

Regionale grondwaterstroming: driedimensionale numerieke en analytische oplossingen

Inleiding

Indien men zo goed mogelijk het stoftransport in de ondergrond op regionale schaal wil kennen, is het van belang te kunnen beschikken over analytische, maar vooral ook over numerieke oplossingsmethoden, waarbij het driedimensionale snelheidsveld nauwkeurig kan worden bepaald.

De verticale snelheidscomponent is vaak een grootte-orde kleiner dan de horizontale snelheidscomponent en kan op conventionele wijze, dat wil zeggen door differentiëren van



DRS. G. K. BROUWER
Dienst grondwaterverkenning TNO
Delft



DR. IR. W. ZIJL
Dienst grondwaterverkenning TNO
Delft



DRS. F. D. E. WAARDENBURG
Dienst grondwaterverkenning TNO
Delft

het potentiaalveld, veelal niet voldoende nauwkeurig worden afgeleid. Echter bij regionale grondwaterstroming kan door de grote horizontale oppervlakken een aanzienlijk volumetransport in verticaal opzicht plaatsvinden, ook al is de verticale snelheidscomponent relatief gering. Ook nabij stagnatiepunten leidt numeriek differentiëren van de potentiaal tot onnauwkeurige resultaten. Directe bepaling van de ruimtelijke snelheidscomponent leidt tot nauwkeuriger resultaten [Zijl, 1984 en 1986].

De theoretische achtergrond zal aan de hand van een tweedimensionale schematisatie worden toegelicht. Het mathematisch concept is vervat in de computercode Flosa. De pre- en postprocessing faciliteiten, van groot belang bij driedimensionale modelstudies, zullen worden besproken. Flosa lijkt met name te kunnen worden toegepast bij de stromingssysteemanalyse. Een belangrijk aspect bij het modelleren is de keuze van de discretisatie-afstand. Hier zal dan ook wat dieper op in worden gegaan. Toetsing van een numerieke oplossing aan een analytische oplossing vormt de afsluiting van dit artikel. In een tweede artikel in dit tijdschrift zal worden ingegaan op een aantal praktijkstudies.

Analytische oplossingen voor twee-dimensionale stroming in het verticale vlak

Voor een aantal vereenvoudigde hydro-geologische schematisaties bestaan exacte analytische oplossingen voor de horizontale en verticale snelheidscomponenten v_x en v_z . Voor stroming naar een drain onder invloed van uniforme voeding in een homogeen medium bestaat een analytische oplossing indien verondersteld wordt dat de dikte van de aquifer oneindig groot is. Recent is hierover gepubliceerd in het Cultuurtechnisch Tijdschrift [Van der Molen, 1987]. Door toepassing van spectraal-analytische technieken kan een oplossing met de aquiferdikte als onafhankelijke parameter worden verkregen. Anisotropie, een geringe sloot-(drain)diepte en een dik watervoerend pakket kunnen aanleiding geven tot niet verwaarloosbare verticale stroomsnelheden [Gelhar, 1974].

Toth [1962, 1963] gaf analytische uitdrukkingen voor stroming in een homogene aquifer, waarbij de potentiaal op de bovenrand is gegeven door een lineaire trend plus een eventueel sinusvormig potentiaalverloop. Door Toth [1962] is tevens aangegeven wat het effect van relatief goed doorlatende lenzen is in een pakket met matig doorlatende sedimenten bij uniforme stroming. Deze analytische uitdrukking kan ook goed gebruikt worden in het tegenovergestelde geval, dat wil zeggen stroming bij kleilenzen in een relatief goed doorlatend pakket.

Radiaal-symmetrische stroming rondom een onttrekkingsput is uitvoerig beschreven door Van den Akker [1982]. Door toepassing van het superpositie-principe zijn, bij een homogene ondergrond, ook regionale stromingsaspecten in rekening te brengen. Voor oorspronkelijke kwel/infiltratiesituaties [Van den Akker en Van Weenen, 1986] wordt in navolging van Strack [1984] verondersteld, dat de verticale stromingscomponent geen weerstand ondervindt. Voor sterk anisotrope aquifers of aquifers met een relatief grote dikte is deze benadering minder correct.

Ter verduidelijking zijn in afb. 1 de verschillende conceptuele modellen met betrekking tot de verticale snelheidscomponent weergegeven.

Samenvattend kan worden gesteld dat voor vereenvoudigde randvoorwaarden en een sterk geschematiseerde doorlatendheidsverdeling in het verticale x-z vlak de horizontale en verticale snelheidscomponenten exact analytisch kunnen worden afgeleid.

Directe snelheidsberekening

Mathematische beschrijving

Voor complexe randvoorwaarden en een

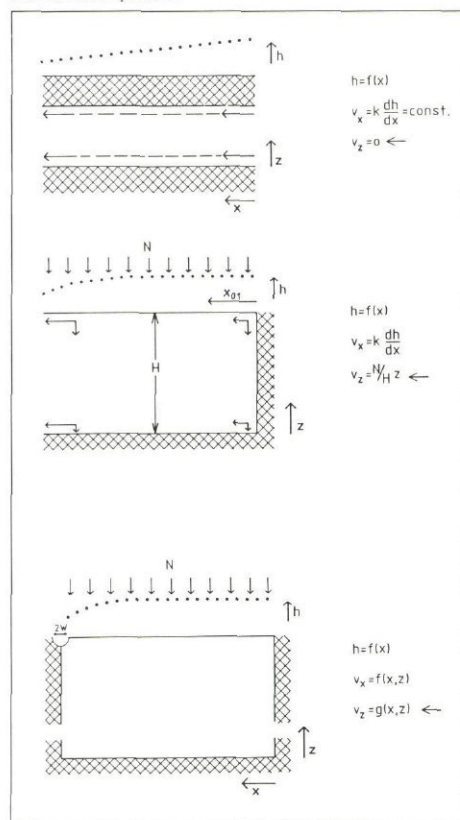
Samenvatting

Voor sterk vereenvoudigde randvoorwaarden en doorlatendheidsverdelingen kunnen zowel het potentiaalveld en het snelheidsveld exact worden bepaald met behulp van analytische methoden. Voor meer ingewikkelde randvoorwaarden en heterogene ondergronden bieden numerieke benaderingsmethoden een goed alternatief.

Voor het numeriek berekenen van het potentiaalveld wordt vrijwel altijd de eindige differentiemethode of de eindige elementenmethode met lineaire elementen gebruikt. Deze populaire methoden blijken ook voor het nauwkeurig berekenen van het snelheidsveld toepasbaar te zijn, hetgeen aan de hand van een voorbeeldstudie wordt aangetoond.

In de zogenaamde Stromingssysteem-analyse van Toth en Engelen is niet zo zeer het potentiaalveld, maar juist het snelheidsveld van groot belang. De modelcode FLOSA (FLOWSystems Analysis), gebaseerd op de bovengenoemde methode van snelheidsveldberekening, is dan ook vooral ontwikkeld om de Stromingssysteemanalyse numeriek-wiskundig te onderbouwen.

Afb. 1 - Conceptuele benaderingen van de verticale snelheidscomponent.



heterogeen driedimensionaal permeabiliteitsveld kan de snelheidsvector niet meer exact worden bepaald, maar wel nauwkeurig worden benaderd. Hiertoe kiest men een discreet netwerk van knooppunten in een driedimensionale continue ondergrond. Momenteel wordt de oplossing benaderd met behulp van een eindig differentieschema; in de nabije toekomst zal worden overgegaan tot implementatie van een eindige-elementen methode. Volledigheidshalve zij vermeld dat het door discretisatie ontstane stelsel lineaire vergelijkingen iteratief wordt opgelost. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de methode der geconjugeerde gradiënten met preconditionering en een betrouwbaar stopcriterium [Kaasschieter, 1986]. De afleiding van het stelsel differentiaalvergelijkingen voor een vereenvoudigd conceptueel model zal nu worden uitgewerkt. Voor tweedimensionale verticale stromingsproblemen kunnen met behulp van de wet van Darcy en de continuïteitsvergelijking op eenvoudige wijze de vergelijkingen worden afgeleid waaruit de horizontale en verticale snelheidscomponent worden berekend. In dit eenvoudige voorbeeld wordt tevens verondersteld dat er geen laterale variaties in het permeabiliteitsveld optreden. Gebaseerd op de wet van Darcy en de continuïteitsvoorwaarde worden na een aantal herleidingen de gewenste uitdrukkingen voor de horizontale en

verticale snelheidscomponent verkregen (afb. 2).

Uit de Laplace-typevergelijkingen (7) en (9) kunnen nu direct de Darcy-snelheden v_x ($= k_x E_x$) en v_z worden opgelost, mits de randvoorwaarden voor E_x en v_z bekend zijn. Er zij nog opgemerkt dat de x - en y -coördinaten niet noodzakelijkerwijs horizontaal behoeven te zijn; het zijn de coördinaten evenwijdig aan de gelaagdheid in de ondergrond. De z -coördinaat staat hier loodrecht op. In een eenvoudig, zij het niet triviaal voorbeeld, worden vervolgens de randvoorwaarden beschreven.

Randvoorwaarden

In het x - z vlak (afb. 3) kunnen de volgende randvoorwaarden worden opgelegd. De ondoorlatende basis verhindert stroming in de z -richting, dus

$$v_z = 0 \tag{10a}$$

Tevens geldt nu:

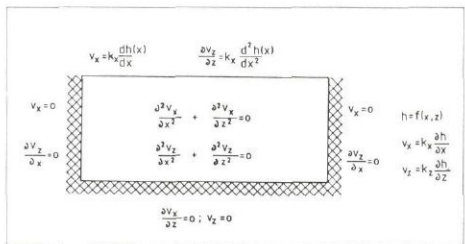
$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = 0 \text{ (zie ook vgl. 4)} \tag{10b}$$

Voor de twee ondoorlatende veronderstelde verticale randen zijn de randvoorwaarden:

$$E_x = 0 \tag{11a}$$

en

$$\frac{\partial v_z}{\partial x} = 0 \text{ (zie ook vgl. 4)} \tag{11b}$$



Afb. 3 - Randvoorwaarden en Laplace-vergelijkingen.

Op de bovenrand geldt:

$$E_x = - \frac{d h(x)}{dx} \tag{12a}$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = k_x \frac{d^2 h(x)}{dx^2} \text{ (zie ook vgl. 5)} \tag{12b}$$

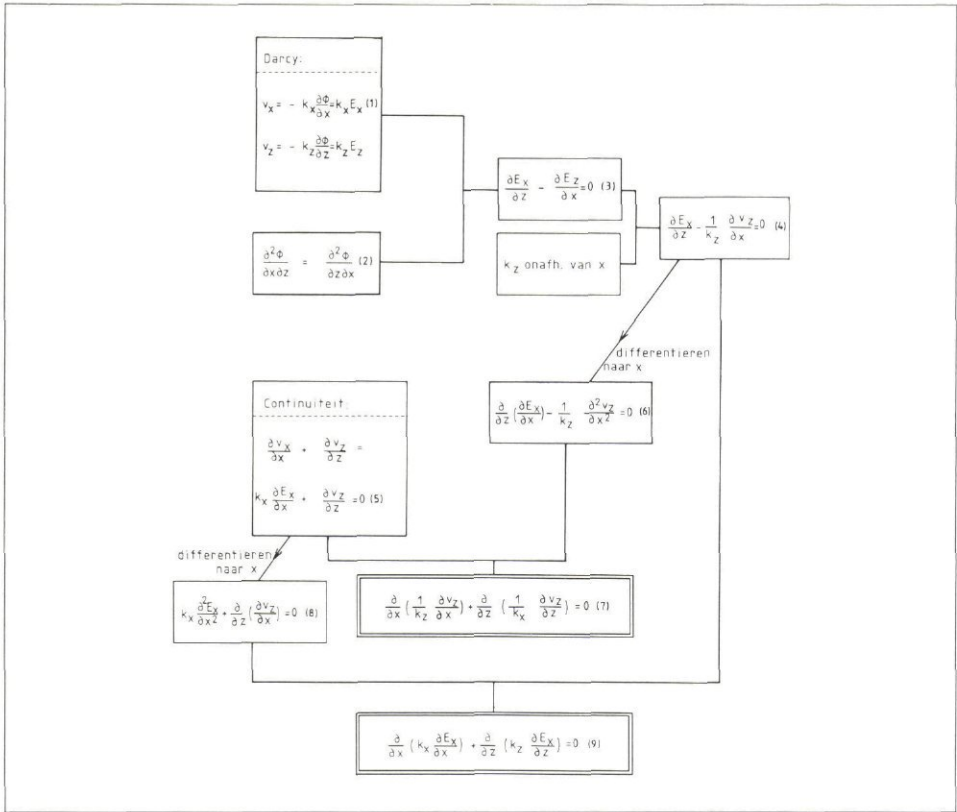
Met behulp van deze randvoorwaarden is het conceptuele model nu volledig gedefinieerd. Oplossing kan bijvoorbeeld geschieden via de welbekende eindige differentiemethode. Het enige verschil is in feite dat het iteratieschema voor het oplossen van de lineaire vergelijkingen tweemaal moet worden doorlopen, namelijk zowel voor E_x als v_z .

Laterale inhomogeniteiten

De uitbreiding naar stromingsproblemen in een ondergrond met ook laterale heterogeniteit vereist enige toelichting. In principe is de afleiding van de vergelijkingen, analoog aan de afleiding zoals gegeven in afb. 2, gemakkelijk te geven. Uit het resultaat zien we dan het volgende:

1. De drie vergelijkingen voor E_x , E_y en v_z worden bij aanwezigheid van laterale heterogeniteit gekoppeld. Numeriek wiskundig betekent dit dat de dimensie van het op te lossen stelsel lineaire vergelijkingen drie maal zo groot wordt ten opzichte van één van de drie stelsels lineaire vergelijkingen bij het horizontaal gelaagde probleem. Bovendien is dit grotere stelsel vergelijkingen niet meer positief definit, hetgeen voor het gebruik van bekende iteratieve oplossmethoden voor stelsels lineaire vergelijkingen (zoals geconjugeerde gradiënten met preconditionering) een complicatie is die resulteert in relatief meer rekentijd.
2. In de vergelijkingen voor een ondergrond met laterale inhomogeniteiten komen afgeleiden van de logaritme van de doorlatendheid voor (bijvoorbeeld $\partial^2 \ln k_x / \partial x^2$). Dit betekent dat 'horizontale sprongen' in de doorlatendheid niet meer toegestaan zijn, de doorlatendheid moet in horizontale richting een 'glad' verloop hebben. In verticale richting blijven 'sprongen' toegestaan. De punten 1 en 2 impliceren dat de formulering geïoriënteerd is op horizontaal gelaagde problemen met daarop toegestaan niet te grote verstoringen van de horizontale gelaagdheid.

Afb. 2 - De differentiaalvergelijkingen welke leiden tot de Laplace-vergelijkingen waarmee v_x en v_z kunnen worden opgelost.



Het FLOSA programma

Het FLOSA-FD (FLOW Systems Analysis – Finite Differences) pakket bestaat momenteel uit een aantal Fortran 77 programma's. Deze kunnen naar functie worden verdeeld in preprocessing, processing en postprocessing modules. De gebruiker communiceert met het pakket via een 'supervisor'. De pre- en postprocessor zijn volledig menu-gestuurd. De gegevens worden getest op geldigheid en te allen tijde is het gebruik van functietoetsen (o.a. voor 'help' en 'escape to shell' functies) mogelijk. De processor is geschreven in standaard ANSI Fortran 77; de overige modules gebruiken enige VAX/VMS Fortran extensies. Voor de plotuitvoer kan zowel een Calcomp penplotter als een Versatec isostatische plotter gebruikt worden.

FLOSA preprocessor

De preprocessor is bedoeld als een gebruikersinterface tussen de processor en de gebruiker. De preprocessor reduceert de hoeveelheid data die ingevoerd moet worden aanzienlijk. Een dataset bestaat uit de volgende elementen:

- algemene parameters (dimensies, opties e.d.);
- berekeningsparameters (toleranties, aantal iteraties e.d.);
- doorlatendheidswaarden en porositeitswaarden in ieder roosterpunt;
- voor ieder randvlak:
 - voorgeschreven normale snelheidscomponent of voorgeschreven potentiaal in ieder randpunt;
 - doorlatendheidswaarde in ieder randpunt.

Zowel de doorlatendheidswaarde als de porositeitswaarde kunnen worden ingevoerd met behulp van een symbool. De symbolen zijn opgenomen in een legenda en kunnen te allen tijde opnieuw gedefinieerd worden.

Postprocessing mogelijkheden

De postprocessors stellen de gebruiker in staat om de berekende stroomsnelheden te visualiseren en om enige aanvullende informatie te verschaffen. In principe zijn de volgende opties beschikbaar:

1. Berekening en plotten van driedimensionale stroomlijnen. Deze optie bepaalt de ligging van de infiltratiegebieden op de randvlakken en berekent stroomlijnen. Stroomlijnen kunnen zowel vanuit infiltratiegebieden als vanuit kwelgebieden berekend worden.
2. Voor iedere tweedimensionale doorsnede evenwijdig aan één van de assen kunnen de snelheidscomponenten in dat vlak of de snelheidscomponent loodrecht op dat vlak worden weergegeven.
3. Voor ieder willekeurig driedimensionaal deelblok kunnen de snelheidsvectoren geplotted worden.

4. Voor iedere tweedimensionale doorsnede kan een isohypsenkaart, een isorotatiekaart of een iso-divergentiële lijnenkaart geplotted worden.

Een specifieke toepassing van de driedimensionale computercode FLOSA zal nu aan de hand van een algemene beschrijving en met behulp van een stromingsprobleem worden toegelicht.

Stromingssystemen

Achtergrond

De stromingssysteemanalyse, ontwikkeld door Toth [1963] en voor de Nederlandse situatie verder ontwikkeld door Engelen [1981] heeft de uitgangspunten van het rekenprogramma FLOSA bepaald. In essentie gaat de systeemtheorie ervan uit dat bij een gegeven reliëf en een neerslagoverschot er zich een freatisch grondwater-vlak ontwikkelt dat in orde van grootte overeen komt met het reliëf. Het bijbehorende potentiaalveld genereert stromingssystemen die naast elkaar en op elkaar gesuperponeerd kunnen voorkomen. Een stromingssysteem is een in de ondergrond driedimensionale, afgrensbare dynamische eenheid. De eenheid heeft meestal een typerend hydrochemische samenstelling of groep van samenstellingen, afhankelijk van de hydrochemische invoer en omzettingsprocessen binnen de eenheid. Een stromingssysteem heeft een infiltratie-

gebied en een of meerdere exfiltratie-gebieden die door stroombanen zijn verbonden.

Het gebruik van diverse thematische kaarten – topografische kaart, bodemkaart, grondwatertrappenkaart, waterstaatskaart, enzovoort – en kennis van de geologische opbouw en van de hydrochemie van oppervlakte- en grondwater van het gebied, geven in de 'traditionele' stromingssysteemanalyse de mogelijkheid om aan het oppervlak specifieke infiltratie- en exfiltratie-gebieden aan te geven en deze aan elkaar te koppelen. Een nieuwe bijdrage aan de stromingssysteemanalyse wordt gegeven door FLOSA. De potentialen aan het oppervlak van het driedimensionale modelgebied worden ingevoerd, waarna de infiltratie- en daarmee verbonden exfiltratie-gebieden met de bijbehorende fluxen en stroombanen worden berekend.

Keuze discretisatie-afstand

Voor regionale stromingssysteemanalyses kunnen de knooppuntsafstanden niet te klein worden gekozen daar dit excessief lange rekentijden en een omvangrijke beslaglegging op geheugenruimte tot gevolg heeft gepaard gaande met irrealistisch hoge kosten. Vaak zal worden gekozen voor een knooppuntsafstand van 500 à 1.000 m in x- en y-richting en 5 à 25 m in de z-richting. Duidelijk is dan dat bijvoorbeeld waterlopen en een gedetailleerd potentiaalverloop niet zonder meer als randvoorwaarde opgegeven kunnen worden. Afhankelijk van de geohydrologische schematisatie kan een aantal wegen worden bewandeld:

- vaststelling van een representatieve potentiaal in een knooppunt;
- afleiding van de voeding in een knooppunt.

In beide gevallen behoeft uiteraard niet het maaiveld als uitgangspunt te worden genomen. Het is heel wel denkbaar dat de potentiaal of voeding aan de onderzijde van een slecht doorlatend pakket wordt voorgeschreven.

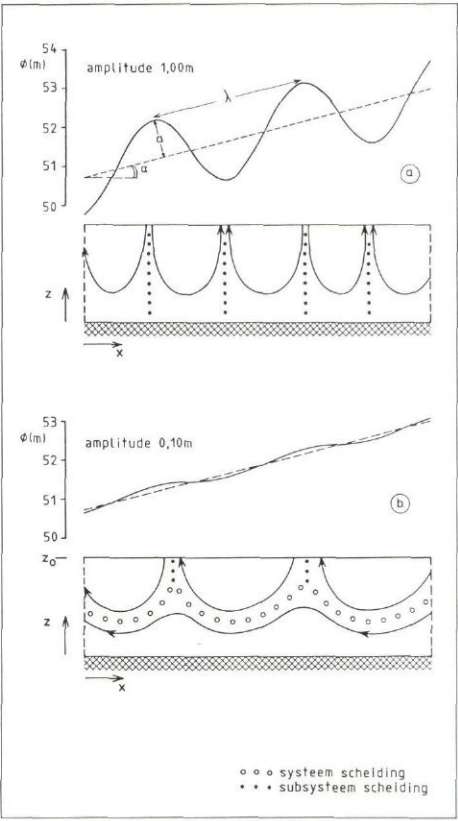
De discretisatie-afstand mag ook niet te groot worden gekozen. De optimale discretisatie-afstand is niet op voorhand te geven. Enig inzicht kan de volgende benadering verschaffen. Stel het potentiaalverloop op het bovenvlak is gegeven door een trend met een hierop gesuperponeerde sinus volgens:

$$\phi = g \left\{ z_0 + x \operatorname{tg} \alpha + \frac{a \sin (bx / \cos \alpha)}{\cos \alpha} \right\} \quad (13)$$

waarbij:

- a = amplitude sinuscurve (m)
- b = $2\pi/\lambda$ frequentie sinuscurve (m^{-1})
- α = helling regionaal trendvlak (–)
- z_0 = referentieniveau ten opzichte van ondoorlatende basis (m)

Afb. 4 - De omvang van subsystemen gerelateerd aan de grootte van de amplitude. De stroombanen zijn schematisch weergegeven.



Door $\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$ te stellen kunnen de subsysteem-scheidingen x_s worden bepaald (afb. 4):

Voor $a > \frac{\sin 2\alpha}{2b}$ geldt (afb. 4a):

$$x_s = \frac{\cos \alpha}{b} \left\{ \operatorname{Arccos} \left(\frac{-\sin 2\alpha}{2ab} \right) + 2k\pi \right\},$$
$$k = 0, 1, 2, \dots \tag{14}$$

Klaarblijkelijk geldt dat als $a < \frac{\sin 2\alpha}{2b}$ de horizontale snelheidscomponent niet nul wordt (afb. 4b).

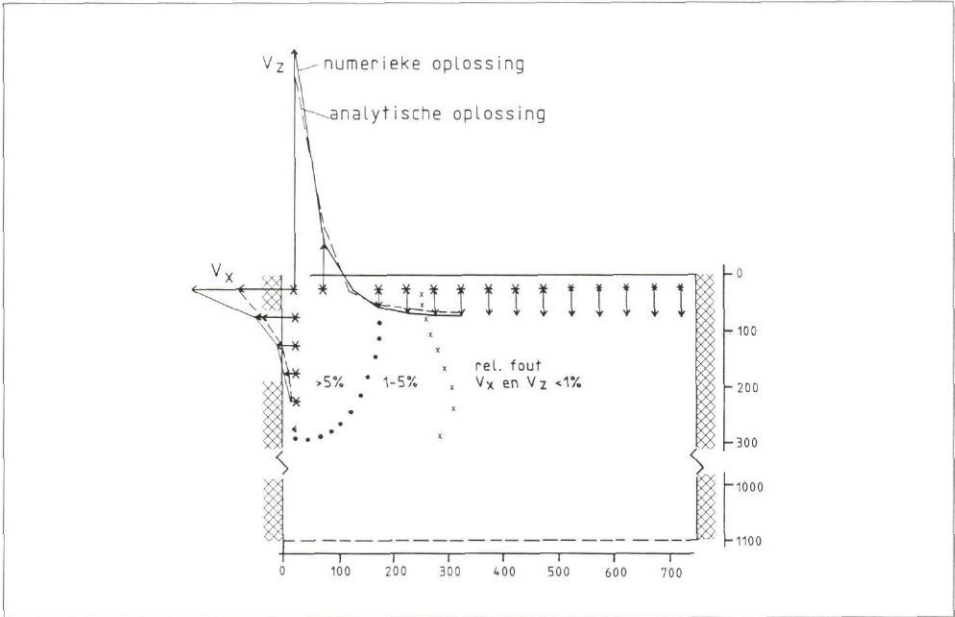
Ter indicatie zijn enige waarden voor α en λ ontleend aan De Vries [1974].

TABEL I – De regionale gradiënt (α) en de afstand tussen ontwateringsmiddelen (λ) en de bijbehorende kritische waarde van de amplitude (a).

	$\operatorname{tg} \alpha$	$\lambda \text{ (m)}$	$a_{\text{kritisch}} \text{ (m)}$
Oostelijk dekzandgebied	1 : 2.500	300-1.000	0,02-0,06
Drentse plateau	1 : 2.500	1.000-5.000	0,06-0,30

Indien a groter is dan de kritische waarde, bijvoorbeeld in een neerslagoverschotrijk tijdvak, kunnen tegengestelde systemen voorkomen. In dat geval dient ook de roosterafstand afgestemd te worden op λ zodanig dat de sinusvormige variatie wordt vastgelegd. Indien de opbolling van de potentiaal daarentegen niet de kritische waarde overschrijdt, kan met een veel ruimere roosterafstand in het horizontale vlak worden volstaan.

Bij sterk laterale variabiliteit van de permeabiliteit (bijvoorbeeld klei- of leemlenzen met een gemiddelde lengte van enige honderden meters) dient een geometrisch gemiddelde k -waarde te worden ingevoerd teneinde een effectieve k -waarde



Afb. 6 - De grootte van de relatieve fout in v_x en v_z en stroomsnelheden in knooppunten waar deze fout het grootst is.

te verkrijgen. Het geometrische gemiddelde is gedefinieerd door:

$$k_G = (k_1 \dots k_i \dots k_n)^{1/n} \tag{15}$$

Bij continue kleilagen over grote afstanden (enige kilometers) zal vaak een overgangsblok gecreëerd dienen te worden teneinde een nauwkeurige oplossing te verkrijgen. Ook hier kan men het beste een geometrisch gemiddelde k -waarde invoeren ter plaatse van de lithologische overgang. Voorts kan in het algemeen worden gesteld dat men er verstandig aan doet de oriëntatie van de x - en z -as dusdanig te kiezen dat deze assen samenvallen met de oriëntatie van de ondergrondse lagen.

Voorbeeldstudie
Ter verduidelijking van de voorafgaande

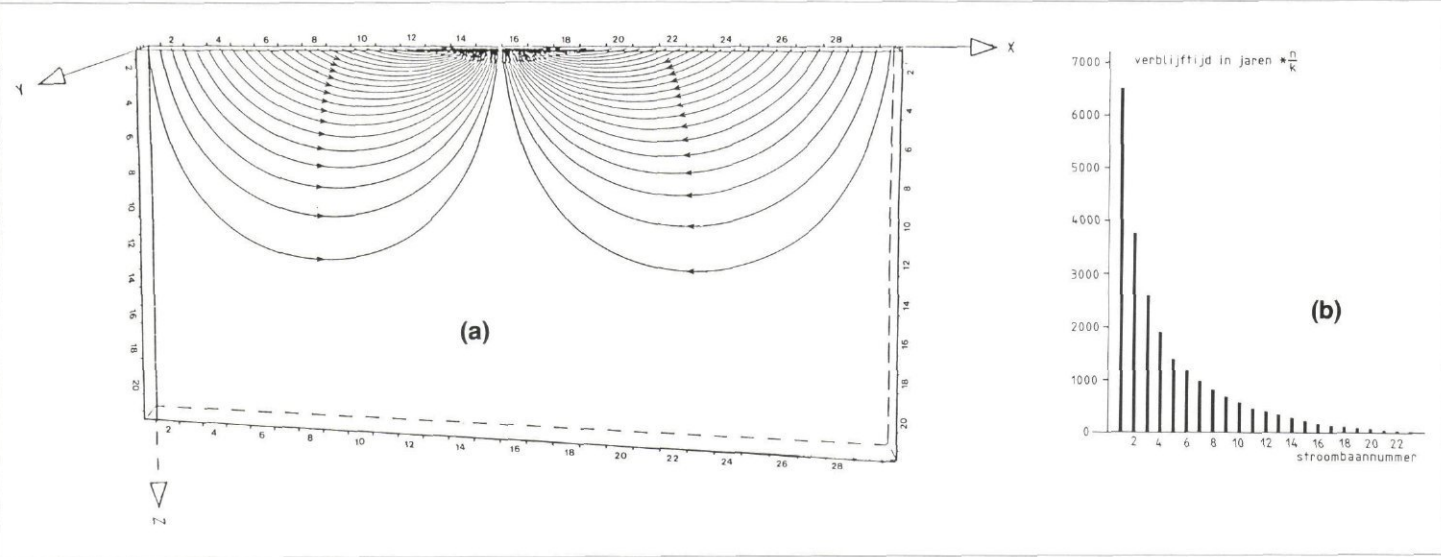
theoretische en praktische overwegingen is een stromingsprobleem uitgewerkt.

- De grondwaterstroming in een homogene ondergrond in geval van uniforme voeding kan worden opgesplitst in:
- uniforme stroming tot in het oneindige ten gevolge van uniforme voeding over een lengte van a (m);
 - stroming vanuit het oneindige naar een kwelgebied met een lengte van p (m).

Voor deze laatstgenoemde stroming geldt als oplossing voor de complexe potentiaal [blz. 118, Verruijt, 1971]:

$$\Omega = \phi + i\psi = \frac{-2iQ}{\pi} \arcsin \left\{ \frac{\sin \pi z/2a}{\sin \pi p/2a} \right\} \tag{16}$$

Afb. 5 - Stroombanenpatroon (afb. a) en verblijftijden (afb. b) ten gevolge van uniforme voeding in een homogene aquifer.



De expliciete uitwerking van $v_x = -\frac{\partial\phi}{\partial x}$ en $v_z = -\frac{\partial\phi}{\partial z}$ is hier achterwege gelaten.

Ten einde de numerieke oplossing met behulp van Flosa te kunnen vergelijken met de analytische oplossing, is als randvoorwaarde op 1.100 m diepte de verticale snelheid opgegeven, berekend met de analytische oplossing. Op deze diepte is de horizontale snelheidscomponent verwaarloosbaar klein [Verruijt, 1971]. De discretisatie-afstand bedraagt in beide richtingen 50 m. Het infiltratiegebied heeft een lengte van 700 m, het kwelgebied bedraagt 50 m. De gekozen k -waarde en porositeit zijn niet essentieel voor het gestelde doel en zijn gemakshalve respectievelijk 1 m/dag en 1. De uniforme voeding bedraagt $.001 \text{ m.d}^{-1}$.

Het stroomlijnenpatroon bepaald met Flosa is weergegeven in afb. 5a. De verblijftijden van de getekende stroombanen in afb. 5b vertonen een exponentieel karakter en variëren van 22,5 jaar tot 6.521 jaar. Door de gekozen evenredige verdeling van de startpunten van de stroombanen is goed waarneembaar dat de stroomsnelheid met de diepte afneemt. De relatieve fout in v_x en v_z is veelal $< 1\%$ (afb. 6). In de nabijheid van het kwelgebied is de relatieve fout aanzienlijk ten gevolge van de gekozen discretisatie.

Conclusies

Voor sterk geschematiseerde randvoorwaarden kunnen stroombaanberekeningen analytisch worden uitgevoerd op basis van exacte oplossingen. Voor meer complexe randvoorwaarden en een heterogene ondergrond kan met behulp van de computercode Flosa een nauwkeurige benadering worden verkregen van stroombanen en verblijftijden in de driedimensionale ondergrond. Dit is met name van belang om stoftransport op regionale schaal te kunnen kwantificeren. Data-invoer en verwerking van de snelheidsvectoren tot stroombanen, potentiaalvlakken en controles op de berekeningen kunnen door efficiënte algoritmes relatief snel geschieden.

Literatuur

- Akker, C. van den (1982). *Numerical analysis of the stream function in plane groundwater flow*. Proefschrift Technische Hogeschool, Delft.
- Akker, C. van den en Weenen, R. van (1986). *Verblijftijden en intrekgebieden bij de winning van grondwater uit pakketten met semispansingswater*. H₂ (19) nr. 4 p. 66-70.
- Engelen, G. B. (1981). *A systems approach to groundwater quality*. In: Quality of groundwater Ed. W. van Duijvenboden et al. Studies in environmental science 17. Elsevier scientific publishing company, Amsterdam p. 1-25.
- Gelhar, L. W. (1974). *Stochastic analysis of phreatic aquifers*. Water Resources Research vol. 10 nr. 3, p. 539-545.

- Kaasschieter, E. F. (1986). *A Fortran implementation of the preconditioned method of conjugate gradients*. Delft University of Technology, Faculty of Mathematics and Informatics, Report 85-33. Delft, The Netherlands.
- Molen, W. H. van der (1987). *Van kwantiteit naar kwaliteit: een halve eeuw drainage theorie*. Cultuurtechnisch Tijdschrift, jaargang 26, nr. 5, p. 311-321.
- Strack, O. D. L. (1984). *Three dimensional streamlines in Dupuit-Forchheimer models*. Water Resources Research, Vol. 20, no. 7, p. 812-822.
- Toth, J. (1962). *a theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada*. Journal of Geophysical Research, vol. 67, nr. 11, p. 4375-4387.
- Toth, J. (1963). *A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins*. Journal of Geophysical Research, vol. 68, no. 16, p. 4795-4812.
- Verruijt, A. (1971). *Theory of groundwater flow*. Macmillan Civil Engineering Hydraulics Series, London.
- Vries, J. J. de (1974). *Groundwater flow system and stream nets in The Netherlands*. Rodopi N.V., Amsterdam.
- Zijl, W. (1984). *Finite element methods based on transport velocity representation for groundwater motion*. Water Resources Research, vol. 20, no. 1, p. 137-145.
- Zijl, W. (1986). *Numerical simulations based on stream functions and velocities in three dimensional groundwater flow*. Journal of Hydrology, vol. 85, p. 349-365.



Nieuws van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne

Afscheid ir. Tj. Hofker

Ter gelegenheid van het afscheid van ir. Tj. Hofker van het RIVM, wordt op 29 maart 1988 een Bijzondere Wetenschappelijke Vergadering gehouden over Management van Milieu-onderzoek. De vergadering begint om 13.45 uur en vindt plaats in zaal-T van het RIVM te Bilthoven. Op het programma staan onder meer de volgende voordrachten:

- 'Milieu-onderzoek: schieten op een bewegend doel', door dr. ir. B. C. J. Zoeteman (Hoofddirecteur Chemie & Fysica).
- 'Strategisch kiezen', door de scheidende Directeur Bodem- en Wateronderzoek ir. Tj. Hofker (RIVM).
- 'Van diagnose naar prognose', door ir. N. D. van Egmond (Hoofd van het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek).
- 'Samenwerkende instituten: living apart together', door dr. ir. T. Schneider (Directeur Lucht, Straling en Afvalstoffen-onderzoek).
- Aansluitend aan de vergadering is er vanaf ca. 16.30 uur gelegenheid afscheid te nemen van de heer Hofker.



Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO-TNO)

Bijeenkomsten Unesco-IHP (International Symposium)

Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas

Dit symposium bestaat uit een 3-daagse conferentie in Duisburg en een 2-daagse studiereis door Nederland. Tijdens de conferentie zal een zestal thema's worden behandeld:

- Urban Hydrological cycle;
- Functions and uses of water in urbanized areas;
- Concepts of urban drainage and flood protection;
- Effects of urbanization on surface waters and groundwater;
- Role of water in urbanized areas and city planning;
- Integrated watermanagement in urban areas.

In de proceedings zijn papers en 19 poster-beschrijvingen opgenomen die bij het begin van het Symposium aan de deelnemers zullen worden uitgereikt. Naast het wetenschappelijk deel zal er ook een tentoonstelling van bedrijven, onderzoeksinstituten, vakgroepen en dergelijke worden georganiseerd. De studiereis vindt per boot plaats en voert vanaf Lobith naar Lelystad, Almere Haven, Amsterdam en Rotterdam. In Rotterdam zal de slotsessie worden gehouden.

Plaats:

Conferentie: Mercatorhalle te Duisburg.
Study Tour: per boot naar Lelystad, Almere Haven, Amsterdam en Rotterdam.

Datum: 24 t/m 29 april 1988.
Informatie: 070 - 49 65 40 - ing. J. C. Hooghart.

7e Studiebijeenkomst georganiseerd in samenwerking met SAMWAT

Voorlopige titel: 'Neerslagmeting en -voorspelling; toepassing van moderne technieken zoals radar- en satellietwaarnemingen'.

De ontwikkelingen op het gebied van radar- en satellietwaarnemingen gaan zeer snel. Tijdens deze discussiebijeenkomst zal aan de orde worden gesteld wat met deze waarnemingen in de praktijk van het waterbeheer kan worden gedaan. Waar richt het onderzoek zich op en wat zijn de wensen in de praktijk.

Datum: november 1988.
Informatie: 070 - 49 65 40 - ing. J. C. Hooghart.