

Brieven

Doorlatendheidsmetingen: absolute noodzaak of luxe uit het verleden ?

Onder deze titel gooien Pomper en Weerts met een welgemikte worp een knuppel in het hoenderhok. Het antwoord wordt, o.a. door Boukes (dispersie bestaat niet), min of meer al gegeven in hetzelfde nummer van STROMINGEN.

Natuurlijk is inzicht in de doorlatendheid van de bodem van groot belang, de noodzaak wordt eerder groter dan kleiner. Naast het gebruik voor allerlei hydrologische berekeningen zoals invloedsberekeningen, bemalingen etc. is met name het verdelingspatroon van doorlatendheden binnen een watervoerende laag van groot belang bij het onderzoek naar de verspreidingsmogelijkheden van verontreinigd grondwater. Wanneer echter de kosten van gedetailleerd veldonderzoek worden afgezet tegen de baten, dan schrikt men begrijpelijkerwijs terug voor de uitvoering.

Doorlatendheidsmetingen zijn en blijven toch een absolute noodzaak, daar valt niet aan te twijfelen. Twee vragen die ik in deze reactie op het artikel van Pomper en Weerts wil behandelen, zij het niet uitputtend, zijn:

- 1 Kunnen doorlatendheden goedkoop/efficiënter worden bepaald?
- 2 Hoe kunnen verschillende methoden om doorlatendheden te meten aan elkaar worden gerelateerd?

Om met de eerste vraag te beginnen: al in de zeventiger jaren is binnen het toenmalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) geëxperimenteerd met een zogenaamde 'puntbron'. Door ir. G.A. Brugge-man was reeds een formule afgeleid, voor de invloed van een grondwateronttrekking aan een bolvormig pompfilter. Het grappige van de formulering was dat het meten van het

potentiaalverval in de verticaal (dus waarnemingsfilters onder of boven het pompfilter) leidde tot het bepalen van een *horizontale doorlatendheid*.

Voor een bolvormig filter luidt de relatie tussen onttrekking en potentiaaldaling (op de rand van het filter):

$$Q = 4 a k r_0 h$$

waarin:

Q = onttrekkings- (of infiltratie)debiet [L³/T]

k = doorlaatfactor [L/T]

r₀ = straal van het bolvormig filter [L]

h = potentiaaldaling op de rand van het filter [L]

[interne notitie Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 4 oktober 1978]

Het implementeren van de methode stuitte op allerlei bezwaren. In de eerste plaats werd het systeem ontwikkeld voor de toepassing in boorgaten. Bij toepassing van kleine debieten speelt de vorm en doorlatendheid van het boorgat al gauw een overheersende rol. Bij grotere debieten moet een groter filter in een groter boorgat worden gemaakt, de kostenbesparende effecten zijn dan gering.

Ook het meten van de—bij kleine debieten horende—geringe potentiaalverschillen bleek (toen) een probleem. Het bolvormig filter stierf daarom een vroegtijdige dood.

Toch is het principe latent blijven voortbestaan; Grondmechanica Delft heeft ook pogingen ondernomen het toepasbaar te maken en had daarbij het voordeel te kunnen beschikken over de sondeertechniek. Hierdoor vervalt het geometrieprobleem van het boorgat grotendeels en kan ook veel goedkoper dan bij de boortechniek een filter worden aangebracht.

In de tachtiger jaren werd de *dipoolsonde* ontwikkeld. In de sondeerstang werd een pomp- en een injectiefilter ingebouwd, daartussen werd het potentiaalverval gemeten

met behulp van rekstrookjes. Het principe van deze opstelling vertoont sterke gelijkheid met de meting van de elektrische weerstand (Wenner-opstelling). [Rietsema en Viergever, Design parameters in geotechnical engineering. BGS, London, 1979, Vol. 2]

Hoewel met de dipoolsonde de problemen van de boortechniek konden worden omzeild, is ook de dipoolsonde geen succes geworden. Hoofdoorzaken daarvan waren problemen met het onttrekkingsfilter dat verstopte tijdens de meting en de invloed van anisotropie als gevolg van de vrij grote afstand tussen het pomp- en het infiltratiefilter.

Een laatste ontwikkeling betreft de *monopoolsonde*. Eveneens door middel van de sondeertechniek wordt een (injectie)filter in de grond gebracht. Op vastgestelde afstanden van het injectiefilter worden, ook weer in de verticaal, twee meetfiltertjes aangebracht. Het potentiaalverval over deze filtertjes wordt gemeten. Een eenvoudige berekening levert de horizontale doorlatendheid op.

$$dh = C * \frac{Q}{k}$$

Hierin is:

- Q = infiltratiedebiet [L^3/T]
- dh = potentiaalverval over de potentiaalmeetpunten [L]
- C = constante, bepaald door de geometrie van infiltratiefilter en potentiaalmeetpunten. Bij een lijnfilter geldt $C = 0,943$
- k = doorlaatfactor [L/T]

Bij de eerste proefmetingen in 1994 bleken de berekende k -waarden aanzienlijk hoger te zijn dan werd verwacht. Voor een deel kon dit worden verklaard door het corrigeren van de interpretatieformule op de conusdiameter. Bij een conusdiameter van 36 mm bedraagt de constante $C = 0,74$.

Wat (nog) niet in rekening is gebracht is de gelaagdheid van de formatie waarin wordt gemeten: de formule is afgeleid voor een oneindig uitgestrekt homogeen, isotoopstromingsveld. Aangezien dit soort stromingsvelden nogal schaars zijn, is het zinrijk om tenminste te corrigeren op de invloed van de gelaagdheid van de bodem; hetgeen vrij eenvoudig kan gebeuren door het spiegelen ten opzichte van de inhomogeniteiten.

Desondanks blijven, in vergelijking met regionale bepalingen (pomp- en putproeven) de gemeten k -waarden aan de hoge kant. Dit brengt ons op de tweede vraag, namelijk hoe kunnen we de verschillende waarnemingen aan elkaar relateren.

Het begrip 'schaaleffect' speelt een rol. De invloed van de support (invloedsgebied) van een bepaalde meetmethode is gedefinieerd als het 'schaaleffect'. Voor de vertaling van een meting met beperkte 'support' (bv. monopoolmeting, zeefanalyse) naar een overall-doorlatendheid (bv. resultaat pomp-proef) kan een correctiefactor worden afgeleid. De wijze waarop dit zou moeten gebeuren is in de literatuur beschreven [Desbarats, 1992].

Achtergrond van deze afwijking is, dat de verwachtingswaarde van een puntmeting overeen komt met het rekenkundig gemiddelde van de doorlatendheid, voor een meting met een grote support is dat het gewogen gemiddelde.

Inmiddels wordt door Grondmechanica Delft, in opdracht van Rijkswaterstaat DWW onderzoek gedaan naar de wijze waarop deze correctiefactoren in rekening moeten worden gebracht. Overigens, dit schaalprobleem is inherent aan de schaal waarop gemeten wordt, een correctiefactor is zodoende eveneens noodzakelijk voor andere kleinschalige proeven zoals zeefanalyses en Hooghoudt-proeven etc. Een en ander kan ook een (gedeeltelijke) verklaring geven voor de discrepantie die wordt gevonden tussen de resultaten van uit boorbeschrij-

vingen afgeleide doorlaatfactoren versus de resultaten van pompproeven.

Twee soorten k-waarden?

Wat betekent het voorgaande nu praktisch?

In de eerste plaats moet worden geconcludeerd dat - in relatie tot het bepalen van een overall-k-waarde of een kD-waarde, men er op bedacht moet zijn dat bij het 'domweg' superponeren van gemeten k-waarden (met kleine support), de dikte van de bemeten laag, het risico bestaat dat de bepaalde kD-waarde (aanmerkelijk) te groot is. Bij het voorspellen van de hydrologische gevolgen van een onttrekking of het dimensioneren van een bemaling kan dit leiden tot onder- c.q. overschatting van het probleem.

Anderzijds kan het wel eens zo zijn dat bij het bepalen van verspreidingsrisico's van verontreiniging de bepaalde k-waarden beter aansluiten bij de werkelijkheid. De gemiddelde stroomsnelheid is eerder afhankelijk van de rekenkundig gemiddelde k-waarde dan van de gewogen gemiddelde k-waarde.

Je zou dus kunnen stellen dat de relevante k-waarde die wordt gevraagd, in sterke mate afhankelijk is van het op te lossen soort probleem c.q. de probleemsupport.

Hoe bruikbaar is de monopoolsonde?

Als meetmethode is de monopool, in vergelijking met gebruikelijke technieken een zeer kostenefficiënt en betrouwbaar instrument. De uitvoering door middel van de sondeertechniek en de duur van elk proefje afzonderlijk (circa 15 minuten) maakt het mogelijk om - met behulp van een gewone sondeerwagen - enkele tientallen k-waardebepalingen per dag uit te voeren. In een sondering kan bijvoorbeeld elke meter een meting worden uitgevoerd. Uiteraard is de diepte beperkt tot de maximale sondeerdiepte.

Hoewel—om bovenvermelde redenen—nog niet een 'absolute' k-waarde kan worden geleverd is het instrument bij uitstek geschikt om de variaties in doorlatendheid

zowel in verticale als horizontale zin zichtbaar te maken. Toepassingsmogelijkheden zijn zodoende bijvoorbeeld locatie- en tracéverkenningen. Nader onderzoek hiernaar is gaande.

Met het oog op het onderzoek naar verspreidingsmogelijkheden van verontreinigingen kunnen met behulp van de monopoolsonde vrij eenvoudig variaties in doorlatendheden in kaart worden gebracht. (zie ook de artikelen van Wipfler, Veling en Maas en het artikel van Boukes, in de vorige aflevering van STROMINGEN).

John Lambert
Grondmechanica Delft
Postbus 69
2600 AB Delft
Tel: (015) 269 38 42
Fax: (015) 261 08 21
E-mail: Lbt@delftgeot.nl

Dispersion exists and permeability not

Introduction

I have read with interest the article entitled "Dispersie bestaat niet", by H. Boukes (STROMINGEN, Vol. 2, page 39). The underlying thesis in Boukes' discussion is that we must not confuse our conceptual description of the reality with the reality itself. He points out that too often we consider our conceptual models and the corresponding 'medium properties' to be the real thing. I certainly submit to this proposition. Indeed, a model is only a falsification of the reality (the positively-thinking people refer to it as an "idealization of the reality"). However, the fact that our models are not the reality does not mean that the reality does not exist. I am not saying that Boukes thinks that way, but his discussion of dispersion, the logic employed, and his conclusion that dispersion doesn't exist, are tantamount to such a confusion. Whether a phenomenon exists is one thing, and our explanation of

how and why the phenomenon occurs is a different thing.

Dispersion exists

Dispersion is a phenomenon which we observe in our experiences with the real world. Boukes describes the dispersion phenomenon when he explains that “Het bleek echter dat een scherpe scheiding tussen verontreinigd en niet-verontreinigd water tijdens bodempassage geleidelijk vervaagde.” The spreading of a front is a real phenomenon which definitely exists and deserves to have a name. We cannot call it groundwater flow because groundwater flow exists even if there is no contamination front. It is now established practice to call it the ‘hydrodynamic dispersion of a dissolved matter’. Why this phenomenon happens and how it should be quantified is a different story. A widely-accepted model of dispersion constitutes two parameters called longitudinal and transversal dispersivities. I would have had much less problems with Boukes’ article if he had instead declared that *dispersivity* does not exist. In fact, reading through the article, I would say this is what he means: he points out that “de mate van dispersie, uitgedrukt in dispersielengte” is strongly dependant on the scale and dimensionality over which the flow problem is studied. This is absolutely correct. Boukes sees this fact as a strong argument against the validity of the dispersion concept. I would, however, see this as a shortcoming of our way of description of dispersion. In fact, any theory has shortcomings and limitations and the dispersion theories are no exception. Dispersion is not a computational trick (reken-truc); it is a reality. Even dispersivity may not be called a computational trick; it is a model parameter.

Permeability doesn't exist

The fact that our model parameters and variables are only concepts which exist in our minds and models, holds not only for dis-

persion coefficients but also for many other familiar parameters. Take the permeability (or conductivity) coefficients. Boukes suggests that “[...] zal de resterende dispersie dus verdwijnen, als alle heterogeniteiten (in de ruimte en in de tijd) van de bodem in het model zijn opgenomen.” He then goes on to conclude that “Daarmee hoort dispersie tot de model-wereld, en niet tot de werkelijke wereld.” Hereby, he implies that other medium properties are part of the real world and not the model world. I presume one of the medium properties he has in mind is permeability. One gets the impression that Boukes believes that permeability does exist. Well, the fact is that permeability is as fictive as the dispersivity is. The same goes for viscosity; and pressure; and compressibility; and porosity; and diffusion coefficient; and many other familiar variables and parameters. If we take the description of Boukes that “[...] in feit bestaat de bodem uit een systeem van gangetjes tussen de bodemdeeltjes door” then there is no need for introducing porosity and permeability at all. One simply needs to solve the continuity and Navier-Stokes equations for water in interstitial pore spaces to obtain a complete picture of the flow field. Then, if molecular diffusion is negligible, there would be no need for any dispersion theory and dispersivity. But there won't be any need for Darcy's law, porosity and permeability either!

It is a question of scale

The confusion here is about the role of scale in our conceptual models. Whether a parameter exists or not depends on the scale of observation and description. Parameters and variables may appear and disappear with the change of scale. Viscosity is a good example. In reality (Oops! I mean in our models) water consists of molecules of H₂O and other substances. If one studies the flow of groundwater at the scale of molecules, there is no such a thing as viscosity. There

is only collision, attraction, and repulsion among moving molecules. If we take these three effects into account, then, theoretically speaking, with the aid of an appropriate model we can obtain an accurate picture of the flow velocity field. Note that at this scale, there exists no such a thing as pressure either! Now, if we go to a higher scale (for example, the scale of pores) and consider the water to be a continuum matter, viscosity and pressure come into existence. At this scale we cannot directly describe mechanical interactions among molecules. These effects are then lumped into a quantity called stress tensor. A specific model of the continuum water (that is, the Newtonian fluid model) prescribes the existence of pressure and viscosity. Thus, viscosity is nothing but a fudge factor (mats-faktor) which masks our ignorance of the details of molecular motions (More positively-thinking people say the stress tensor accounts for the deviations of the actual velocity of molecules from average velocity.) Now, if we go to a higher scale of description (and observation) of the porous medium (the so-called Darcy scale), then again viscosity is not needed. That is, the flow is not a viscous flow any more. Instead, we have to introduce permeability which actually accounts for the lower-scale friction forces acting on water. So, permeability is nothing but a fudge factor which masks our lack of knowledge of the details of friction forces impeding the groundwater movement. Similarly to dispersivity, permeability is scale dependent. Permeabilities determined from laboratory tests on samples of a given rock may differ orders of magnitude from permeabilities of the same rock evaluated from pumping tests. Scale-dependence of transport parameters is a well-known physical reality. Once again consider the viscosity coefficient. In the case of turbulent flow in conduits, instead of describing the details of flow at the scale of eddy currents, we may choose to go to a higher scale and work with a time-av-

eraged velocity field. Then, all of the sudden a much larger value for viscosity coefficient has to be employed. This larger-value coefficient is known as eddy viscosity (Whitaker, 1968). It is actually not a constant but it depends on position as well as the flow velocity. So, you see that even the water viscosity is scale dependent. The resemblance to the relationship between molecular diffusion coefficient and hydrodynamic dispersion coefficient is striking!

We need better theories

The fact that dispersivity and permeability are similar concepts does not mean that they both have the same value and significance. In fact, dispersion is often a second order effect when transport of solutes over large distances are studied. This second order effect, however, is some cases the only mechanism of spreading of a solute and it cannot be neglected. Examples are near stagnation points or groundwater divides where flow velocities are low. Also, in a (homogeneous) layer with horizontal groundwater flow, lateral dispersion is an effect which may not be neglected as often the transport distances of interest (for example from a contamination source to a well screen above the source) are quite short. Unfortunately, dispersion is a more complicated phenomenon to describe than groundwater flow. Current theories have important shortcomings. In particular, in the case of large-scale dispersion (also called macro dispersion) the dispersivity coefficients of the classical hydrodynamic dispersion theory cannot be determined uniquely. We need better theories. For example one should take into account the growth of dispersion with time and distance. The article by Wipfler et al. (1996) in the latest issue of STROMINGEN discusses one such theory (see also Hassanizadeh, 1996). But again dispersion is no exception. The need for improved theories exists not only for dispersion but also for other transport-related

phenomena such as adsorption, biological decay, and even flow in media with large-scale heterogeneities.

In summary

Dispersion is a phenomenon which is observable in many of our daily and scientific experiences. It is a process completely distinct from (ground)water flow. Theories are employed to describe this phenomenon. Admittedly, compared to (ground)water flow theories, dispersion theories are more difficult to parametrize and have been less successful in practice. Nevertheless, parameters of dispersion theories have more or less the same status as the flow parameters. Many of the criticisms of dispersion parameters may apply, in various degrees, to other medium properties. If dispersivity is a fudge factor; so is permeability; if dispersivity is scale dependent; so is permeability; and if dispersivity is non-existent, so is permeability.

References

- Hassanizadeh, S.M. (1996)** On the transient non-Fickian dispersion theory; in: *Transport in Porous Media*, vol 23, nr 1, p 107–124.
- Whitaker, S. (1968)** Introduction to Fluid Mechanics; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Wipfler, L., E. Veling and K. Maas (1996)** Een nieuw transport model voor verontreiniging in het grondwater; in: *Stromingen*, vol 2, nr 1, p 13–25.

S. Majid Hassanizadeh
Department of Water Management,
Environmental and Sanitary Engineering
Delft University of Technology
Faculty of Civil Engineering
P.O. Box 5048
2600 GA Delft
Tel: (015) 2787346/5074
Fax: (015) 2784951
E-mail: Majid.Hassanizadeh@ct.tudelft.nl

Reactie van H. Boukes:

Sowieso waardeer ik elke reactie op mijn artikel, maar ik ben bijzonder blij met zo'n scherpe en hoogwaardige aanvulling. Hoewel ik Hassanizadeh nooit gesproken heb, heb ik in discussies inderdaad wel eens beweerd dat de werkelijkheid niet bestaat. Dat standpunt moest ik dan meestal gelijk nuanceren, en dan werd het ongeveer: de werkelijkheid is zo complex dat we haar zonder schematisaties niet kunnen hantieren. Dat geldt voor alles in het leven, voor de politiek, voor de techniek, voor sociale contacten. In feite is het een levensfilosofie, die in de hydrologie leidt tot het gebruik van rekenformules.

Toepassing daarvan is vaak verrassend, zeker wanneer je gaat op- en neerschalen. De toelichting van Hassanizadeh over verschijnende en verdwijnende parameters bij het opschalen van het molecuul-niveau naar een watervoerende pakket bevat voor mij veel nieuwswaarde. Het verhaal is echter niet strijdig met mijn bijdrage, het is voor mijn gevoel een gedegen aanvulling.

Hassanizadeh stelt verder dat dispersie bestaat, want je kunt het waarnemen. Voor een deel is dat natuurlijk een definitiekwestie. In de lijn van mijn artikel zou ik zeggen: heterogeniteit bestaat, want ik zie de effecten daarvan, die Hassanizadeh dispersie noemt. Terecht zegt Hassanizadeh dan: 'Ja, maar als je het zo bekijkt bestaat de doorlatendheid ook niet'. Dat klopt, want in feite zie je de effecten van een stelsel van poriën (dat beeld is op zich ook al weer een schematisatie), en dat noem ik doorlatendheid.

We zijn het dus wel eens over hoe de feiten liggen. Maar mogelijk verschillen we van mening over hoe je er mee om zou moeten gaan. Als argument voor het bestaan van dispersie voert Hassanizadeh aan dat er bijvoorbeeld bij stagnatiepunten toch stoftransport optreedt. Ik wijt dat doorgaans aan de nauwkeurigheid van het

model: het stationaire model zal er best een stagnatiepunt berekenen, maar hoe korrekt is die berekening, en dan met name de aanname van stationaire stroming?? Ligt zo'n punt in werkelijkheid wel altijd op dezelfde plaats?? Zou het niet zo zijn dat in droge jaren het stagnatiepunt verder van de ont-trekking ligt dan in natte jaren??? Ofwel: is mijn stationaire model wel waar??

Die onnauwkeurigheid van het stationaire stromingsmodel kun je bij stoftransport verrekenen met dispersie. Je kunt ook een instationair stromingsmodel bouwen. Het voordeel van de tweede methode is dat je de oorzaak van dispersie benoemt. Uiteraard blijft er dan nog wel 'dispersie' over, maar in principe zou je het model zo ver kunnen verfijnen dat dat verwaarloosbaar wordt.

Hassanizadeh zegt dat er betere theorieën nodig zijn. Persoonlijk ben ik meer op zoek naar een praktische manier om heterogeniteiten in een model te integreren. Met de beschikbare numerieke modellen hoeft is allerm minst moeilijk, en naar ik stellig geloof, zelfs de beste beschrijving van wat er feitelijk aan de hand is.

Bij de 'theoretici' zie ik tot dusver -soms wiskundig geniale- vondsten, die met elkaar gemeen hebben dat ze de oorzaak van dispersie buiten beeld willen laten. Dispersie blijft dan een 'black box', een ongedefinieerde ruis op het stoftransport. Bovendien zijn deze theorieën 'more difficult to parametrize, and compared to (ground)water flow theories less successful in practice'.

We verschillen dus niet zo veel van mening over wat er wel en niet waar is. We hebben wel andere ideeën over de manier waarop we vooruitgang kunnen boeken bij het beschrijven van stoftransport. Ik ben er voorstander van om nu maar eens met de praktijk aan de slag te gaan, en 'slimme manieren' te verzinnen om heterogeniteiten in het model op te nemen. Daar is volgens mij meer behoefte aan dan aan weer een nieuwe theoretische afleiding.

Daarbij hoop ik dat 'theoretici' mij kritisch willen volgen, want de beste manier om vooruitgang te boeken, is dat je in gesprek blijft met mensen die anders tegen bepaalde problemen aankijken, al is het alleen maar om je nog eens te bezinnen of de gevolgde aanpak wel verantwoord en efficiënt is.

De bijdrage van Hassanizadeh is daarom wat mij betreft behalve inhoudelijk, ook als 'doorstart' van dit gesprek zeer waardevol. Misschien zouden lezers van het blad STROMINGEN die in de praktijk al dan niet bevredigende resultaten hebben bereikt met het toepassen van dispersie in modellen, deze ervaringen met ons willen delen.

Harry Boukes