

Voorspelling van de mate van verontreiniging van opgepompt grondwater

Inleiding

Tot voor enkele jaren betrof de studie van grondwaterstroming hoofdzakelijk het stromingspatroon van het zich verplaatsende grondwater en de verandering van de grondwaterstand onder invloed van onttrekkingen. Hiervoor zijn analytische en numerieke rekenmethoden beschikbaar gebaseerd op de wet van Darcy. Een dergelijke analyse geeft echter geen informatie over de dispersieve verspreiding van individuele waterdeeltjes en van de opgeloste stoffen omdat alleen

Wiskunde van de Landbouwniversiteit een wiskundige methode toegepast die niet de nadelen van de bovengenoemde benaderingen heeft. De methode is gebaseerd op storingsrekening. De dispersie wordt gezien als een storing die in eerste instantie verwaarloosd wordt. Dit zou inhouden dat, adsorptie buiten beschouwing gelaten, een deeltje in een drinkwaterput aankomt als het start in het intrekgebied van die put en met zekerheid niet aankomt als het daarbuiten z'n startpunt heeft. Hiervoor worden de bestaande

Samenvatting

Voor de bepaling van de mate van verontreiniging van opgepompt grondwater wordt een methode ontwikkeld gebaseerd op storingsrekening. Uitgangspunt is een willekeurig stromingspatroon afgeleid uit de wet van Darcy. Vervolgens wordt het effect van macro-dispersie op de verspreiding van verontreinigingen berekend door analytische benaderingsformules uit de storingsrekening (grenslaagtheorie). De methode is van toepassing op situaties waarin inhomogene dispersie en eerste orde reactie of adsorptie optreden. Er wordt programmatuur ontwikkeld die aansluit op de bestaande software voor advectief transport in grondwater. De methode levert een benadering voor de mate van verontreiniging van een put door een punt-verontreinigingsbron en voor de bijbehorende doorbraakcurve.



M. DE GEE
Vakgroep Wiskunde,
Landbouwniversiteit
Wageningen



J. GRASMAN
Vakgroep Wiskunde,
Landbouwniversiteit
Wageningen



J. J. A. VAN KOOTEN
Vakgroep Wiskunde,
Landbouwniversiteit
Wageningen



O. BUSE
Vakgroep Wiskunde,
Landbouwniversiteit
Wageningen

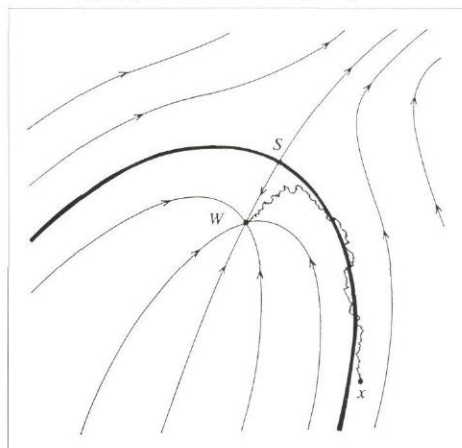
het gemiddelde stromingsveld op macroscopisch niveau wordt bekeken. Voor de verspreiding van een grondwaterverontreiniging zijn de kronkelige paden van individuele waterdeeltjes door de structuur van de bodem van belang. Hiermee kan rekening worden gehouden door dit proces van macro-dispersie in het transportmodel op te nemen. Voor een dergelijk model, waarmee het verloop van de concentratie van opgeloste stoffen in het grondwater berekend kan worden, is het vrij moeilijk om betrouwbare numerieke rekenschema's te ontwikkelen. Een methode, die wel eenvoudig op de computer geïmplementeerd kan worden, is de 'random walk' simulatie-methode. De concentratie van een stof op een bepaalde plaats wordt dan geïnterpreteerd als de kans dat een deeltje zich op die plaats bevindt. Om voor de kans een betrouwbare benadering te krijgen moet het experiment vele malen herhaald worden, waarbij telkens het deeltje uit de beginpositie vertrekt en een willekeurig pad beschrijft met een voorkeursrichting bepaald door het model met advectie en dispersie. De random walk methode vereist daardoor erg veel rekentijd met als consequentie dat niet alle gewenste informatie binnen redelijke tijd geleverd kan worden.

Macro-dispersie en storingsrekening

In een onderzoekproject, gesubsidieerd door de Stichting Technische Wetenschappen, wordt nu bij de vakgroep

rekenmethoden, gebaseerd op de wet van Darcy, gebruikt. Met de storingsrekening wordt nu een correctie op dit resultaat toegepast waarbij rekening gehouden wordt met de dispersie. Deze correctie heeft alleen een merkbaar effect in de directe omgeving van een scheidende stroomlijn die de grens van het intrekgebied van een put vormt. Dergelijke stroomlijnen eindigen in een stagnatiepunt (afb. 1). Vóór de correctie springt de kans op het bereiken van de punt van 1 naar 0 als de startpositie van het deeltje de scheidende stroomlijn kruist. Na de correctie is dit een continue overgang geworden die zich uitstekend laat benaderen door een speciale functie (error-functie). Het gebied van snelle verande-

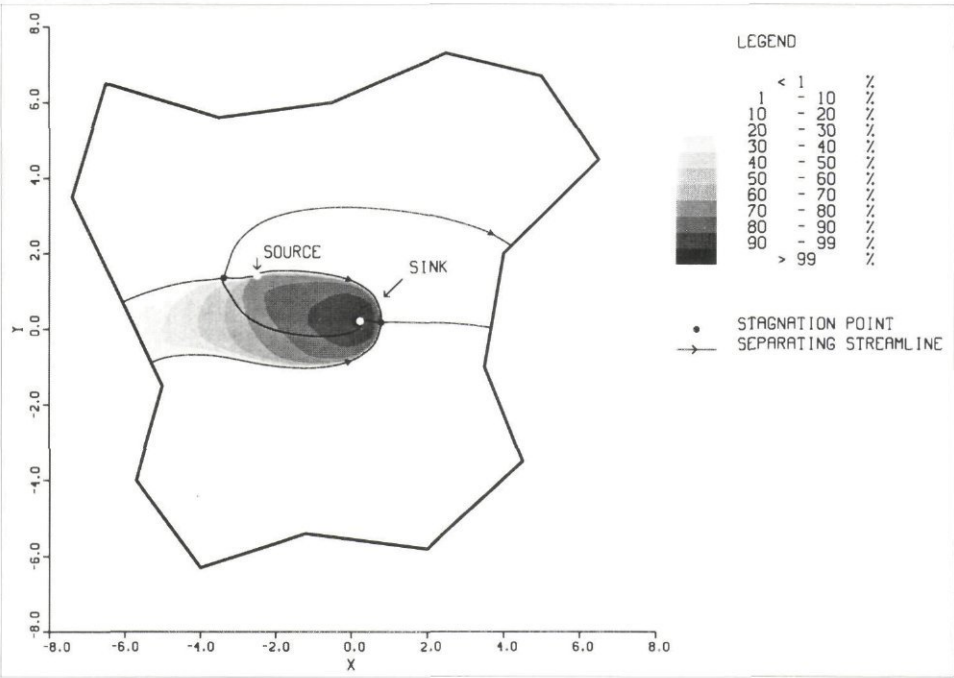
Afb. 1 - Stromingspatroon in de nabijheid van een put met een injectiepunt in de directe omgeving.



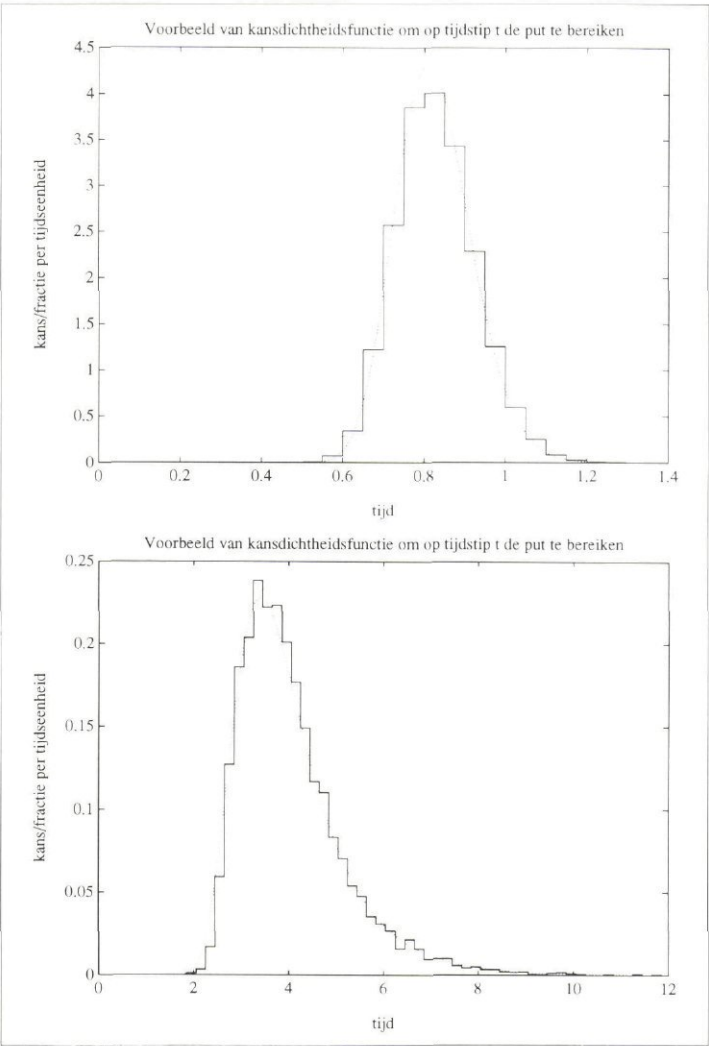
ring van de aankomstkans wordt wel de 'grenslaag' genoemd. Om de correctie te berekenen met de speciale functie moet een transformatie van cartesische coördinaten naar grenslaagcoördinaten uitgevoerd worden.

De nieuw ontwikkelde methode voor het berekenen van de concentratie van stoffen in het grondwater houdt niet alleen rekening met een (in)homogeen dispersief transport, maar ook met eerste orde reacties en adsorptie. Het algoritme kent de volgende stappen. Het advectief-stromingspatroon in een omgeving van één of meerdere putten wordt gegenereerd met een bestaande methode, bijvoorbeeld een eindige elementenmethode. In dit patroon worden de stagnatiepunten en scheidende stroomlijnen gelokaliseerd.

Vervolgens wordt numeriek de transformatie naar grenslaagcoördinaten uitgevoerd en de benadering voor de aankomstkans met behulp van de error-functie berekend. De benodigde rekentijd is vergelijkbaar met de tijd nodig om één random walk te realiseren. Echter om met de random walk methode eenzelfde nauwkeurigheid te bereiken moeten circa 10.000 wandelingen uitgevoerd worden. Door de grote winst in rekentijd is het mogelijk globale contourplaatjes voor de aankomstkans in de put te bepalen (afb. 2). Op deze wijze kunnen in een werkelijke situatie gebieden afgebakend worden waar activiteiten, die een vooraf vastgesteld vervuiliingsrisico te boven gaan, niet toegelaten zouden moeten worden. De methode is vooral geschikt



Afb. 2 - Contourplaatje voor de kans van aankomst van een deeltje in de put met onderweg eerste orde adsorptie.



Afb. 3 - Doorbraakcurve vergeleken met simulatie-resultaten:
(a) binnen het intrek-
gebied van de put

(b) op de rand van het
intrekgebied.

voor het bepalen van de risico's van stoffen die in lage concentraties al schadelijk zijn en van buiten het directe intrekgebied naar binnen diffunderen.

Doorbraakcurven

Niet alleen de mate van verontreiniging van een put maar ook de aankomsttijd van een vervuiling kan met storingsrekening bepaald worden. De verwachtingswaarde en variantie van de looptijd van een deeltje vanaf de vervuilingsplek tot de put kunnen op eenzelfde wijze benaderd worden als de aankomstkans. Het is mogelijk gebleken om op theoretische gronden de waarschijnlijkheidsverdeling van de aankomsttijd zodanig te parameteriseren dat een goede overeenkomst met gesimuleerde doorbraakcurven verkregen wordt (afb. 3).

3-D-stroming

Nu wordt op basis van de storingsmethode, die vooralsnog slechts uitgewerkt is voor 2D-stromingen, software ontwikkeld, die direct aansluit op de bestaande programma's voor de berekening van stromingspatronen. Op zich is er geen belemmering om de methode uit te breiden tot 3D-stroming; dezelfde error-functies treden op. Wel is de transformatie naar grenslaag-coördinaten gecompliceerder.

Literatuur

Herwaarden, O. A. van and Grasman, J. (1991). *Dispersive groundwater flow and pollution, Math. Models and Methods in Appl. Sci.*, 1(1), p. 61-81.
Kooten, J. J. A. van (1994). *Groundwater contaminant transport including adsorption and first order decay*, Stochastic Hydrology and Hydraulics, 8(3), p. 185-205.
Uffink, G. J. M. (1989). *Grondwaterstroming*. Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, A55 (1/2), p. 27-31.

• • •

Rectificatie

In het artikel 'Ontwerppraktijk van persleidingen' van de heren ir. P. S. Kamma, dr. ir. J. V. Witter en ir. F. P. M. van Zijl (*H₂O* nr. 8, pagina 249 e.v.) is in tabel II een fout geslopen. Hieronder volgt de juiste tabel II.

TABEL II - Gemiddelde samenstelling (over 1989 en 1990) van het afvalwater in de beschouwde leidingen.

Samenstelling Afvalwater	A	B	C	D
CZV mg/l	1138	714	673	550
N _{kj} mg/l	47	62	48	47
P _{totaal} mg/l	12	9,0	7,6	6