

Schatting van de hydraulische weerstand van slechtdoorlatende lagen

Inleiding

In het algemeen is de grond niet homogeen en isotroop, maar bestaat uit verschillende lagen, elk met een andere doorlatendheid voor stroming van grondwater. Theoretisch is af te leiden, dat er een plotselinge richtingsverandering van de snelheidsvector optreedt langs de grens van twee lagen met een verschillende doorlatendheid. Deze richtingsafwijking is des te groter naarmate de doorlatendheden der beide lagen meer uiteenlopen.



IR. G. J. HEIJ
RIVM
Laboratorium voor Bodem-
en Grondwateronderzoek

In het hiernavolgende wordt uitgegaan van de schematisering: horizontale stroming in de watervoerende pakketten en verticale stroming in de slechtdoorlatende lagen. Deze aanname geeft geen grote afwijkingen van het werkelijke stromingsbeeld indien de weerstand c van de beschouwde slechtdoorlatende laag veel groter is dan de dikte D van het aangrenzende watervoerende pakket gedeeld door de doorlaatfactor k daarvan, ofwel indien de spreidingslengte λ veel groter is dan D . Voor verticale stroming door een slechtdoorlatende laag geldt:

$$q = \frac{\Delta\phi}{c},$$

waarin:

q = specifiek debiet (m^3/dag per m^2 oppervlak);

$\Delta\phi$ = potentiaalverval over de laag (m);

c = weerstand van de laag (dagen).

De weerstand die een slechtdoorlatend lagenpakket biedt tegen verticale grondwaterstroming kan worden uitgedrukt als:

$$c = \sum_{n=1}^n \frac{d_n}{k_n} = \frac{D}{k},$$

waarin:

c = weerstand van de totale laag (dagen);

d_n = dikte van de afzonderlijke laagjes (m);

k_n = doorlaatfactor van de afzonderlijke laagjes (m/dag);

D = dikte van de totale slechtdoorlatende laag (m);

k = equivalente doorlaatfactor van de totale laag (m/dag).

De doorlaatfactor wordt, behalve door de vloeistofeigenschappen, bepaald door de geometrie van de poriën. De eigenschappen daarvan kunnen ten dele in rekening worden gebracht door de korrelspanning in de beschouwingen te betrekken. Daarnaast speelt

Wanneer geohydrologische berekeningen moeten worden gemaakt voor systemen, waarin een of meer slechtdoorlatende lagen voorkomen, is de weerstand (c -waarde) tot op heden een van de parameters die het moeilijkst bepaald kunnen worden. De in dit artikel aangereikte en beproefde methoden maken een goede schatting van deze parameter mogelijk. Van diverse zijden (Provinciale Waterstaatsdiensten, Ingenieursbureaus) is de afgelopen jaren navraag gedaan naar c.q. gebruikgemaakt van de methodieken die in dit artikel behandeld worden.

ook de structuur van de korrels een rol in de doorlatendheid.

In het hiernavolgende zullen enkele methoden worden besproken ter bepaling van de weerstand die slechtdoorlatende lagen tegen grondwaterstroming bieden. Eerst zal worden stilgestaan bij de bepaling van de c -waarde van een gebied met beperkte (door de gebruikte methode bepaalde) omvang; een zijsprong zal worden gemaakt naar de bepaling van de intreeweerstand van een grote waterloop. Vervolgens zal worden bekeken op welke wijze extrapolatie kan plaatsvinden, teneinde een indruk te verkrijgen van de c -waarden van een gebied met grote omvang. Tenslotte zal worden aangegeven hoe de zo verkregen c -waarden kunnen worden getoetst en bijgesteld.

Bepaling van de c -waarde in een gebied met beperkte omvang

1. In de eerste plaats kan de c -waarde van een slechtdoorlatende laag op een bepaalde plaats met behulp van een pompproef worden bepaald. In het algemeen is voorzichtigheid geboden ten aanzien van c -waarden die via kD - en λ -waarden uit pompproeven zijn verkregen. De indirect uit een pompproef berekende c -waarde is opgebouwd uit de weerstanden van de slechtdoorlatende lagen die het gepompte pakket begrenzen. Indien de grondwaterstijghoogten in de aangrenzende watervoerende pakketten niet zijn beïnvloed door de pompproef, geldt:

$$c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2},$$

waarin c_1 en c_2 de weerstanden van de slechtdoorlatende lagen zijn.

Slechts in gevallen dat c_1 en c_2 sterk van elkaar afwijken geeft deze betrekking een redelijke indruk van de waarde van de kleinste weerstand. Verder kan de uitlevering van water uit de slechtdoorlatende lagen een belangrijke rol spelen. Deze uitlevering treedt op als gevolg van geleidelijk

afnemende waterspanningen in de slechtdoorlatende lagen, door het pompen. Dit veroorzaakt toenemende korrelspanningen met als gevolg inklinking, waardoor water wordt uitgedreven (consolidatieproces). Hiermee wordt echter bij de analyse van pompproefgegevens met 'conventionele' methoden (bijvoorbeeld die van Hantush) geen rekening gehouden, hetgeen alleen gerechtvaardigd is bij relatief dunne slechtdoorlatende lagen. Hoe dikker de lagen zijn des te groter zal de fout in de berekende λ -waarden zijn, indien met deze uitlevering geen rekening wordt gehouden.

2. Een andere methode om een c -waarde te berekenen voor een gebied met een beperkte omvang maakt gebruik van een waterbalans. Indien van een watervoerend pakket onder een slecht doorlatende laag zowel het doorlaatvermogen als de stijghoogten bekend zijn, kunnen de richting en de grootte van de horizontale grondwaterstroming op iedere plaats in dit pakket worden berekend. Van uitgekozen delen van een dergelijk pakket kan dan een waterbalans worden opgesteld, waarin als onbekende de uit het pakket verdwijnende hoeveelheid water zit. Na bepaling van het over een dergelijk gebiedje aanwezige gemiddelde stijghoogteverschil tussen het grondwater onder en boven de slechtdoorlatende laag, kan de c -waarde van deze laag worden berekend. Er dient bij dergelijke berekeningen naar te worden gestreefd dat de gebruikte stijghoogten zo goed mogelijk het gemiddelde grondwaterstromingsbeeld over langere tijd representeren. De weerstand van de in West-Nederland voorkomende afdekkende Holocene klei- en veenlagen kan worden benaderd door waterbalansen op te stellen voor afzonderlijke afwateringseenheden (polders of waterschappen). De waterbalansvergelijking voor een polder luidt:

$$N + K + I + L = E_w + U + O + \Delta B,$$

waarin:

ΔB = bergingsverandering;

E_w = werkelijke verdamping;

I = ingelaten hoeveelheid water;

K = kwel

L = geloosde hoeveelheid (afval)water;

N = neerslag;

O = onttrekking;

U = uitgeslagen hoeveelheid water.

De vergelijking geldt in het geval dat er kwel optreedt. Vindt in plaats daarvan infiltratie (wegzijging) plaats, dan moet de kwelposit in het linkerlid worden vervangen door een infiltratieposit in het rechterlid. De kwel of de infiltratie dient te worden berekend. Hiertoe moeten alle andere posten van de waterbalans bekend zijn. Vaak geeft dit vooral problemen voor wat betreft E_w en ΔB . Het verdient derhalve aanbeveling om de waterbalans op

Gesteld wordt, dat de weerstand van de slechtdoorlatende laag recht evenredig is met de korrelspanning in de laag. (Het blijkt overigens dat, indien een logaritmisch verband wordt aangenomen, hetgeen meer in de lijn ligt van de theorie van Terzaghi, dit voor Nederlandse omstandigheden resultaten geeft die niet veel afwijken van de lineaire relatie).

Indien c recht evenredig wordt genomen met de korrelspanning en de dikte van de slechtdoorlatende laag, bedraagt de weerstand van de gehele laag:

$$c = H \int_0^d \sigma_{kx} dx \quad (10)$$

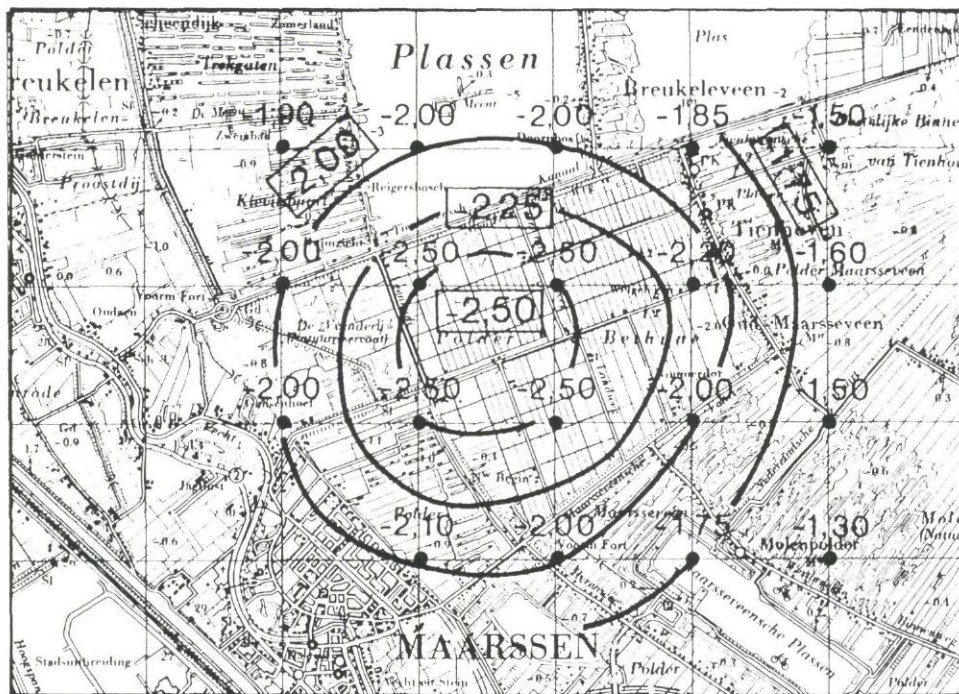
Wanneer voor γ_d , γ_n en γ_w respectievelijk de waarden 1,6, 2 en 1 ton/m³ worden aangehouden, wordt voor c gevonden:

$$c = H d(1,6 h_1 + h + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}\Delta\phi)$$

In vele gevallen kunnen h_1 en $\Delta\phi$ worden verwaarloosd ten opzichte van d en h , zodat dan wordt gevonden:

$$c = H d(h + \frac{1}{2}d) \quad (10a)$$

De evenredigheidsconstante H dient voor iedere slechtdoorlatende laag empirisch te worden bepaald. Voor de mariene Eemklei in de Gelderse Vallei bijvoorbeeld kon uit pompproeven en waterbalansen een H -waarde worden afgeleid van ca. 15 dag/m². Indien de H -waarde van een slechtdoorlatende laag eenmaal bekend is, kan aan de hand van



Afb. 6.

diktekaarten en diepte-liggingskaarten een eerste schatting worden gemaakt van de weerstand in het gehele gebied waar de laag voorkomt.

Toetsing en bijstelling van de c -waarden voor een groter gebied

Indien voor de beschrijving van het geohydrologische systeem van een gebied een numeriek model wordt gebruikt kunnen de ingevoerde grondconstanten met behulp

van calibratie-technieken worden gecontroleerd en aangepast. Onder calibratie wordt hier verstaan het van plaats tot plaats bepalen van de grondconstanten aan de hand van op gemeten stijghoogten gebaseerde isohypsenbeelden. Dit proces komt neer op het zolang aanpassen van de grondconstanten dat het verschil tussen met het model berekende en waargenomen stijghoogten binnen een zekere, vooraf vastgestelde, grens komt te liggen. Dit verschil heet het calibratiecriterium. Aanpassen van de c -waarden kan gebeuren door 'trial and error'. Hierbij kan bijvoorbeeld als volgt te werk worden gegaan.

Met behulp van het model worden per modelknooppunt grondwaterstijghoogten berekend, die worden vergeleken met gemeten waarden (bijv. aan de hand van een isohypsenkaart). Indien in een zeker knooppunt de berekende waarde afwijkt van de waarde die ter plaatse op grond van waarnemingen verwacht kan worden, dient de c -waarde in dat knooppunt te worden gewijzigd. Dit gehele proces kan worden geautomatiseerd, met een gewenste graad van nauwkeurigheid. Om betrouwbare resultaten te verkrijgen dient het potentiaalverschil over de slechtdoorlatende laag in het beschouwde knooppunt wel aanzienlijk groter te zijn dan de mate van nauwkeurigheid waarmee de stijghoogten van het grondwater onder en boven de slechtdoorlatende laag kunnen worden vastgesteld. De orde van grootte van de te bepalen c -waarden dient wel vooraf bekend te zijn. Is dit niet het geval dan is er de kans dat het model een fictief geohydrologisch systeem

Afb. 7.



beschrijft, waarmee wel gemeten grondwaterstijghoogten kunnen worden gesimuleerd, maar dat foutieve uitkomsten geeft bij het voorspellen van de gevolgen van een bepaalde hydrologische ingreep in het beschouwde gebied.

Als illustratie is de berekening van de c-waarden van de slechtdoorlatende laag van de Formatie van Sterksel/Kedichem onder de Bethunepolder (provincie Utrecht) genomen. Gerekend is met een model, dat gebaseerd is op de eindige elementenmethode. De ingevoerde c-waarden (verkregen met formule 10a) zijn weergegeven in afb. 3, de ingevoerde stijghoogten van het grondwater boven de slechtdoorlatende laag in afb. 4. Hiermee zijn in eerste instantie de stijghoogten berekend van het grondwater onder de slechtdoorlatende laag (afb. 5). Als calibratiecriterium werd nu opgegeven, dat het verschil tussen het gemeten en het berekende potentiaalverschil over de kleilaag niet groter mocht zijn dan 10 cm. De gemeten stijghoogten van het grondwater onder de slechtdoorlatende laag zijn verwerkt op het isohypsenkaartje van afb. 6. Bij vasthouden van de stijghoogten boven de slechtdoorlatende laag, werden uiteindelijk met het model de c-waarden verkregen die zijn weergegeven in afb. 7. Voor de (automatische) aanpassing van de c-waarden is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$c_{m+1} = 0,5 c_m \left(1 + \left| \frac{\psi_1 - \psi_2}{\psi_{2,m} - \psi_1} \right| \right)$$

waarin:

ψ_1 , ψ_2 = gemeten stijghoogte boven en onder de slechtdoorlatende laag;

ϕ_2 = berekende stijghoogte onder de slechtdoorlatende laag;

m = de m-de iteratie.

Voor een uitgebreide behandeling van de toegepaste techniek en de ermee verkregen resultaten wordt verwezen naar Heij en Kester 1977.

Literatuur

- Bruggeman, G. A. (1970). *Kwelberekening Spaarbekken Ketelmeer*. RID-mededeling no. 70-1.
Heij, G. J. en Kester, C. G. M. (1977). *De hydraulische weerstand van de Formatie van Sterksel/Kedichem in West-Utrecht*. RID-mededeling 77-7.

Oosthoek introduceert eerste Encyclopedie van het milieu

'De moderne chemische analysetechnieken zijn onvoorstelbaar nauwkeurig, zodat bij wijze van spreken elk molecuul van een ongewenste stof aangetoond kan worden. Maar die stof levert pas gevaar op bij overschrijding van een bepaalde concentratie', aldus prof. dr. J. G. ten Houten bij de introductie van Oosthoek's Encyclopedie van het milieu op 13 juni jl.

'Het feit dat een schadelijke stof is aangetoond is dan ook in de eerste plaats van belang als waarschuwingssignaal voor de milieudeskundigen opdat die zo nodig maatregelen kunnen nemen. De Zwitserse arts Paracelsus zei 450 jaar geleden 'Alles is giftig. Alleen de dosis maakt dat iets geen gif is'. Ik wil dat met een voorbeeld illustreren. Japanners plegen zelfmoord door een paar ons keukenzout in te nemen en u strooit die stof dagelijks met kwistige hand over uw aardappelen zonder er kwalijke gevolgen van te ondervinden. Dat neemt niet weg dat we voortdurend allerlei stoffen in het milieu brengen die daar niet thuishoren en waarvan we de effecten niet kennen, laat staan de accumulatie daarvan. Als u bedenkt dat er ongeveer 50.000 chemische stoffen regelmatig worden gebruikt en dat er jaarlijks enige duizenden bijkomen is er alle reden tot bezorgheid.

Er is een belangrijk principieel verschil tussen de opvattingen van hen die het milieu definiëren vanuit de mens als centrale figuur en van hen die uitgaan van de gehele levende natuur. De eersten beschouwen het milieu als het geheel dat van invloed is op de gezondheid van de mens in de ruimste zin van het woord. De tweede groep meent, dat alles in de natuur met elkaar samenhangt en dat milieu-invloeden die schadelijk zijn voor een deel van de levende natuur doorwerken op andere levende organismen en dus uiteindelijk ook op de mens.

Voor de milieu-encyclopedie is gekozen voor dit bredere milieubegrip. Een milieubegrip dat dus gebaseerd is op de zienswijze van ecologen. Het kan gedefinieerd worden als de som van alle factoren (biotische en abiotische), die voor het leven van mensen, dieren en planten van belang zijn', aldus prof. Ten Houten.

Met Natuurmonumenten

De uitgave is tot stand gekomen in samenwerking met de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland.

De informatie in dit handboek is ondergebracht in 1.500 losse, van elkaar onafhankelijke trefwoorden die alfabetisch zijn gerangschikt. De samenstellers hebben ruim 200 specialisten uitgenodigd om de tekst te schrijven.



Een 29-tal zeer belangrijke onderwerpen kreeg een uitgebreide en thematische behandeling. Voorbeelden van thema's zijn: afval, beleid en bestuur, drinkwatervoorziening, economie, energie, grondstoffen, geluidshinder, gezondheid, landbouw, lucht, natuur- en milieu-educatie, recht, voeding. De eindredactie was in handen van prof. dr. J. G. ten Houten (Wageningen) en prof. dr. H. Gysels (Gent). Het handboek omvat 576 bladzijden en is geïllustreerd met meer dan 800 foto's en verhelderende tekeningen; hiervan zijn de meeste in kleur.

De prijs ervan bedraagt f 149,50/Bfr. 2850.

