

De anisotrope transmissiviteit van heterogene aquifers II: consequenties voor de berekening van stoftransport

1. Inleiding

Eén van de meest belangrijke parameters voor grondwaterstroming is de doorlatendheid, k [m/dag]. De doorlatendheid varieert in het algemeen van punt tot punt, dat wil zeggen $k = k(x,y,z)$, maar in de praktijk blijkt het toch mogelijk om met ruimtelijk gemiddelde waarden te werken. Voor aquifers werken we met de over de dikte van de aquifer geïntegreerde waarden van de doorlatendheid $k(x,y,z)$, de transmissiviteit $T(x,y)$ [m²/dag].



W. ZIJL
TNO
Grondwater en Geo-Energie/
Vrije Universiteit Brussel,
Dienst Hydrologie

In een vorig artikel in H₂O [Zijl, 1991] is aangetoond dat simpele integratie van de doorlatendheid ter bepaling van de transmissiviteit uitsluitend geldt voor perfect gelaagde aquifers (d.w.z. voor aquifers waarin de doorlatendheid k alleen in de diepte z , maar niet in de horizontale richtingen x en y verandert). Echter, voor volledig heterogene aquifers bestaat er een generaliseerde integratie. De praktische gevolgen van deze generalisatie bleven in bovengenoemd H₂O-artikel onbesproken, daarom zullen we er hier meer over zeggen. Voor de precieze details van de afleidingen en de verdere literatuurverwijzingen wordt verwezen naar Zijl en Nawalany [1993, pp. 89-96] en naar Zijl [1993, pp. 273-296].

De gebruikelijke, niet-gegeneraliseerde 'praktijkformulering' ziet er als volgt uit:

$$Q_x = T_1 E_x$$

$$Q_y = T_2 E_y$$

Hierin is Q_x [m³/(m.dag)] de volumestroom in de x -richting per lengte-eenheid in de y -richting. Een soortgelijke definitie geldt voor Q_y . E_x en E_y [m/m] zijn minus de over de dikte van de aquifer gemiddelde stijghoogtegradiënten in respectievelijk de horizontale x - en y -richting. Uit bovenstaande formules zien we dat er twee transmissiviteiten mogelijk zijn, T_1 voor de stromingscomponent in de x -richting en T_2 voor de stromingscomponent in de y -richting. Anisotropie, dat wil zeggen $T_1 \neq T_2$, heeft tot gevolg dat de volumestroomvector niet dezelfde richting heeft als minus de hydraulische gradiënt.

Als we nu de gegeneraliseerde ruimtelijke middeling voor volledig heterogene aquifers uitvoeren, dan vinden we de volgende uitdrukkingen:

Samenvatting

In de 'praktijkformulering' ter beschrijving van grondwaterstroming wordt een aquifer gekarakteriseerd door de transmissiviteit (ook wel de kD -waarde genoemd). Deze praktijkformulering is een goede benadering die zeer algemeen toepasbaar is, maar de interpretatie van de uiteindelijke rekenresultaten kan verschillen van de conventionele interpretatie: de berekende grondwatersnelheden kunnen richtingen hebben die van de werkelijke stromingssnelheden afwijken. De hoek tussen de werkelijke stromingsrichting en de berekende stromingsrichting moet dan worden beschouwd als een extra parameter, die in het kader van een modelstudie kan worden gekalibreerd.

$$Q_x = T_{xx} E_x + T_{xy} E_y$$

$$Q_y = T_{yx} E_x + T_{yy} E_y$$

Uit deze formules zien we dat er in het algemeen vier transmissiviteiten zijn, nl. T_{xx} , T_{xy} , T_{yx} en T_{yy} . Deze uitdrukkingen zijn al gepresenteerd in het vorige H₂O artikel [Zijl, 1991], waarbij er is aangetoond dat de transmissiviteitsmatrix in het algemeen niet-symmetrisch is, dat wil zeggen dat in het algemeen $T_{xy} \neq T_{yx}$. We zullen nu het praktische gevolg van deze niet-symmetrie samenvatten.

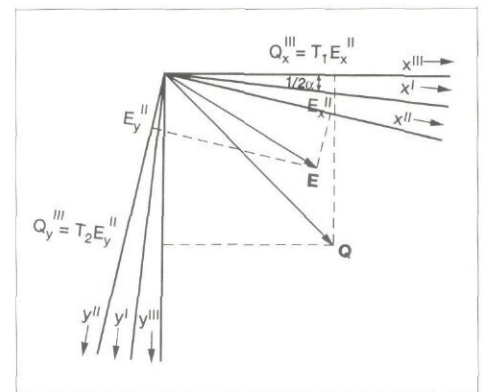
2. Het praktische gevolg van niet-symmetrische transmissiviteit

Als de transmissiviteitsmatrix niet symmetrisch is, blijkt volgens de door ons ontwikkelde theorie het volgende te gelden [Zijl en Nawalany, 1993, pp. 89-96; Zijl, 1993, pp. 273-296]:

1. Er kunnen uitdrukkingen worden afgeleid voor twee zogenoemde hoofdtransmissiviteiten T_1 en T_2 . (Deze zijn gelijk aan de vierkantswortel van de eigenwaarden van de matrix die gedefinieerd is als de getransponeerde van de transmissiviteitsmatrix vermenigvuldigd met de transmissiviteitsmatrix.)
2. Er kunnen twee loodrecht op elkaar staande hoofddassen worden bepaald voor de stijghoogtegradiënt, deze noemen we de x'' - en de y'' -as (afb. 1). (Deze assen hebben de richting van de eigenvectoren van een matrix die gedefinieerd is als de getransponeerde van de transmissiviteitsmatrix vermenigvuldigd met de transmissiviteitsmatrix.)
3. Er kunnen twee loodrecht op elkaar staande hoofddassen worden bepaald voor de volumestroomvector, deze noemen we de x''' - en de y''' -as (afb. 1). (Deze assen hebben de richting van de eigenvectoren van een matrix die gedefinieerd is als de transmissiviteitsmatrix vermenigvuldigd met de getransponeerde van de transmissiviteitsmatrix.)
4. Er geldt nu de volgende vorm van de wet van Darcy:

$$Q_{x'''} = T_1 E_{x''}$$

$$Q_{y'''} = T_2 E_{y''}$$



Afb. 1 - Betekenis van de gegeneraliseerde hoofddassen: $Q_{x'''}$ en $Q_{y'''}$ zijn de componenten van de volumestroomvector langs respectievelijk de x''' - en de y''' -as; $E_{x''}$ en $E_{y''}$ zijn de componenten van minus de gradiënt van de stijghoogte langs respectievelijk de x'' - en de y'' -as. Het x'' - y'' coördinatenstelsel maakt een hoek α met het x' - y' coördinatenstelsel. De benaderde hoofddassen x' en y' maken een hoek $\alpha/2$ met de gegeneraliseerde hoofddassen. In dit voorbeeld is $T_1 = 1$ m²/dag en $T_2 = 3$ m²/dag.

waarbij $Q_{x'''}$ en $Q_{y'''}$ de componenten zijn van de volumestroomvector langs respectievelijk de x''' - en de y''' -as, en waarbij $E_{x''}$ en $E_{y''}$ de componenten zijn van minus de stijghoogtegradiënt langs respectievelijk de x'' - en de y'' -as. De x'' - en x''' -as vallen niet samen, zij maken een hoek α ; hetzelfde geldt uiteraard voor de y' - en y''' -as (afb. 1).

We hebben nu dus een formulering verkregen die veel lijkt op de gebruikelijke formulering, maar dat toch niet is omdat het assenstelsel voor de stijghoogtegradiënt een hoek maakt met het assenstelsel voor de volumestroomvector. Alleen als de transmissiviteitsmatrix symmetrisch is, dat wil zeggen als $T_{xy} = T_{yx}$ is deze hoek nul ($\alpha = 0$) en vallen de twee gegeneraliseerde hoofddassenstelsels samen, wat de conventionele praktijkformulering oplevert.

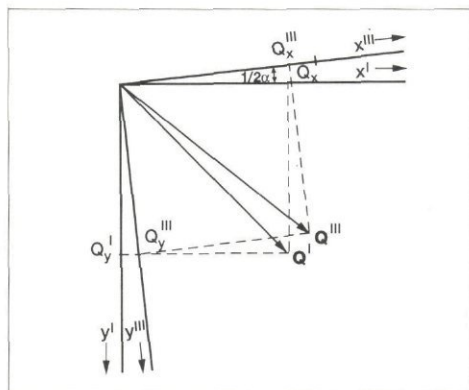
Tot nog toe was de theorie exact. We zullen nu een benadering invoeren om de praktijkformulering terug te krijgen. Hiertoe introduceren we de coördinaten x' en y' , zodanig dat deze halverwege de x'' - en x''' -as en de y'' - en y''' -as liggen (afb. 1) en we benaderen de bovenstaande vergelijkingen met:

$$Q_{x'} = T_1 E_{x'}$$

$$Q_{y'} = T_2 E_{y'}$$

wat de gezochte praktijkformulering oplevert. In deze benadering moeten $Q_{x'}$ en $Q_{y'}$ beschouwd worden als de projecties van $Q_{x''}$ en $Q_{y''}$ op respectievelijk de x' - en de y' -as; evenzo zijn $E_{x'}$ en $E_{y'}$ de projecties van $E_{x''}$ en $E_{y''}$ op respectievelijk de x' - en de y' -as. Voor deze benadering kan worden bewezen dat de energiedissipatie van het door de poriënruimte bewegende grondwater in goede benadering gelijk is aan de dissipatie berekend met de exacte uitdrukking. Met bovenstaande benadering kan dus het pompvermogen benodigd om grondwater te winnen correct worden berekend [Zijl, 1993, pp. 289-294].

De algemeen gebruikte modelcodes (bijv. Modflow) zijn alle gebaseerd op de bovenbeschreven praktijkformulering. Na de berekening moeten we er nu wel rekening mee houden dat de volumestromen $Q_{x'}$ en $Q_{y'}$ projecties op de x' - en y' -as zijn. We moeten ze dus eerst terugrekenen naar $Q_{x''}$ en $Q_{y''}$ op respectievelijk de x'' - en de y'' -as alvorens het stoftransport (stroombanen, reistijden) uit te rekenen (afb. 2).



Afb. 2 - Terugrekenen van de projecties $Q_{x'}$ en $Q_{y'}$ op respectievelijk de x'' - en de y'' -as naar $Q_{x''}$ en $Q_{y''}$ langs respectievelijk de x'' - en de y'' -as; Q' is de met de conventionele interpretatie bepaalde volumestroomvector; Q'' is de volumestroomvector bepaald met de hier voorgestelde gecorrigeerde interpretatie.

Dit betekent dat het grondwater in een wat andere richting stroomt dan die volgend uit de gebruikelijke interpretatie.

De praktische conclusie is: de hoek α waarover de richtingscorrectie moet worden uitgevoerd is een extra parameter, die bij de kalibratie van een model mag worden gebruikt.

Literatuur

- Zijl, W. (1991). *De anisotrope transmissiviteit van heterogene aquifers*. H₂O (24) 1991, nr. 19.
 Zijl, W. (1993). *Scale Analysis in Groundwater Hydrology*. VUB-reeks Hydrologie, nr. 24.
 Zijl, W. en Nawalany, M. (1993). *Natural Groundwater Flow*. Lewis Publishers, Boca Raton.

Saneringsprogramma waterbodembodem rijkswateren 1995-2010: nadruk op realiseren depots voor berging baggerspecie

Het budget voor waterbodemsanering voor de komende jaren zal grotendeels worden ingezet voor de realisering van depots voor het bergen van baggerspecie in het Ketelmeer en het Hollandsch Diep. De minister streeft ernaar om in 1995 met de aanleg van deze depots te beginnen. Dat staat in het saneringsprogramma Waterbodembodem Rijkswateren 1995-2000, dat de minister van Verkeer en Waterstaat, mevrouw A. Joritsma-Lebbink, mede namens de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Tweede Kamer heeft aangeboden. Het programma heeft betrekking op de uitvoering van de waterbodemsaneringen in de wateren waar het rijk waterkwaliteitsbeheerder is.

Deze verdeling van het budget heeft als gevolg dat er relatief weinig geld beschikbaar is voor de voorbereiding van de saneringen. In de jaren 1995-1997 zal, daar waar dat zinvol is, nog nader onderzoek en saneringsonderzoek plaatsvinden. Saneringen zullen echter nauwelijks plaats kunnen hebben, behalve die in het kader van het onderzoek naar reinigings- en scheidingstechnieken, de zogenoemde pilot-saneringen.

Enkele lokaties zullen kunnen worden gesaneerd in combinatie met het onderhoudsbaggerwerk. In dat geval zal het grootste deel van het budget drukken op het onderhoudsartikel voor scheepvaartwegen.

Nieuwe lokaties

In het saneringsprogramma zijn naar aanleiding van het onderzoek vier nieuwe lokaties opgevoerd, waarvan is vastgesteld dat de waterbodembodem ernstig is verontreinigd. Verder zijn tien lokaties op de zogenoemde lage urgentielijst en vier lokaties op de inspectielijst opgenomen. Enkele lokaties in het saneringsprogramma komen eveneens (gedeeltelijk) voor op de provinciale bodemsaneringsprogramma's.

Medio dit jaar is de pilot-sanering in de haven van Elburg uitgevoerd. Bij die sanering is geëxperimenteerd met een baggertechniek en is uitgetoetst om in een kleine haven gedurende een relatief korte periode zeer precies te baggeren, in het bijzonder op taluds. De uitkomende vervuilde baggerspecie is in een scheidings- en reinigingsinstallatie in Den Helder verwerkt. Het vrijkomende

zand is afgezet bij verschillende projecten en het uiteindelijke residu is op een stortplaats gestort. De eerste indrukken zijn positief. Een evaluatie van het gehele werk wordt thans opgesteld.

Ook over de sanering van het Zeehavenkanaal in Delfzijl zal een evaluatie worden opgesteld.

Effect Wet Bodembescherming

Wanneer de voorziene uitbreiding van de Wet Bodembescherming met bijzondere regels voor de sanering van de waterbodembodembodem van kracht wordt, zal ook voor de waterbodems in rijkswateren een jaarlijks saneringsprogramma volgens wettelijke regels moeten worden opgesteld, dat bij de begroting zal worden ingediend. Het ontwerpvoorstel voor uitbreiding van de Wet Bodembescherming voorziet dan ook in een inspraakregeling voor dit saneringsprogramma.

Lijsten

De nieuwe en afgevoerde lokaties, lage-urgentielijst en inspectielijst zien er als volgt uit:

Nieuw opgevoerd:

Amerongen-Kribvakken, Stavoren-Spoorhaven, Harderwijk-Lorenzhaven, Den Oever-Visserhaven.

Definitief afgevoerd:

Pampushaven, Havens Enschede, Sluis Eefde, Zwolle-IJsselkanaal-Rivierpand.

Lage urgentielijst:

Lobith-haven Kijfwaard, Vluchthaven Doornenburg, Rosandepolder (Kraanhaven), Wolphaartsdijk-havens, Kortgeneshavens, Oostwatering jachthaven, Kerkwerf-jachthaven Flauwers, Plaat van Oude Tongen*, Ketelmeer-diepe putten*, Doornenburg-vluchthaven*

*nieuw op de lage urgentielijst

Inspectielijst

Scheepswerf Huissen, Inlaat centrale Harculo, De Steeg-IJsselbocht, Bergen op Zoom-Theodorushaven. (Persbericht ministerie van V & W)