
Debietontwikkeling van een onvolkomen putfilter en het effect ervan op de verlagingen

André Blonk¹

In mijn eerste baan als geohydroloog bij het grondboorbedrijf Haitjema in Dedemsvaart heb ik veel over de praktijk van putonttrekkingen geleerd. Ik heb in die periode veel bemalingen ontworpen en pompproeven uitgevoerd en geïnterpreteerd. In deze periode leerde ik ook veel over de toepassing van analytische oplossingen in de geohydrologie. In de huidige tijd lijkt de aandacht steeds meer gefocust op de grote numerieke grondwatermodellen terwijl juist deze "analytische" geohydrologie uiterst elegant is en veel inzicht geeft. Naast het ontwerpen van bemalingen en het uitvoeren van pompproeven interpreteerde ik in die periode ook flowmetingen van verticale putfilters. Bij deze flowmetingen werd duidelijk zichtbaar dat de uiteinden van de putfilters veelal het meeste water onttrokken.

Bij de interpretatie van pompproeven wordt echter voor zover ik weet geen rekening gehouden met deze variabele debietverdeling. Met behulp van analytische formules heb ik getracht de debietsontwikkeling van een onvolkomen putfilter in een homogene aquifer te benaderen en ook het effect hiervan op de verlagingen te kwantificeren. Uit een voorbeeldsom blijkt dat deze debietverdeling zich in een korte tijd instelt (binnen enkele uren) en dat het effect in de nabijheid van de put relevant kan zijn.

Inleiding

Een onvolkomen putfilter, wat is dat precies? Als een onttrekkingsputfilter in een watervoerende laag over de gehele dikte van een watervoerend pakket wordt geplaatst spreken we van een volkomen put. In het algemeen wordt een putfilter echter maar over een beperkt deel geplaatst en spreken we van een onvolkomen put. Maar wat zijn eigenlijk de uitgangspunten die gekozen worden als we analytische sommen maken met een onvolkomen put? Voor zover ik kan overzien wordt in analytische berekeningen altijd uitgegaan van een constante uniforme debietverdeling over het putfilter. Althans, ik ben nooit iets tegengekomen waarbij ook de debietverdeling van het putfilter, laat staan de ontwikkeling daarvan, variabel is gekozen.

Bij onvolkomen putfilters is de debietverdeling echter nooit uniform verdeeld over het filter. Als het uiteinde van een putfilter zich ergens halverwege de aquifer bevindt dan zal dit deel van het filter relatief meer water oppompen dan het overige deel. Dit wordt ook wel het kopeffect genoemd.

¹ Tauw (Deventer, andre.blonk@tauw.com)

Wanneer de onttrekking wordt gestart zal het debiet zich op een bepaalde manier verdelen over het putfilter. Verondersteld wordt dat aan het begin van de onttrekking het debiet over het filter uniform is verdeeld, maar in de loop van de tijd zullen de uiteinden van het putfilter meer water gaan onttrekken (de eerder genoemde kopeffecten) dan het middelste deel van het filter. De vraag kan worden gesteld hoe snel dit proces zich voltrekt en wat de effecten zijn van dit proces op de verlagingen in de omgeving van de put. Om antwoord te krijgen op deze vragen ben ik in het boek van Gijs Bruggeman (†) (Bruggeman, 1999) gedoken en vond daar een analytische oplossing van een instationaire puntbron in een oneindige driedimensionale ruimte.

Gijs Bruggeman heb ik voor het eerst ontmoet in 1981 toen professor L. Huisman (†) mij tijdens mijn afstudeerwerk adviseerde om met hem te gaan praten. Ik zocht toen een analytische oplossing voor een lijnonttrekking. Tijdens mijn bezoek pakte Gijs Bruggeman een ordner uit de kast en kopieerde een aantal met potlood op ruitjespapier beschreven pagina's waar een en ander op stond afgeleid. Behoorlijk onder de indruk van deze eerste ontmoeting heb ik deze kopieën tot op de dag van vandaag nog steeds bewaard. Gijs Bruggeman was beroemd om zijn afleidingen van analytische formules voor grondwater stromingssituaties.

Eerder heb ik het computerprogramma Tripot geschreven waarmee onvolkomen putonttrekkingen kunnen worden gemodelleerd (Blonk, 1988). In dit computerprogramma worden driedimensionale putten (maar ook drains) gesimuleerd door middel van de methode van verticale spiegelingen. De basis van deze methode wordt gevormd door de integratie van een stationaire 3-dimensionale puntbron over een lijnstuk. Deze methode staat uitgebreid beschreven in een verslag (nummer 10, pagina 25) van de Commissie voor Hydrologisch onderzoek van TNO (TNO, 1964). In dit programma kunnen deze elementen zogenaamd stijghoogte- of debietgespecificeerd zijn.

Het idee ontstond om dezelfde techniek, maar nu met instationaire puntbronnen, in te zetten om antwoord te krijgen op de boven gestelde vragen. In plaats van een integratie van een instationaire puntbron langs een lijnstuk (lijkt mij wiskundig erg lastig) wordt de instationaire onttrekkingsput nu gemodelleerd als een reeks aaneengeschakelde instationaire puntbronnen. Op een identieke wijze als vermeld worden de dimensies van de aquifer verkregen door verticale spiegelingen ten opzichte van de basis en de top.

Rekenmethode

De formule voor een instationaire puntbron (afbeelding 1a) in een oneindige 3D ruimte (Bruggeman, 1999) kan worden geschreven als:

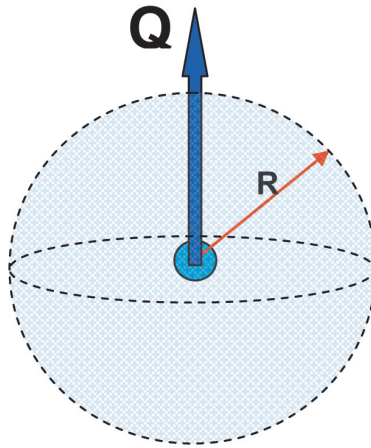
$$s = \frac{Q}{4\pi kR} \operatorname{erfc}\left(\frac{\beta R}{2\sqrt{t}}\right) \quad (1)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{k}}$$

Met:

- s = verlaging (m)
- k = doorlaatfactor (m/d)
- R = straal uit de puntbron (m)

- μ = bergingscoëfficiënt (-)
 t = tijd (d)
 Q = debiet (m^3/d)



Afbeelding 1a: *Instationaire puntbron in een oneindig 3D medium*

Door een putfilter op te delen in meerdere puntbronnen kan een lijnvormige put in een oneindig 3D medium worden gemodelleerd. Door deze put (te weten een serie van puntbronnen) vervolgens te spiegelen ten opzichte van de basis en bovenzijde van de aquifer kan een 3D onvolkomen putfilter in een aquifer worden gemodelleerd. De spiegeltechniek wordt hieronder kort toegelicht.

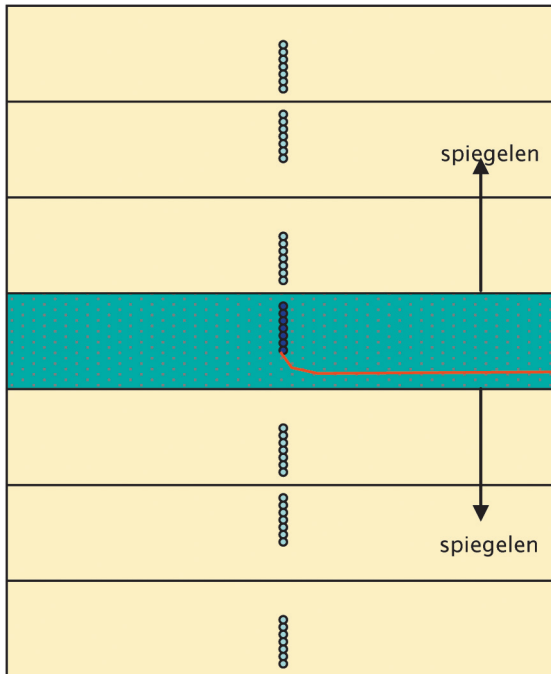
Verticale spiegelingen van een onvolkomen put om te voldoen aan de boven- en onderrandvoorwaarde van een aquifer

In een gespannen aquifer is de bovenzijde en de onderzijde ofwel basis een ondoorlatend vlak. Dat wil zeggen dat een waterdeeltje ter plaatse van dit vlak in theorie dit vlak nooit kan verlaten.

Om aan de onderrandvoorwaarde (=basis) van de aquifer te voldoen kan verticaal symmetrisch ten opzichte van dit vlak een identieke spiegelput (dus met hetzelfde onttrekkingsdebiet) onder de basis worden gedefinieerd. Ter plaatse van deze basis (het spiegelvlak) trekken beide putten door de symmetrie even hard en zal in theorie een waterdeeltje dit vlak niet kunnen verlaten. Een waterdeeltje net boven het spiegelvlak zal pas vlak bij de put een verschil in symmetrie voelen en uiteindelijk door de put worden opgepompt. Het systeem is dan 100 % symmetrisch ten opzichte van de basis. Evenzo is de bovenrand van de aquifer een ondoorlatende rand en op een identieke wijze kan daaraan worden voldaan door nu beide putten (de reële put in de aquifer en de spiegelput onder de basis) verticaal te spiegelen ten opzichte van de top van de aquifer. Zodoende ontstaat er spiegelsymmetrie ten opzichte van de top van de aquifer. Bij deze spiegeling ontstaan er uiteindelijk vier putten (één reële put, één spiegelput onder de basis en twee spiegelputten boven de top van de aquifer). Maar nu is er geen symmetrie meer ten opzichte van de basis. Door nu de drie putten

(één reële put en de twee spiegelputten boven de top van de aquifer) te spiegelen ten opzichte van de basis ontstaat er weer spiegelsymmetrie ten opzichte van de basis. Dit spiegelproces herhalend ontstaan er boven de top van de aquifer en onder de basis van de aquifer oneindig veel identieke spiegelputten waardoor het systeem verticaal symmetrisch ten opzichte van de top en de basis wordt. In afbeelding 1b is het proces van verticale spiegelingen schematisch weergegeven. Het zal duidelijk zijn dat na een groot aantal spiegelingen de uiterste spiegelputten nauwelijks meer bijdragen aan de oplossing. Het aantal spiegelingen wordt daarom gestopt wanneer de bijdrage van de spiegelputten kleiner is dan een op te geven criterium.

In afbeelding 1b is de "blauwe" aquifer de werkelijke watervoerende laag waarin een onvolkomen onttrekkingsput is geplaatst. De "gele" aquifers aan de onderzijde en bovenzijde van de bestaande watervoerende laag zijn imaginair en bevatten de zogenaamde spiegelputten. Deze spiegelputten onttrekken ieder dezelfde hoeveelheid water als de echte put en zorgen er voor dat de grondwaterstroming aan de bovenzijde en onderzijde van de aquifer precies evenwijdig is met deze vlakken.



Afbeelding 1b: Methode van verticale spiegelingen van een put (TNO, 1964)

Meer informatie omtrent onvolkomen putfilters kan de belangstellende lezer ook vinden in het boek "Analysis and Evaluation of Pumping Test Data" (Kruseman en de Ridder, 1990). Deze methode onderscheidt zich echter van de bestaande technieken omdat nu ook de debietsontwikkeling van het putfilter in beschouwing wordt genomen.

Berekenen debietverdeling over het putfilter

Voor het vaststellen van de debietverdeling van het putfilter en de ontwikkeling daarvan wordt verondersteld dat bij het inschakelen van de onttrekkingsput de stijghoogte in de put over de verticaal constant is. Dat wil zeggen dat elke puntbron een identieke stijghoogte of verlaging s krijgt opgelegd.

Elke instationaire puntbron en zijn overeenkomstige spiegelpuntbronnen kunnen dan worden beschouwd als een stijghoogte gespecificeerde puntbron waarvan het debiet onbekend is. Zo'n puntbron in een punt (x_0, y_0, z) met debiet Q_i wil ik voor de eenvoud wiskundig beschrijven met een functie ξ . In deze functie zitten tot een bepaalde nauwkeurigheid een groot aantal verticale spiegelingen verwerkt. Deze functie is als volgt gedefinieerd:

$$s = Q_i \times \xi(x, y, z, x_0, y_0, z_i, t) = \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} \frac{Q_i}{4\pi k \sqrt{R_{xy}^2 + (z - (m2D - z_i))^2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\beta \sqrt{R_{xy}^2 + (z - (m2D - z_i))^2}}{2\sqrt{t}}\right) + \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} \frac{Q_i}{4\pi k \sqrt{R_{xy}^2 + (z - (m2D + z_i))^2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\beta \sqrt{R_{xy}^2 + (z - (m2D + z_i))^2}}{2\sqrt{t}}\right) \quad (2)$$

Met

$$R_{xy} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{k}}$$

In deze formule (2) zijn de verticale z -waarden $m2D - z_i$ en $m2D + z_i$ de verticale posities van de spiegelpuntbronnen inclusief de reële puntbron ($z = z_i$).

Aanvullend geldt dat de som van alle onttrekkingsdebieten van de reële puntbronnen gelijk is aan het totale onttrekkingsdebiet Q van de put. Uitgaande van bijvoorbeeld n puntbronnen kunnen op deze wijze $n+1$ vergelijkingen worden opgesteld waaruit de $n+1$ (Q_1, \dots, Q_n en s) onbekenden kunnen worden opgelost. Als de puntbron de verlaging ten gevolge van zichzelf berekent wordt uitgegaan van een kleine puntbronstraal van bijvoorbeeld $0,1$ m. In vergelijkingvorm:

$$\begin{aligned} s &= Q_1 \times \xi(x_0 + 0,1, y_0, z_1, x_0, y_0, z_1, t) + Q_2 \times \xi(x_0, y_0, z_1, x_0, y_0, z_2, t) + \dots + Q_n \times \xi(x_0, y_0, z_1, x_0, y_0, z_n, t) \\ s &= Q_1 \times \xi(x_0, y_0, z_2, x_0, y_0, z_1, t) + Q_2 \times \xi(x_0 + 0,1, y_0, z_2, x_0, y_0, z_2, t) + \dots + Q_n \times \xi(x_0, y_0, z_2, x_0, y_0, z_n, t) \\ &\dots \dots \dots \\ s &= Q_1 \times \xi(x_0, y_0, z_n, x_0, y_0, z_1, t) + Q_2 \times \xi(x_0, y_0, z_n, x_0, y_0, z_2, t) + \dots + Q_n \times \xi(x_0 + 0,1, y_0, z_n, x_0, y_0, z_n, t) \\ Q &= Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \end{aligned}$$

Met	t	= tijd (d)	
	R	= straal van de put (m)	
	x_0, y_0, z_i	= locatie en filterstelling van de i^e puntbron (m)	(3)
	k	= doorlaatfactor (m/d)	
	μ	= bergingscoëfficiënt (-)	
	s	= opgelegde verlaging in de put (m)	
	Q_i	= debiet te bepalen puntbron i (m ³ /d)	
	m	= spiegelparaameter (-)	

Anders geschreven:

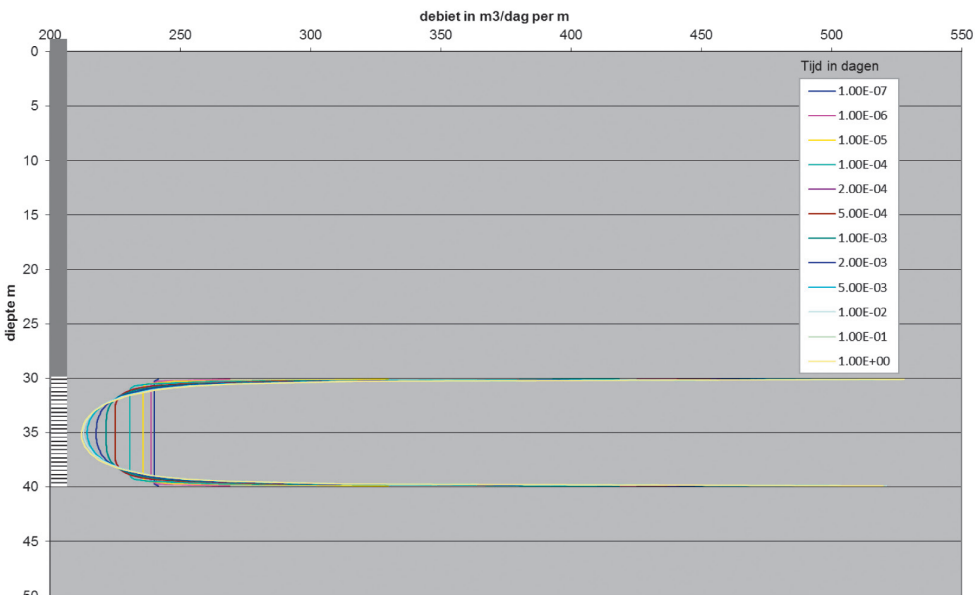
$$\begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \xi_{13} & \dots & \xi_{1n} & -1 \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \xi_{23} & \dots & \xi_{2n} & -1 \\ \xi_{31} & \xi_{32} & \xi_{33} & \dots & \xi_{3n} & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -1 \\ \xi_{n1} & \xi_{n2} & \xi_{n3} & \dots & \xi_{nn} & -1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \dots \\ Q_n \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

In deze diagonaalsymmetrische matrix stelt ξ_{11} de bijdrage aan de verlaging in puntbron 1 voor (met kleine puntbronstraal) ten gevolge van zichzelf (met onbekend debiet Q_1). Zo is ξ_{12} de bijdrage aan de verlaging in puntbron 1 ten gevolge van puntbron 2 (met onbekend debiet Q_2).

Na het oplossen van dit stelsel vergelijkingen met behulp van bijvoorbeeld LUD (=lower upper decomposition) zijn alle debieten (Q_1 tot en met Q_n) langs het putfilter bekend en ook de opgelegde verlaging s in de put. LUD is een oplossingstechniek voor een stelsel van n lineaire vergelijking met evenzo n onbekenden waarbij door rijbewerkingen een benedendriehoeksmatrix en bovendriehoeksmatrix wordt gevormd. Hiermee kunnen eenvoudig en snel de n onbekende variabelen worden bepaald. Voor verschillende momenten t kan dit stelsel worden opgelost waardoor de ontwikkeling van de debietverdeling in de loop der tijd kan worden bepaald.

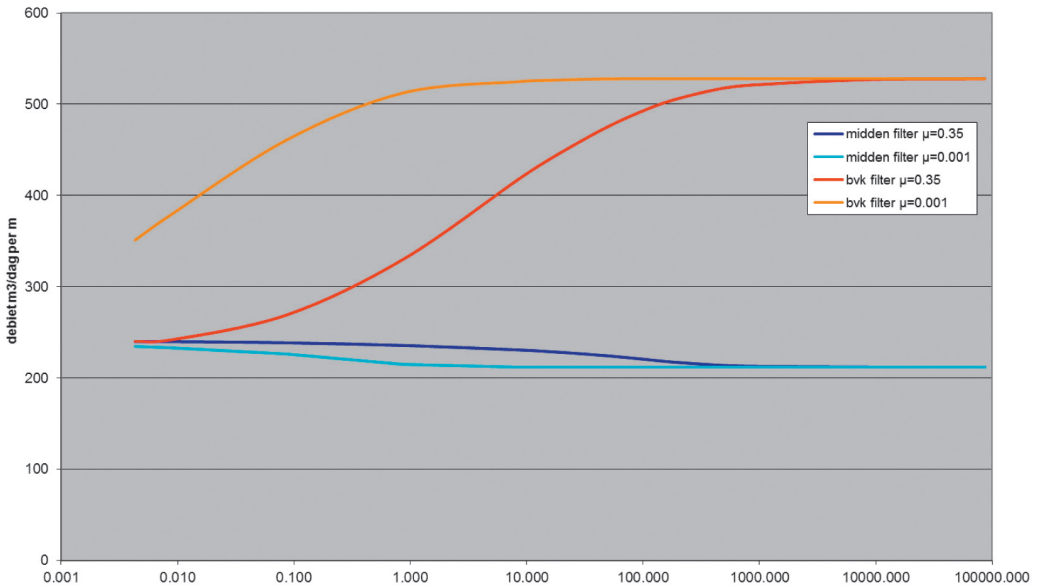
Rekenvoorbeeld

Als voorbeeld is een onttrekkingsput beschouwd in een aquifer met een dikte van 50 m en een gemiddelde doorlaatfactor van 20 m/dag. De put onttrekt met een debiet van 2400 m³/dag en het putfilter bevindt zich op 30-40 m onder de bovenkant van de



Afbeelding 2: Debietsverdeling onvolkomen putfilter als functie van de tijd

aquifer. Voor de bergingscoëfficiënt wordt een waarde van 0,35 gehanteerd. Het putfilter wordt gediscrèteerd in stukjes van bijvoorbeeld 0,1 m. In totaal worden er dus 100 puntbronnen gegenereerd waarmee de onttrekkingsput wordt gemodelleerd. Vervolgens is voor verschillende tijdstippen de debietverdeling over het putfilter berekend en in afbeelding 2 weergegeven. Op $t=0$ is het debiet over de filterlengte uniform verdeeld en bedraagt $240 \text{ m}^3/\text{dag}$ per m filterlengte. In de loop der tijd verandert de debietverdeling over het putfilter en neemt het debiet aan de uiteinden fors toe terwijl in het midden van het putfilter het debiet enigszins afneemt. Het totaal gesommeerde debiet van alle deelputjes is en blijft gelijk aan $2400 \text{ m}^3/\text{dag}$. Na ongeveer 1000 seconden (2-3 uur) is de debietverdeling over het putfilter in een schijnbaar evenwicht beland. In afbeelding 3 is de debietsontwikkeling aan de bovenzijde van het putfilter en in het midden van het putfilter in de loop der tijd gepresenteerd.

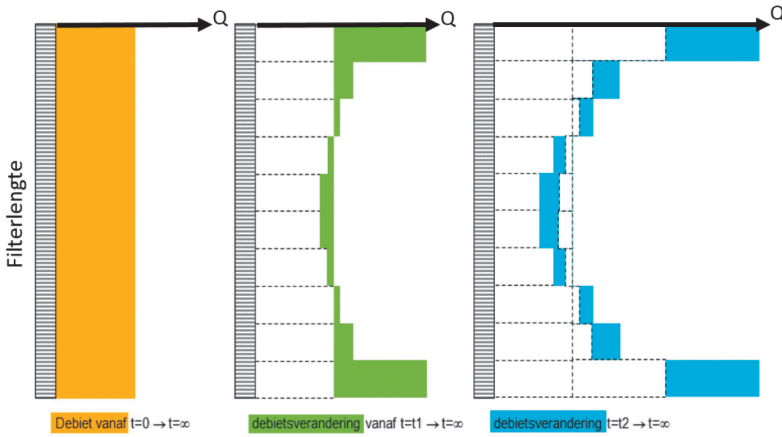


Afbeelding 3: Debit als functie van de tijd, bovenkant en midden putfilter bij 2 verschillende bergingscoëfficiënten

Berekening verlagingen ten gevolge van de onttrekking

Met de beschreven methode kan de debietverdeling over het putfilter in de tijd worden bepaald. Om het effect van de put op enige afstand te bepalen zal rekening moeten worden gehouden met deze debietsontwikkeling van het putfilter in de loop van de tijd door middel van de convolutiemethode. In onderstaand voorbeeld start op het moment $t=0$ een put een uniforme debietverdeling. Deze put blijft dit debiet onttrekken tot $t=\infty$. Op het moment $t=t_1$ is de debietverdeling echter veranderd en wordt een nieuwe put gestart die deze verandering beschrijft. Deze nieuwe put geeft de verandering van het debiet langs het putfilter weer vanaf $t=t_1$ tot $t=\infty$. Even later wordt op een gelijke wijze wordt op $t=t_2$ een tweede put gestart met een debietverdeling gelijk aan het verschil tussen de debietverdeling op t_2 en de debietverdeling van t_1 . Kortom,

op elk moment met een significante debietsverandering wordt er een nieuwe put gestart met een debietverdeling die gelijk is aan het verschil tussen de debietverdeling op dat moment en de debietverdeling van het voorgaande moment. Afbeelding 4 geeft de methode schematisch weer.



Afbeelding 4: Convolutieberekening, een combinatie van in de tijd veranderende debietverdelingen in de put voor de berekening van de stijghoogte op enige afstand uit de put

Controleberekening

Ter controle kunnen de verlagingen in de omgeving van de onttrekkingsput ook worden berekend met de formule van Theis. Deze gaat uit van een volkomen put en daar is de debietverdeling over het putfilter niet relevant. Daarom wordt voor de vergelijking tussen beide methoden de verlaging in een punt beschouwd dat buiten het gebied is gelegen waarbinnen de effecten van onvolkomenheid optreden. Voor dit gebied wordt een gebruikelijke afstand van twee keer de pakketdikte aangehouden. De formule van Theis luidt:

$$s = \frac{Q}{4\pi kD} W\left(\frac{\mu R^2}{4kDt}\right) \tag{4}$$

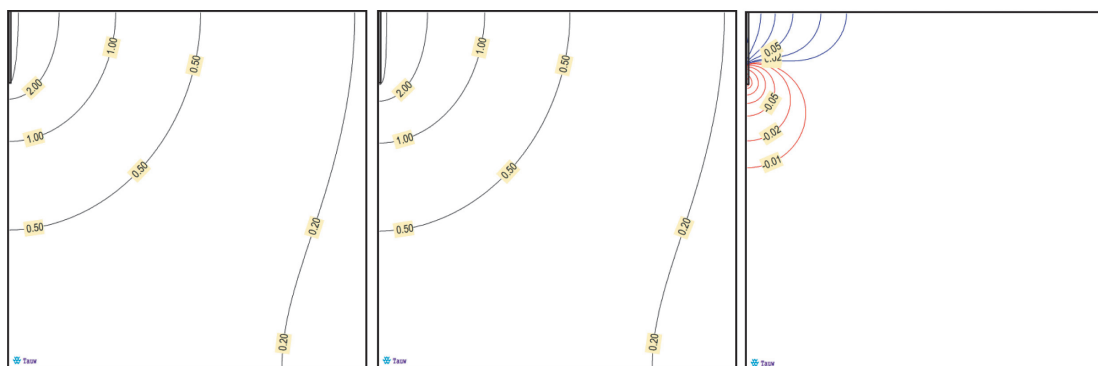
- Met
- s = verlaging op een afstand R uit de put (m)
 - K = gemiddelde doorlaatfactor (m/d)
 - D = pakketdikte (m)
 - μ = bergingscoëfficiënt (-)
 - Q = onttrekkingsdebiet (m³/d)

Voor de controle wordt uitgegaan van een bergingscoëfficiënt van $\mu=0,001$ en een afstand van $R=100$ m uit de put. Bij een onttrekkingsdebiet van $Q = 2400$ m³/dag levert dit voor verschillende tijdstippen na het starten van de onttrekking identieke verlagingen zoals in tabel 1 zijn weergegeven.

t (d)	s Theis (m)	s "mijn methode" (m)
1.00E-04	0.0000	0.0000
2.00E-04	0.0000	0.0000
5.00E-04	0.0002	0.0002
1.00E-03	0.0048	0.0048
2.00E-03	0.0280	0.0280
5.00E-03	0.1069	0.1069
1.00E-02	0.1994	0.1994
1.00E-01	0.5990	0.5990
1.00E+00	1.0345	1.0345

Tabel 1: Controle verlagingsberekening met de formule van Theis

De verlaging berekend met deze convolutieberekening voor een onvolkomen filter is op enige afstand uit de put vrijwel identiek aan de verlaging berekend met de formule van Theis voor een volkomen putfilter. De resultaten van beide methoden zoals in tabel 1 weergegeven, laten geen verschillen zien. Duidelijk is dat de debietsvariaties ter plaatse van het putfilter op een afstand van 100 m uit de put niet merkbaar zijn. Om het verschil van de 3D verlagingseffecten bij een uniforme debietverdeling en de beschreven niet uniforme debietverdeling te laten zien, zijn voor een doorsnede over de put en de aquifer de verlagingen berekend en als isolijnen gepresenteerd (afbeelding 5). In deze berekening is de put direct aan de bovenzijde van de aquifer geplaatst omdat ik nieuwsgierig ben naar eventueel "meetbare" effecten op de grondwaterstand. Voor dit voorbeeld heb ik iso-verlagingslijnen gepresenteerd voor de situatie met een uniforme debietverdeling, evenzo voor de situatie met een gedifferentieerde debietverdeling en iso-verlagingslijnen die het verschil tussen beide weergeven. Het moment van berekening is na circa drie minuten onttrekken.

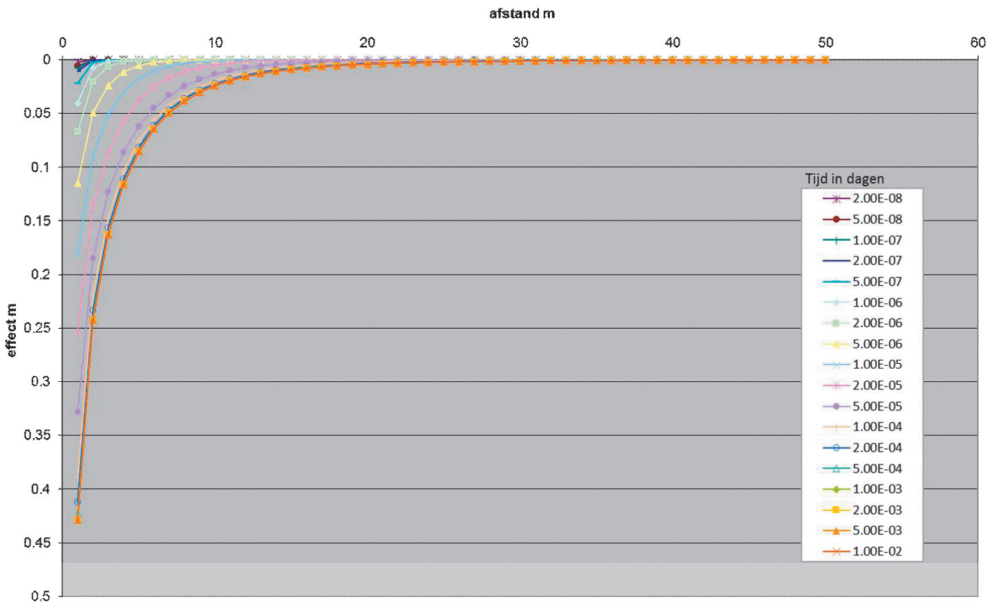


Uniforme debietverdeling Gedifferentieerde debietverdeling Verschil tussen beide.

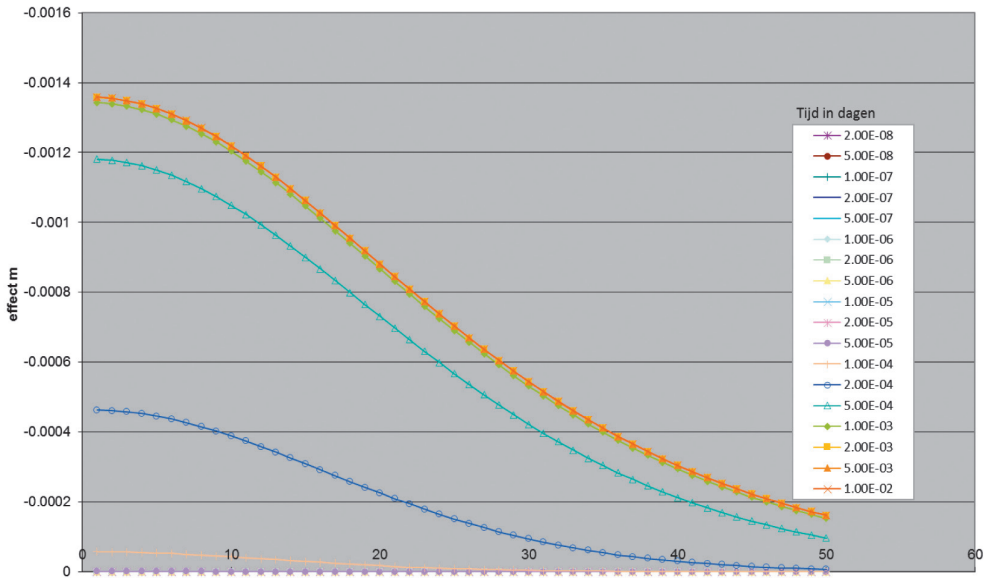
Afbeelding 5: Verlagen op een afstand D (pakkedikte) uit de put na een onttrekkingsduur van 0,002 dagen (=circa drie minuten) bij een gedifferentieerde en uniforme debietverdeling en het verschil tussen beide op de volgende bladzijde

Als het berekende effect aan de bovenzijde en aan de onderzijde van de aquifer wordt geplot voor verschillende tijdstippen ontstaan grafieken zoals afbeelding 6a en 6b presenteren. Uit deze afbeeldingen blijkt dat het effect na enige tijd onttrekken

niet meer verandert. Uit deze berekening blijkt dat in een klein gebied rond de put, in dit geval circa 10-20 m de berekende verlagingen kleiner zijn dan in de situatie van een onttrekking met een uniforme debietverdeling. Het betreft hier een verschil van enkele decimeters afhankelijk van de afstand tot de put. Het berekende effect aan de onderzijde van de aquifer blijkt verwaarloosbaar.



Afbeelding 6a: Stijghoogteverschil aan de bovenzijde van de aquifer als gevolg van een onttrekking met een uniforme debietverdeling minus een onttrekking met een gedifferentieerde debietverdeling



Afbeelding 6b: Stijghoogteverschil aan de onderzijde van de aquifer als gevolg van een onttrekking met een uniforme debietverdeling minus een onttrekking met een gedifferentieerde debietverdeling

Stationaire situatie

In de stationaire situatie is de debietverdeling over het putfilter in evenwicht gekomen en zal er een blijvend verschil zijn tussen de situatie met variabele debietverdeling en de situatie met een constante debietverdeling. Ook voor deze situatie is het verschil kwantificeerbaar. De afleiding van een stationaire puntbron is echter veel simpeler (afbeelding 7), volgens:

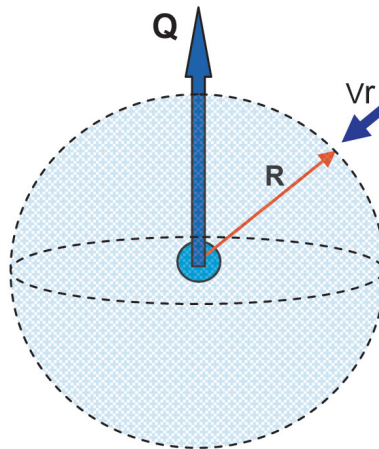
$$v_r = \frac{Q}{4\pi R^2} = -k \frac{d\phi}{dr} \quad (5)$$

$$\frac{d\phi}{dr} = -\frac{Q}{4\pi k R^2}$$

$$\phi = \frac{Q}{4\pi k R} + C$$

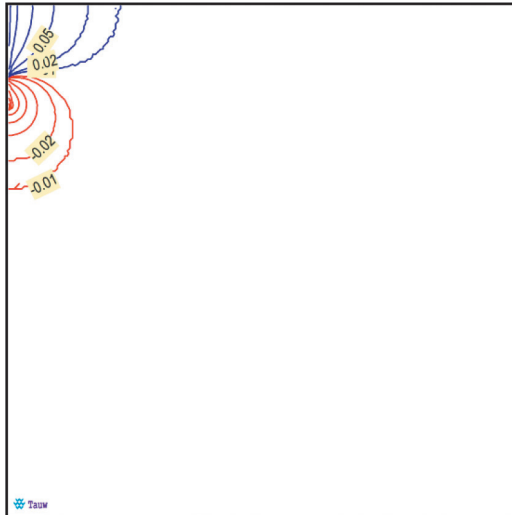
Met:

- v_r = radiale darcy-snelheid (m/d)
- ϕ = stijghoogte of stijghoogteverandering (m)
- k = doorlaatfactor (m/d)
- R = straal uit de puntbron (m)
- Q = debiet (m^3/d)
- C = integratieconstante (m)



Afbeelding 7: Stationaire puntbron in een oneindig 3D medium

In deze situatie is echter een aanvullende randvoorwaarde C nodig die de stijghoogte op een bepaalde afstand R_0 definieert. Op een identieke wijze is het verschil bepaald tussen een onttrekkingsput met een gedifferentieerde debietverdeling en een onttrekkingsput met een uniforme debietverdeling en in afbeelding 8 weergegeven. Deze berekening is uitgevoerd met het computerprogramma Tripot van Tauw. Het programma Tripot berekent ondermeer de stationaire verlagingen ten gevolgen onvolkomen putonttrekkingen zoals beschreven in de TNO-publicatie (TNO,1964). Ook



Afbeelding 8: *Verskil in meter tussen een put met een gedifferentieerde en uniforme debietverdeling in een stationaire onttrekkingsituatie*

met dit programma kunnen de verlagingen ten gevolge van stijghoogtegespecificeerde putten worden berekend. Beide verlagingenpatronen geven een overeenkomstig beeld.

Conclusies

Uit de berekeningen blijkt dat er een relevant verschil in verlagingseffecten kan ontstaan door verschillende debietverdelingen van een putfilter. Vlakbij de put kan het effect meerdere decimeters bedragen waarbij binnen enkele meters het effect afneemt tot enkele centimeters. De periode waarbinnen een debietverdeling zich over het putfilter mobiliseert kan afhankelijk van de bergingscoëfficiënt enkele uren bedragen. Bij mijn weten wordt bij de interpretatie van pompproeven geen rekening gehouden met deze debietverdeling.

In deze specifieke situatie wordt de debietverdeling bepaald door de dikte van de aquifer en de positie van het putfilter. In de praktijk spelen echter ook andere factoren een rol zoals de verschillen in doorlaatfactor langs het putfilter. In principe kan de debietverdeling van een putfilter worden bepaald door middel van flowmetingen over de verticaal in het putfilter als de put in bedrijf is. In het begin van mijn loopbaan als geohydroloog bij grondboorbedrijf Haitjema heb ik deze wel uitgewerkt waarbij duidelijk de forse kopeffecten van het putfilter zichtbaar waren.

Doordat een flowmeting enige tijd kost lijkt het mij praktisch lastig om deze meting ook tijdsafhankelijk te bepalen. Sowieso is het lastig om onvolkomen puteffecten, die altijd optreden bij een onvolkomen onttrekkingsfilter, te interpreteren omdat hierbij ook de precieze filterdiepte van de peilbuis van belang is. De debietsontwikkeling van het putfilter maakt het vervolgens nog lastiger omdat hierdoor ook effecten ontstaan die bij de interpretatie van de metingen niet worden meegenomen.

Een troost is dat deze effecten zich slechts op korte afstand van het onttrekkingsfil-

ter (globaal een afstand $<$ één keer de pakketdikte) openbaren. Misschien moeten we dus bij een pompproef geen peilbuizen plaatsen (interpreteren) binnen enkele meters van een onttrekkingsput, laat staan putproeven trachten te interpreteren, zodat we de beschreven effecten ten gevolge van de debietverdeling mogen verwaarlozen

Literatuur

Bruggeman, G.A. (1999) Analytical solutions of geohydrological problems, Elsevier, Amsterdam

TNO (1964) Steady flow of groundwater towards wells, Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, verslagen en mededelingen no. 10, Den Haag

Kruseman, G.P. en de Ridder, N.A. (1990) Analysis and evaluation of pumping test data, ILRI publication 47, Wageningen

Blonk, A. (1988) Computerprogramma Tripot

