
Waarom zijn kD -waarden rondom pompstations altijd hoger?

Wim de Lange

Toen ik jaren geleden begon met het modelleren van het Noord-Nederland model van NAGROM (het NAtionaal GRondwater Model van Rijkswaterstaat), viel mij de typische verdeling op in het doorlaatvermogen rond pompstations in Groningen (figuur 1, uit Grondwaterplan Groningen, 198.). De transmissiviteit loopt bijna als in concentrische cirkels op van ca. 4000 m^2/d tot ca. 7000 m^2/d nabij de winningen. Omdat mij hetzelfde ook opviel op diverse plaatsen in het toenmalige Grondwaterplan Drenthe (1985), ben ik gaan zoeken naar een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel.

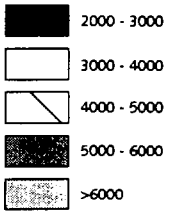
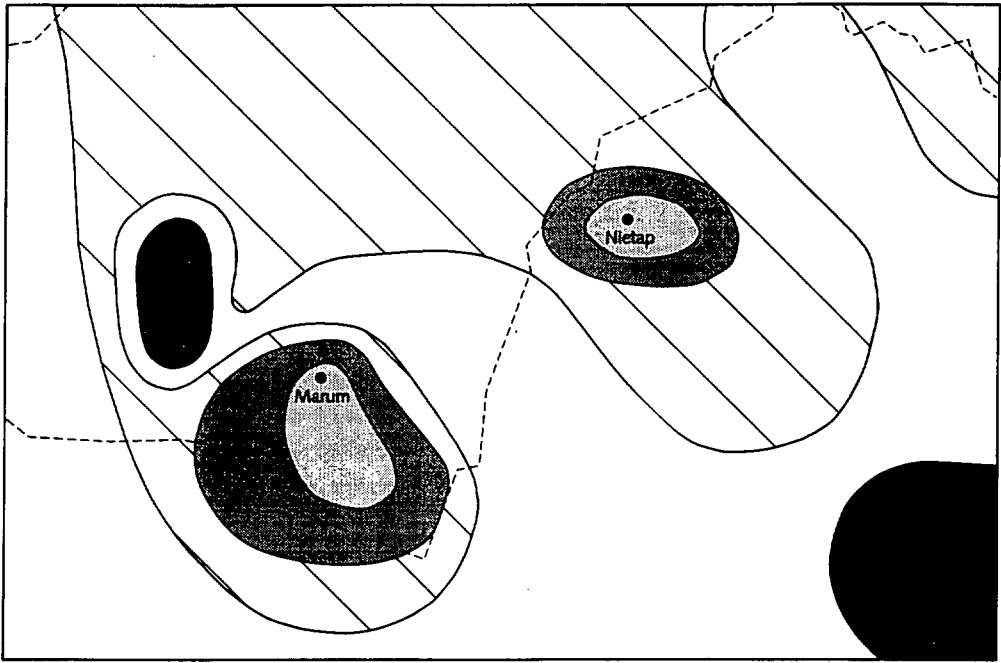
In een gelaagd watervoerend pakket zijn de beter doorlatende delen van elkaar gescheiden door de slechter doorlatende delen. In een groot systeem zullen er altijd gebieden ingesloten raken tussen slechter doorlatende laagjes. De schaal waarop dat gebeurt, is afhankelijk van het type (bijvoorbeeld mariene of fluviatiele) afzetting. De natuurlijke grondwaterstroming zal door alle lagen stromen en kan worden gezien als een min of meer gelijkmatige (uniforme) grondwaterstroming. Een winput zal het watervoerend pakket over een groot deel verticaal doorsnijden en staat daarom in verbinding met alle beter doorlatende delen op die plaats. Vlak rond de put (gebiedsgrootte afhankelijk van afzetting) kan het grondwater ongestoord door alle beter doorlatende delen toestromen. Verder van de put worden de beter doorlatende delen weer ingesloten door de slechter doorlatende laagjes en gaat het systeem weer werken zoals onder natuurlijke stroming.

De wiskundige beschrijving die ik er hierna van geef, heeft sterke relaties met het verschijnsel schalen, zoals bijvoorbeeld Marc Bierkens in zijn proefschrift (Bierkens, 1994) heeft behandeld. Alleen baseer ik mij hier op een heel eenvoudige, handmatige berekening gebaseerd op parallelle en in serie geschakelde doorlaatvermogens.

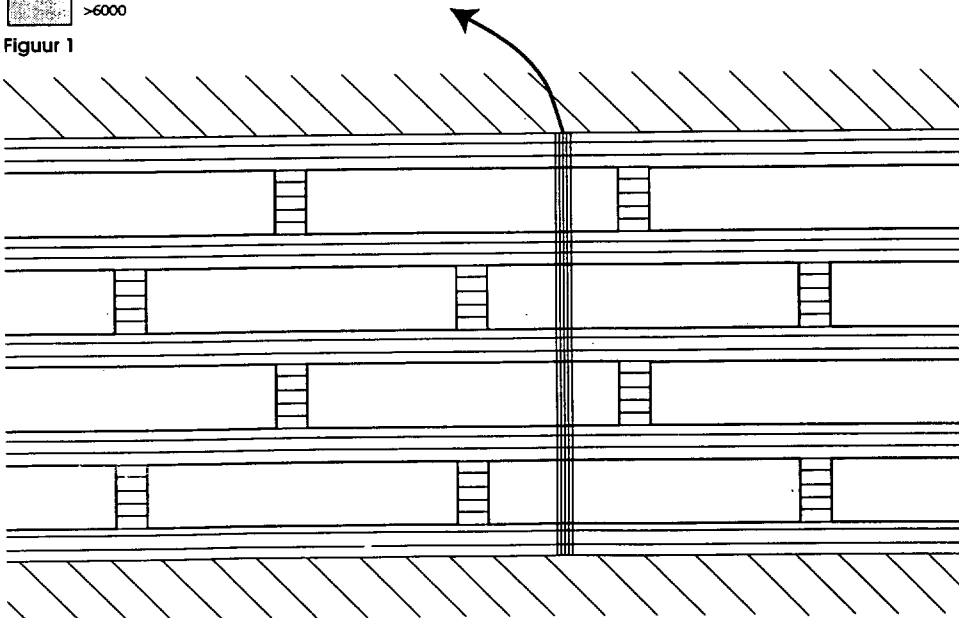
Figuur 2 geeft een geschematiseerd beeld van een gelaagd watervoerend pakket waarin de beter doorlatende delen worden ingesloten door slechter doorlatende delen. Het gearceerde gebied is slechter doorlatend (k_2) en het blanco gebied beter doorlatend (k_1). Dit watervoerend pakket kan aan boven- en onderzijde grenzen aan een scheidende laag. In het watervoerend pakket veronderstellen we dat de stroming hoofdzakelijk horizontaal is.

Het doorlaatvermogen onder natuurlijke omstandigheden kan hier benaderd worden door een klein deel (een blok) van het pakket te beschouwen en daarin uniforme (een-dimensionale) stroming te veronderstellen (figuur 3). Binnen in het blok zijn drie 'velden' te onderscheiden: (1) het veld met hoge doorlatendheid (k_1) en (2) het veld met lage doorlatendheid (k_2) in de bovenste helft van het blok en (3) het veld met lage doorlatendheid (k_2)

Wim de Lange is werkzaam bij het RIZA, Postbus 17, 8200 AA Lelystad, telefoon (0320) 298738, e-mail: w.dlange@riza.rws.minvenw.nl



Figuur 1



Figuur 2

in de onderste helft van het blok. In de afleiding gaan we ervan uit dat de stroming in beide helften grotendeels onafhankelijk is (hoofdzakelijk horizontale stroming).

We stellen (zie figuur 3) dat $\Delta\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2$; $L = L_1 + L_2$ en schrijven Darcy's vergelijking voor de bovenste helft als volgt (in serie geschakeld):

$$Q_b = k_2 H_1 \Delta\phi_2 / L_1 = k_1 H_1 \Delta\phi_1 / L_2 = k_b H_b \Delta\phi / L$$

waarin Q_b de flux en $k_b H_b$ het representatieve doorlaatvermogen van de bovenste helft zijn. Na enig omwerken volgt hieruit:

$$k_b H_b = 1 / [(L_1/L) / k_2 H_1 + (L_2/L) / k_1 H_1]$$

Voor de onderste helft volgt natuurlijk $k_o H_o = k_2 H_2$. Boven en onder helft zijn parallel geschakeld en dus is het totale doorlaatvermogen de som van boven en onder helft vermenigvuldigd met het aantal blokken over de dikte van het pakket.

Een onttrekking door middel van een volkomen put doorsnijdt alle goed doorlatende lagen. Stel nu dat de lengte L tenminste de ordegrootte van de spreidingslengte van het systeem heeft (hiervoor wordt dus de afdekkende laag boven het beschouwde gelaagde watervoerend pakket gebruikt) dan zal een pompproef rondom de put het doorlaatvermogen gelijk aan de som van die van beide doorsneden lagen geven vermenigvuldigd met het aantal blokken over de dikte van het pakket. Hier geldt nu $k_b H_b = k_1 H_1$ en $k_o H_o = k_2 H_2$.

De verhouding α tussen het doorlaatvermogen rond de winput kH_{put} en het doorlaatvermogen voor natuurlijke stroming $kH_{\text{natuurlijk}}$ wordt dan (het aantal blokken is gelijk in beide gevallen):

$$\alpha = \{ k_1 H_1 + k_2 H_2 \} / \{ k_2 H_2 + 1 / [(L_1/L) / k_2 H_1 + (L_2/L) / k_1 H_1] \}$$

En na uitwerken volgt:

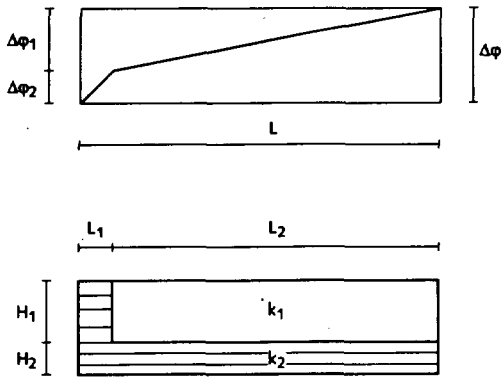
$$\alpha = \{ 1 + k_1 H_1 / k_2 H_2 \} / \{ 1 + 1 / [(L_1/L) (H_2 / H_1) + (L_2/L) (k_2 H_2 / k_1 H_1)] \}$$

In figuur 4 zijn enkele krommen gepresenteerd die zijn berekend met deze formule. Bij variatie van k_2/k_1 blijkt dat kH_{put} veel groter kan worden dan $kH_{\text{natuurlijk}}$ (als $k_2 < k_1$), maar nauwelijks kleiner. Dat laatste gebeurt als $k_2 > k_1$. Indien de beter doorlatende delen onderling in verbinding staan, doet de aanwezigheid van de slechter doorlatende delen er niet zoveel meer toe (een afsluiting moet bijna totaal zijn om er iets van te merken). Natuurlijk is het werkelijke verschijnsel drie-dimensionaal, maar dat doet aan dit principe niets af. Uit deze formule kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

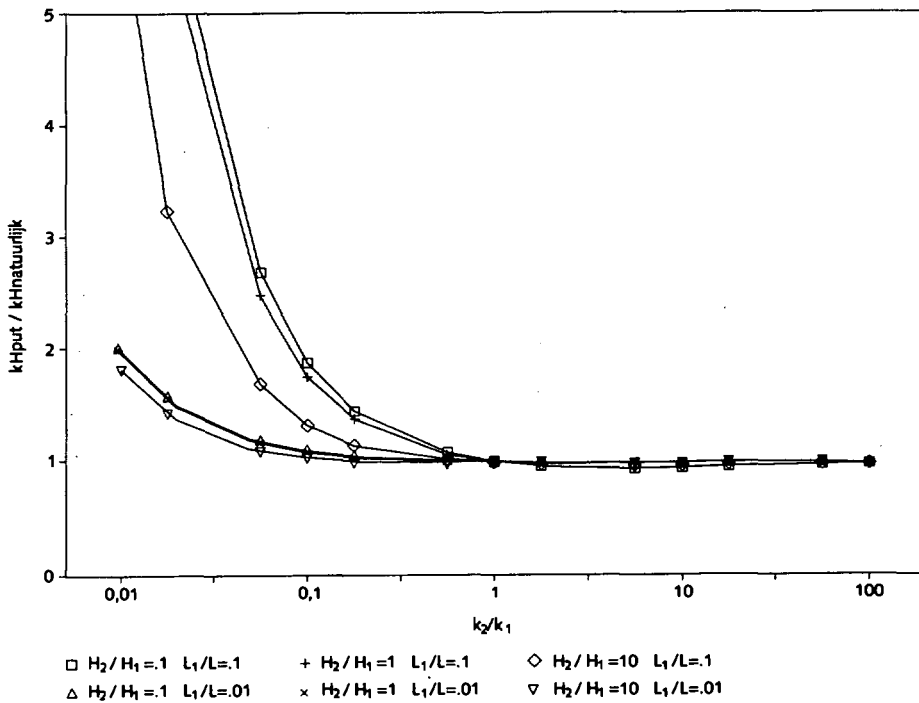
- De factor α is weinig gevoelig voor de verhouding in de laagdiktes (H_2/H_1).
- Grote waarden van α ontstaan als $k_2/k_1 < 0,1$ terwijl $L_1/L > 0,1$.

Uit bovenstaande formule kan worden afgeleid in wat voor gelaagde systemen dit verschijnsel kan optreden.

Ik ben benieuwd of anderen een dergelijk verschijnsel ook hebben waargenomen, en of de hier gepresenteerde verklaring ook daar opgaat. Misschien heeft iemand een relatie tussen



Figuur 3



Figuur 4: Ratio van doorlaatvermogen putstroming en natuurlijke stroming

de schaal van de metingen en de structuur van de gelaagdheid gevonden. Kunnen geologen de gelaagdheid van watervoerende pakketten karakteriseren?

Nawoord

Nadat ik bovenstaande op papier had gezet, attendeerde Cees Maas mij op een recent artikel van Indelman e.a. (1996) waarin dit verschijnsel ook wordt geanalyseerd volgens dezelfde school als Marc Bierkens met driedimensionale stroming. Het meest praktische resultaat uit de analyse is (voorzover ik het kan volgen) de eenvoudig relatie waarmee de representatieve doorlatendheid k_{eq} op een zekere afstand van de put kan worden beschreven:

$$k_{eq} = k_{natuurlijk}(1-\lambda) + k_{put}\lambda$$

waarin $0 \leq \lambda \leq 1$ en:

λ	=	$\ln(r/I) / \ln(r/r_w)$, de weefactor
met		
I	=	de correlatieschaal
r_w	=	straal van de put
r	=	afstand tot put

Deze formule geeft duidelijk de overgang weer van de stroming vlakbij de put naar de uniforme stroming op grote afstand. Ondanks dat het pakket overal even inhomogeen is, is de representatieve doorlatendheid niet constant. Ook Indelman e.a. geven duidelijk aan dat de waarde uit een pompproef niet representatief hoeft te zijn in de natuurlijke stromingstoestand.

Literatuur

- Bierkens, M.F.P. (1994)** Complex confining layers: A stochastic analysis of hydraulic properties at various scales; proefschrift, Universiteit Utrecht.
- Indelman, P, A. Fiori en G. Dagan (1996)** Steady flow toward wells in heterogenous formations: Mean head and equivalent conductivity; in: Water Resources Research, jrg 32, nr 7, pag 1975–1984.
- Provincie Drenthe (1985)** Grondwaterplan Drenthe, deel; Provincie Drenthe, Assen.
- Provincie Groningen (1986)** Grondwaterplan Groningen; Provincie Groningen, Groningen.

