
Boekbespreking

**Fluid Physics in Geology:
An Introduction to Fluid Motions on Earth's
Surface and Within Its Crust**

door David Jon Furbish; Oxford University Press, 1997, 476 pagina's, gebonden, ISBN 0-19-507701-6, prijs: £ 47,50, f 166,50.

De meeste boeken over grondwaterhydrologie bespreken in de eerste hoofdstukken de wet van Darcy – de basis van de meestgebruikte grondwatermodelleerprogramma's. De wat betere boeken vertellen daar nog bij dat er voor deze wet bepaalde aannamen worden gedaan: er wordt verondersteld dat water niet samendrukbaar is, dat de viscositeit geen rol speelt en dat er geen turbulentie is. In een enkel goed boek wordt nog aan de hand van voorbeelden verklaard waarom die veronderstellingen dan wel gedaan mogen worden en onder welke voorwaarden. Vervolgens gaat men ervan uit dat die voorwaarden algemeen geldend zijn en begint leuk aan de afleiding van een vergelijking voor regionale stromingssystemen tussen twee kanalen op een cirkelvormig

eiland met een onttrekking in het midden en in het derde watervoerende pakket.

Van begin af aan had ik enige moeite met de grondwaterhydraulica; niet zozeer omdat de formules ingewikkeld waren, maar gewoon omdat ik het niet geloofde. Het strookte niet met mijn taal- en natuurkunde-'gevoel'. Neem nu bijvoorbeeld die kD uit de formule van Darcy. De k uit kD (KD , Kd , kd ?; het blijft rommelen met de hoofd- en kleine letters) stelt soms een doorlatendheid voor. Nou vertaal ik zelf doorlatendheid onder andere met transmissiviteit, maar laat dat nou net de doorlaatcapaciteit (kD) zijn...

Hier begint de verwarring al. We kunnen dus beter verder gaan in één taal, wat maar matig lukt met al de Engelstalige handboeken. Overigens helpt ook dat niet: capaciteit is synoniem aan vermogen, maar de doorlatendheid (permeability) is het *vermogen* van de grond om vloeistof door te laten. Dat zou ik dus doorlaatcapaciteit willen noemen, maar dat is wat anders.

Terug naar de k -waarde, de doorlaatfactor dit keer. Dit wordt geacht een maat te zijn voor het vermogen van de grond een vloeistof door te laten – een materiaalconstante dus. Alleen is – zo blijkt na bestude-

ring van de kleine Griekse lettertjes – de constante niet constant: hij is afhankelijk van de vloeistof die het materiaal doorstroomt! Daar gaat mijn vertrouwen. Het is u misschien nog niet opgevallen, maar niet elk water is hetzelfde. Het ene water is vers gedestilleerd, het andere komt na zo'n 1500 kilometer verontreinigd aan bij de oeverwinningen van een Midden-Nederlandse waterleidingfirma. Het ene spoelt lekker fris over uw voeten in een heldere bergbeek, het andere stroomt tientallen graden warmer uit de douche of door de buizen van de centrale verwarming. Nou wil het geval dat de viscositeit van zuiver water van 5 °C en van zeg 35 °C met een factor 2 verschilt. Dit betekent dat ook de doorlatendheid van een watervoerend pakket voor dat water een factor twee hoger of lager is! De meesten onder u zullen in de praktijk niet zo snel met 30 °C verschil te maken krijgen, maar 5 of 10 graden hebben we snel te pakken. Denk bijvoorbeeld aan neerslag die 's winters of 's zomers valt. Tegelijk hebben we hier een fijne waterbesparende maatregel te pakken: wie kouder doucht, bespaart bij een gelijkblijvende druk zo'n 50% of meer! Het water vormt haar eigen doorstroombegrenzer.

Ik wilde nu enkele voorbeelden geven van praktijksituaties waar de viscositeit substantiële invloed heeft, maar zal dat in verband met de beperkte ruimte nalaten.

Omdat toch ook exacte fundamentele natuurkundige formules een benadering zullen zijn van de werkelijkheid (veel waarden zullen geschat moeten worden, omdat ze niet bekend en praktisch onmeetbaar zijn) kan de uitkomst van een empirische formule net zo goed als of zelfs beter dan een fundamentele natuurkundige vergelijking de werkelijkheid benaderen. Alleen weten we dat bijna nooit. Omdat het vaak niet van belang is om exact te weten wat er gebeurt zolang maar bekend is wat er ongeveer verwacht mag worden — hoewel dit meestal anders wordt verwoord — zullen de

empirische formules in veel gevallen vol-
doen. De thermometer van Fahrenheit was
ook niet gebaseerd op diepgaande kennis
van de thermodynamica maar voorzag wel
in een behoefte.

Deze inleiding op een boekbespreking wordt
inmiddels wel wat lang, maar ik ben voor
het eerst een (studie- en les)boek tegenge-
komen dat aan dit soort zaken uitgebreid
aandacht schenkt op een natuurkundig cor-
recte en begrijpelijke manier. Alle onder-
stellingen worden uitvoerig besproken en er
worden voorbeelden aangedragen waaruit
blijkt dat onderstellingen onterecht bleken.

Hoofdstuk 1 vormt de inleiding tot de
rest van het boek, dus we gaan snel door
naar hoofdstuk 2 waarin wordt bekeken
waarom en hoe vloeistoffen en poreuze
media als continua worden beschouwd. Het
begint met de moleculaire schaal waarna de
keuze voor het middelen tot continua
onderbouwd wordt. Aan het eind van het
hoofdstuk worden voorbeelden gegeven van
andere methoden om vloeistoffen en poreuze
media te beschouwen, onder meer aan de
hand van een voorbeeld waarbij bodem-
poren worden beschouwd alsof ze een fractale
geometrie bezitten.

Hoofdstuk 3 beschrijft de basis van de
vloeistofmechanica die nodig is om het
gedrag van vloeistoffen te kunnen beschrij-
ven. Het vormt daarmee het fundament
voor de rest van het boek. Newtoniaanse en
niet-Newtoniaanse vloeistoffen – 'Newtoni-
aans' houdt in dat de vormverandering
lineair afhankelijk is van de uitgeoefende
kracht – worden behandeld, evenals de
begrippen viscositeit en wrijvingsloze stro-
ming. Ideale en echte vloeistoffen, dich-
theid, samendrukbaarheid en oppervlakte-
spanning komen aan de orde. Af en toe
staan er in de tekst niet nader toegelichte
opmerkingen die de lezer aan het denken
zetten. Water is bijvoorbeeld vrijwel
onsamendrukbaar, zodat de samendruk-
baarheid bij ondiepe (!) stroming genegeerd

mag worden. Maar soms zijn er gevallen waarbij de samendrukbaarheid uitdrukkelijk een rol speelt: "In fact, the compressible behavior of water is an essential reason that ground water can be extracted from an aquifer by pumping a well." Punt. Ik vraag mij af of iedere student direct hiervan de kern doorziet.

Hoofdstuk 4 beschrijft de thermodynamische eigenschappen van vloeistoffen en kan beschouwd worden als een begeleider van het vorige hoofdstuk. Het leidt de lezer in tot begrippen als specifieke warmte en de Wet van Fourier voor warmtestroming door geleiding. Het idee van een gradiënt wordt afgeleid van een vectorgrootheid. Daarna gaan we verder met vergelijkingen die de fasen van gassen en vloeistoffen beschrijven, waarna de ideale gaswet samen met de eerste wet uit de thermodynamica wordt gebruikt om isobare, isothermale en adiabatische processen te beschrijven. Het is vooral een interessant hoofdstuk voor mensen die zich bezig houden met gevallen waarbij thermische invloeden een belangrijke rol spelen, zoals de dynamiek van magma en geisers, luchtbellens in water, beweging van gletsjers, grondwaterstroming over grote tijd- en ruimteschalen en natuurlijk warmte- en koudeopslag.

Hoofdstuk 5, 'Dimensional Analysis and Similitude', doet uit de doeken hoe door dimensie-analyse vooraf een idee van de oplossing kan worden gevormd, zonder te verzanden in formele mathematische analyses. Het tweede deel – 'similitude' – kijkt naar geometrische, dynamische en statistische overeenkomstigheden tussen verschillende situaties. Een van de voorbeelden behelst het vermogen van spinose foraminiferen (een planktonsoort) om bij het oppervlak van de oceaan te blijven, zonder dat ze naar beneden zakken door de zwaartekracht. Dit deel sluit af met enkele dimensieloze grootheden die van belang zijn, zoals de getallen van Reynolds en Peclet.

Hoofdstuk 6 heet 'Fluid Statics and Buoyancy'. In de tekst staat een enkele keer 'statistics', waar 'statics' bedoeld wordt, maar daar valt omheen te lezen. Opwaartse druk wordt zowel voor vaste objecten als voor vloeistofdeeltjes toegepast, waarna de stabiliteit van een thermisch gestratificeerde vloeistof wordt bekeken.

Hoofdstuk 7 gaat over de kinematica van vloeistoffen: hoe worden bewegingen beschreven, zowel vanuit Langrangiaans als Euleriaans oogpunt. Dit is de eerste stap naar de volledig dynamische beschrijving van visceuze stroming in hoofdstuk 12.

In hoofdstuk 8 wordt de achtergrond van 'behoud van massa' geschetst, zowel voor (on)verzadigde stroming door een poreus medium als voor stroming van pure vloeistof. De St.-Venant-vergelijkingen en Dupuits benadering voor stroming in een onvolkomen aquifer komen aan de orde.

Hoofdstuk 9 is een logisch vervolg op hoofdstuk 8: behoud van energie, vooral van ideale vloeistoffen.

'Inviscid Flows' is de titel van hoofdstuk 10, waarin verder wordt ingegaan op de vergelijking van Euler, waarna expliciet wordt ingegaan op de krachten die versneling van vloeistoffen veroorzaken. Wederom een stap verder naar hoofdstuk 12, waarin de Navier-Stokes-vergelijking wordt behandeld. De Bernoulli-vergelijking komt ook aan bod.

Bij hoofdstuk 11 aangekomen, gaan we 'Vorticity and Fluid Strain' bekijken, waarbij de eerste ideeën over turbulentie om de hoek komen kijken.

Hoofdstuk 12, 'Viscous Flows', vormt de hoeksteen van de wijze waarop de stroming van echte vloeistoffen formeel behandeld wordt, zowel voor Newtoniaanse als voor niet-Newtoniaanse vloeistoffen. Eén van de voorbeelden behelst de stroming van een gletsjer.

Geohydrologen zullen zich thuisvoelen in hoofdstuk 13, 'Porous Media Flows'. De wet van Darcy, het beschrijven van 'hydraulic

conductivity' in tensorvorm, (on)verzadigde stroming, advection en dispersie, specifieke warmte; ze komen allemaal aan bod.

Micrometeorologen daarentegen herkennen veel in het volgende hoofdstuk (14): 'Turbulent Flows'. Het vormt de basis voor hoofdstuk 15: 'Turbulent Boundary-Layer Shear Flows'. Boussinesq en Prandtl komen om de hoek kijken om de klassieke logaritmische snelheidswet voor ruwe grenzen te verkrijgen. Het hoofdstuk sluit af met een korte bespreking van kinetische energieproductie en dissipatie. Die laatste term gebruikten we vroeger 'op school' wel om elkaar duidelijk te maken dat we het niet meer konden volgen: "parakinetische energie-dissipatie".

Wie het uiteindelijk tot hoofdstuk 16 heeft geschopt, is een boel kennis rijker en kan zich nog verdiepen in 'Thermally Driven Flows', waaronder convection in poreuze media. Eén paragraaf behandelt Rayleigh-Bénard-stromingen, waarbij hexagonale convectiecellen door thermisch geïnduceerde stroming van water ontstaan. Hoewel ik het niet in het boek terugvond, kunnen dergelijke patronen – geen convectiecellen, maar golven – ook door geluid ontstaan. Twee jaar geleden vertelde Joan Davis me dat dit een prima manier is om verschillende waters van elkaar te onderscheiden: zelfs wanneer ze chemisch identiek waren, bleek de golflengte alleen gelijk wanneer het watermonster uit exact dezelfde 'populatie' werd genomen. Een vooralsnog onopgehelderd fenomeen: er is meer met water aan de hand dan wij weten.

Voor de literatuurverwijzingen staan nog twee appendices: één met formules bij vector-analyse, en één over orthogonale curvilineaire coördinaten. Daar zijn we nog niet aan toegekomen.

Het boek is helder van opzet en bezit een goede index. De meestal lucide uitleg van soms ingewikkelde fenomenen doet wonderen. De formules die de processen beschrij-

ven staat uitgebreid behandeld, maar op een goed te volgen manier. Het is daarnaast vaak – helaas niet altijd – prima mogelijk om langs de formules heen de tekst te lezen, zodat het ook zonder ingewikkeld te doen snel duidelijk wordt wat de kern van het probleem en de oplossing is. De tekst is bedoeld als een lesboek. Aan het eind van ieder hoofdstuk staan een aantal geheel uitgewerkte 'example problems' – veelal voorbeelden uit de praktijk waarbij de behandelde stof direct toegepast kan worden. De laatste paragraaf van een hoofdstuk bestaat steevast uit 'selected readings', een goede keuze van relevante literatuur, waarbij bij iedere referentie beschreven staat welk onderwerp in het werk behandeld wordt. Het feit dat getijden, gletsjers en golven naast magma en geisers worden behandeld maakt het zeer compleet en aangenaam afwisselend.

Het boek hanteert de SI-normen voor eenheden en grootheden, wat wel zo prettig leest. De prijs vind ik redelijk; helemaal wanneer ik die vergelijk met 'Hillslope Hydrology' van Kirkby – een boek van vergelijkbaar formaat – dat ik vorige week voor f 686,35 op de plank zag staan.

'Fluid Physics in Geology' lijkt me een prima boek voor een gecombineerd derde- en vierde-jaars vak vloeistoffysica. Sommige hoofdstukken gaan qua nut en fysische beschrijving voor hydrologen misschien wat ver, maar wel studieboek bevat alles en niets meer?

Michael van der Valk