b] gesuggereerde middelingsmethode onderzocht moeten worden, omdat niet aan alle theoretische veronderstellingen is voldaan.

Wanneer opschalen hoofdzakelijk stochastisch gebeurt, kan het resultaat onbevredigend zijn. Slecht(er) doorlatende lagen, zoals de dunne leemhoudende zandlagen in deze studie, beïnvloeden het stromingsbeeld zeer sterk. In plaats van een benaderingswijze die slecht doorlatende lagen 'wegmiddelt', kunnen deze lagen beter als afzonderlijke eenheden gemodelleerd worden. Dit pleit voor een benaderingswijze waarbij expliciet rekening gehouden wordt met de geologische opbouw. Het aanleggen van een 'kaartenbak' met een aantal standaardgegevens per structuurtype is in dit kader wenselijk.

In dit onderzoek is bij de opschaling steeds gebruikt gemaakt van alle gemeten permeabiliteiten. In de praktische grondwatermodellering zal men echter vaak werken op het hoogste schaalniveau (Formatie van Sterksel als één laag), waarbij de permeabiliteit wordt gebaseerd op een beperkt aantal metingen. In een vervolgstudie zou nader moeten worden ingegaan op de bemonsteringsstrategie om met een beperkt aantal monsters, willekeurig te trekken uit de gehele populatie beschikbare metingen, op het hoogste schaalniveau de resultaten overeen te laten komen met die op het laagste schaalniveau. Weerts [1995] wijst er op dat de opschalingsmethodiek afhankelijk is van het riviertype.

Tenslotte is in dit onderzoek de grondwaterstroming gesimuleerd in het verticale vlak (2D). Het verdient aanbeveling na te gaan of, en zo ja welke verschillen optreden wanneer 3-dimensionale grondwaterstroming gesimuleerd wordt.

5. Verantwoording

Onze dank gaat uit naar de Sanders en Geraedts Groep uit Swalmen, eigenaar van de groeve Maalbeek. Zonder hun toestemming en medewerking was er in deze groeve geen veldwerk mogelijk geweest. Eveneens een woord van dank aan drs. H. J. M. Pagnier werkzaam bij de Rijks Geologische Dienst in Heerlen. Zijn hulp bij vooral de sedimentologische beschrijving van de Formatie van Sterksel was van grote waarde.

Literatuur

Bierkens, M. F. P. (1994a). *Complex confining layers: a stochastic analysis of hydraulic properties at various scales.* Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor aan de Rijksuniversiteit Utrecht. Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, 263 pp.
Bierkens, M. F. P. (1994b). *Blokdoorlatendheden: opschaling in de geohydrologie.* H_2O Tijdschrift voor waterzuivering en afvalwaterbehandeling, jrg. 27, no. 23, pp. 673-684.
Brassington, R. (1990). *Field Hydrogeology. Geological Society of London Professional Handbook.* Open University Press, Milton Keynes and John Wiley & Sons, New York, 175 pp.
Elburg, H., Engelen, G. B. en Hemker, C. J. (1989). *FLOWNET (c) versie 5.12: 2-dimensionale stationaire verzadigde grondwaterstroming in de heterogene en anisotrope ondergrond.* Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam (VU).
Klute, A. (1986). *Methods of Soil analysis, part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Second Edition, American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison Wisconsin, 1188 pp.
Lapperre, R. E. en Smit, H. M. C. (1995). *Hydrogeologisch onderzoek naar de Formaties van Sterksel en Tegelen in de groeve Maalbeek te Belfeld; een studie naar de variabiliteit in opbouw, verzadigde doorlatendheid, verblijftijd(en), stromingsrichting(en) en debiet(en) op verschillende schaalniveaus.* Verslag van een 5-maands afstudeervak bij de Vakgroep Waterhuishouding sectie hydrogeologie van de Landbouwuniversiteit Wageningen (LUW) en de Rijks Geologische Dienst (RGD) te Heerlen, 123 pp.
Rijks Geologische Dienst (1975). *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland.* Rijks Geologische Dienst Haarlem, 134 pp.
Weerts, H. J. T. (1995). *Meetschaaldoorlatendheden van een complexe deklaag. In: Onzekerheid in grondwatermodellering; een verslag van de lezingendag 19 januari 1995.* Delft: TNO Grondwater en Geo-Energie, 78 pp.

● ● ●

Ir. F. N. Sikkesprijs voor eerste maal uitgereikt

Door Ir. F. N. Sikkes, de eerste voorzitter van de Stichting Waterleidingmuseum te Utrecht, is bij legaat een geldbedrag aan de Stichting geschonken. Gezien de grote verdiensten van de heer Sikkes voor het Waterleidingmuseum besloot het bestuur van de Stichting dit legaat te zijner nagedachtenis te gebruiken voor de instelling van de Ir. F. N. Sikkesprijs.
Met het instellen van deze prijs wordt beoogd het schrijven en publiceren op het gebied van de geschiedenis van de drinkwatervoorziening in Nederland te bevorderen. In aanmerking komen Nederlandstalige artikelen en boeken die in de periode 1993-1995 zijn gepubliceerd en verband houden met de geschiedenis van de drinkwatervoorziening in Nederland. De publicaties moeten geschreven zijn voor een zo breed mogelijk geïnteresseerd publiek.
De prijs wordt eenmaal per drie jaar toegekend. Hij wordt voor het eerst uitgereikt ter gelegenheid van de opening van de tentoonstelling 'Het voormalig Predikherenklooster te Utrecht', op 13 september 1996 om 16.00 uur in de Utrechtse Jacobikerk. De prijs zal worden overhandigd door de voorzitter van de jury, jhr. drs. P. A. C. Beelaerts van Blokland, commissaris van de koningin in de provincie Utrecht.
(Persbericht Waterleidingmuseum)