



Kees van Beek, KWR Watercycle Research Institute
 Rob Breedveld, Vitens Waternet
 Martijn Tas, Vitens Waternet
 René Kollen, Vitens Waternet

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal (VI): relatie lengte onttrekkings- en rustperiode

Uit de vorige bijdrage over het puttenveld Tull en 't Waal (zie H₂O nr. 16) bleek dat het optreden van verstopping van de boorgatwand (mechanische putverstopping) gerelateerd is aan de bedrijfsvoering. Het aantal bedrijfsuren per maand is hiervoor een ruwe maat. In deze bijdrage wordt de bedrijfsvoering verder gespecificeerd naar verdeling van het aantal bedrijfsuren en het aantal rusturen over de dag. Er zijn aanwijzingen dat putverstopping kan worden beperkt door aan de duur van de continue onttrekking een maximum te stellen, en aan de duur van de aansluitende rustperiode een minimum.

De afpompings reageert namelijk niet altijd gelijk op een vergelijkbaar aantal bedrijfsuren. Blijkbaar is het aantal bedrijfsuren per maand een te globale maat en moet de bedrijfsvoering meer in detail worden beschouwd, bijvoorbeeld door te kijken naar de duur van de opeenvolgende bedrijf- en rustperiodes.

Theorie: lengte rustperiode en uiteenvallen van verstopping

Bij constante filterende eigenschappen van de boorgatwand zal de hoeveelheid deeltjes die tijdens een onttrekkingsperiode op de boorgatwand accumuleert recht evenredig zijn met de tijd (zie afbeelding 1). Door deze accumulatie worden poriën afgesloten, en verstopt de boorgatwand.

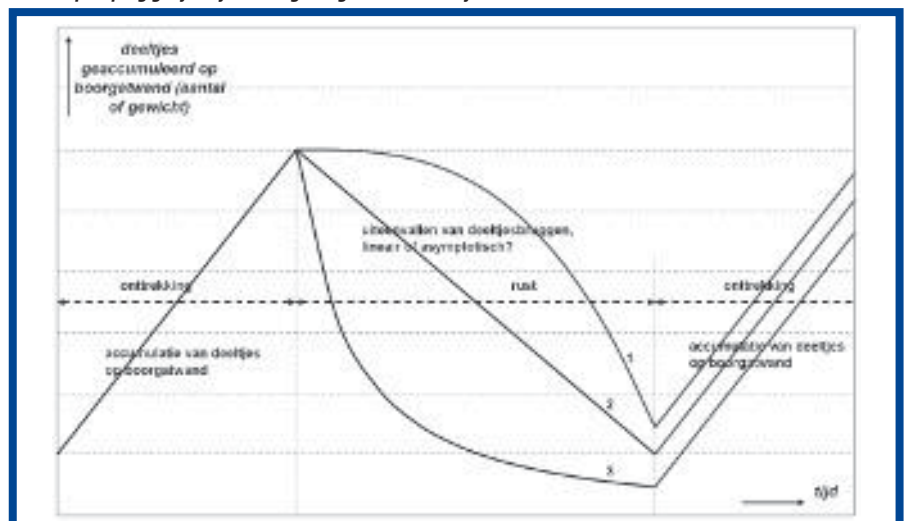
Deeltjes worden volgens Bradford *et al.*¹⁾ afgefilterd door hechting aan het oppervlak van de korrels (bodemmatrix), accumulatie in vernauwingen van de bodemporiën en ook door brugvorming²⁾.

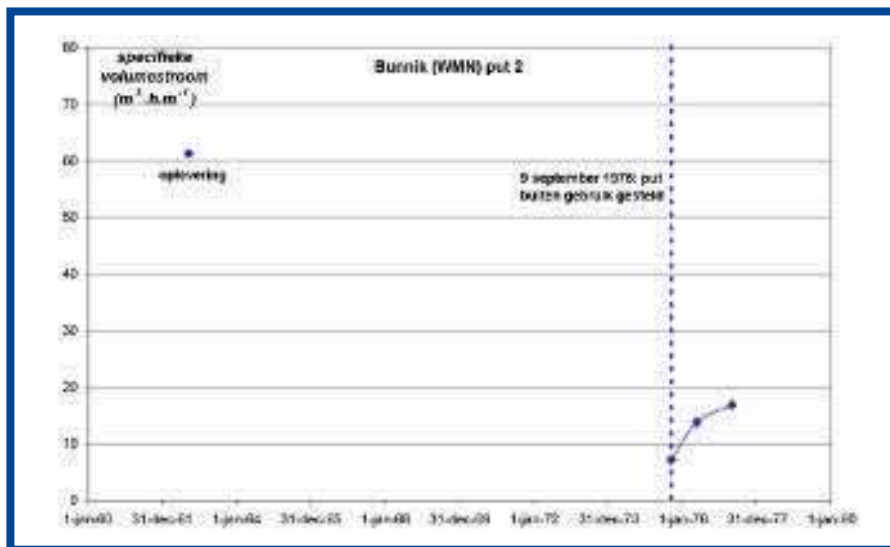
Deze accumulaties worden in stand gehouden door de kracht die uitgeoefend wordt door de stroming van het grondwater ten gevolge van de onttrekking. Zodra door het stoppen van de onttrekking deze kracht wegvalt, zullen deze accumulaties uit elkaar vallen en de samenstellende deeltjes

vervolgens onder invloed van de zwaartekracht uitzakken. Over de snelheid van het uit elkaar vallen kan alleen gespeculeerd worden: de accumulaties vallen na het uitzetten van de pomp massaal uit elkaar (zie curve 3 in afbeelding 1), pas na een incubatieperiode (zie curve 1) of met een constante snelheid (zie curve 2).

Met behulp van de wet van Stokes kan een indruk worden verkregen van de snelheid van uitzakken (of sedimentatiesnelheid) van bolvormige deeltjes. Hieruit volgt dat hoe groter en hoe zwaarder het deeltje, des te groter de sedimentatiesnelheid. Voor een bolvormig mineraal deeltje (dichtheid circa 2.600 kilo per kubieke meter) met

Afb. 1: Schematische weergave van het verloop van de accumulatie van deeltjes op de boorgatwand tijdens onttrekking en tijdens rust. In dit voorbeeld zal bij 1 verstopping optreden, bij 2 zal de put beter worden en bij 3 zal de afpomping gelijk blijven. Dit gedrag is onafhankelijk van de aard van de curve.





Afb. 2: Verbetering van een verstopte put door buiten bedrijf stellen. Na buiten gebruik stelling op 9 september 1976 is de specifieke volumestroom nog tweemaal gemeten.

een straal van 2 µm kan berekend worden dat de sedimentatiesnelheid circa tien millimeter per uur bedraagt, en voor een dergelijk deeltje met een straal van 10 µm circa 200 millimeter per uur. De in Nederland toegepaste diameter voor omstortingsgrind bedraagt maximaal circa twee millimeter. Tijdens rust passeert een sedimenterend deeltje van 2 µm dus per uur vijf diameters van omstortingsgrind. Indien de verstopping willekeurig over de boorgatwand is verdeeld, lijken de berekende snelheden - bij de toegepaste rustperiodes - voldoende groot voor het uiteenvallen van de deeltjes-accumulaties en het afvoeren ervan.

De uiterste 'vorm' van een rustperiode is het buiten bedrijf stellen van een verstopte put. Bekend is dat verstopte putten dan spontaan verbeteren, zoals te zien in afbeelding 2³⁾. Uit deze afbeelding blijkt dat de toename van de specifieke volumestroom van een verstopte put na het buiten gebruik stellen met de tijd afneemt, hetgeen overeenkomt met curve 3 uit afbeelding 1. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat uiteenvallen van bruggen tijdens rustperiodes bij schakelen (zie afbeelding 1) op een heel andere tijdschaal plaatsvindt dan bij buiten gebruik stellen (zie afbeelding 3): enkele uren versus meerdere maanden.

Praktijk: rustperiodes, bedrijfsuren en het optreden van putverstopping

Informatie over de lengten van de opeenvolgende bedrijf- en rustperiodes kan worden verkregen uit de metingen op puttenveld Tull en 't Waal (Vitens Midden Nederland). Op dit puttenveld worden de tijdstippen van aan- en uitschakelen van de putten geregistreerd. Hierdoor is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende schakelingen bekend en kunnen operationele grootheden worden berekend, zoals de lengten van de opeenvolgende bedrijf- en rustperiodes, het aantal bedrijfsuren per maand en het aantal schakelingen per maand. De resultaten van deze berekeningen kunnen grafisch worden weergegeven, bijvoorbeeld het verloop van de individuele onttrekking- en rustperiodes,

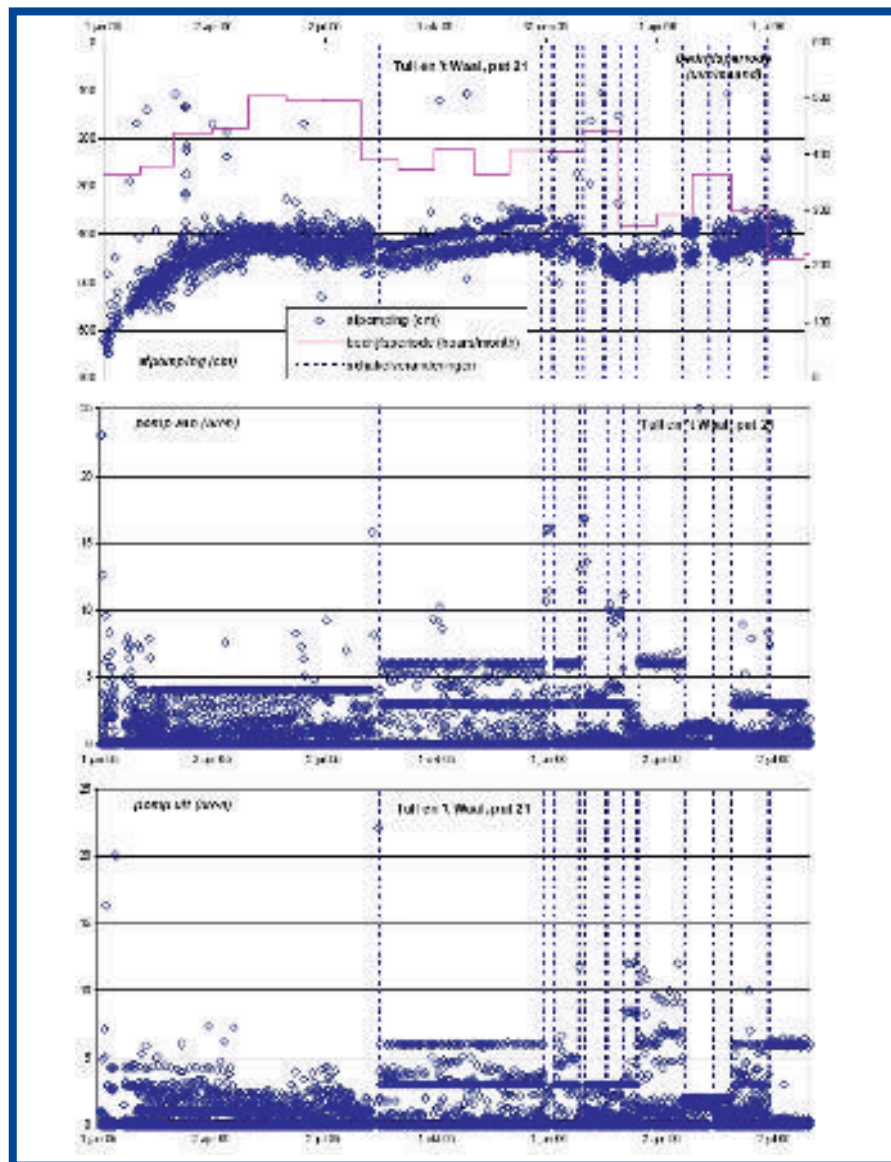
of worden gesommeerd tot bedrijfsuren per maand (zie afbeelding 4). Sinds de introductie van de carrousselscha-

keling (zie H₂O nr. 16) zijn allerlei veranderingen aangebracht. Deze veranderingen manifesteren zich als discontinuïteiten in het verloop van de lengten van de afzonderlijke bedrijfs- en rustperiodes (zie afbeelding 3).

In voorgaande is, op theoretische gronden, afgeleid dat bij het toepassen van putschakelen ter preventie van boorgatwandverstopping een optimum moet worden gevonden tussen een maximaal toelaatbare onttrekkingsperiode en een minimaal benodigde rustperiode. Afbeelding 3 toont voor put 21 het verloop van de afpomping, het aantal bedrijfsuren per maand en de tijdstippen waarop veranderingen in de carrousel zijn aangebracht, én de lengten van de individuele bedrijfs- en rustperiodes als functie van kalendertijd.

Opvallend in afbeelding 3 is de voortdurende afname van de afpomping vanaf 17 augustus 2005 en de plotselinge omkering in een toename vanaf 28 december 2005, terwijl het aantal bedrijfsuren per maand in december 2005 en januari 2006 gelijk bleef. Blijkbaar is het aantal bedrijfsuren per maand onvoldoende representatief voor putscha-

Afb. 3: Verloop van de afpomping, het aantal bedrijfsuren per maand en de tijdstippen waarop veranderingen in de putschakeling zijn aangebracht, en de lengten van de individuele onttrekkings- en rustperiodes voor put 21.



kelen, want bij gelijk aantal bedrijfsuren per maand zijn verschillende schakelfrequenties (verdelingen tussen bedrijf en rust) mogelijk. Ter illustratie: een bedrijfsintensiteit van 33 procent (240 uur bedrijf per maand) kan worden bereikt met zes uur bedrijf en daarna twaalf uur rust, vier uur bedrijf met daarna acht uur rust, etc. Vergelijking van de bedrijfsvoering in januari 2006 met de voorgaande periode leert dat in het bijzonder de rustperiodes in januari 2006 korter zijn, samen met enkele veel langere onttrekkingsperiodes (11 à 17 uur). Deze verandering in de bedrijfsvoering heeft een zeer negatieve impact gehad op de afpompings.

Afbeelding 4 toont het verloop van de afpompings en het aantal bedrijfsuren voor put 24 en 25. Beide putten behoren tot dezelfde carousel en hebben daardoor een vergelijkbare bedrijfsvoering. Put 24 is zelfs iets minder belast dan put 25, want deze is van 10 april tot 10 mei 2007 niet in bedrijf geweest. Toch is put 24 gevoeliger voor het optreden van verstopping dan put 25; hij verstopte namelijk na 5 september 2007 terwijl put 25 zelfs de neiging had te verbeteren. Mogelijk spelen lastig meetbare factoren een rol, die in onderstaande relatie aan de orde komen.

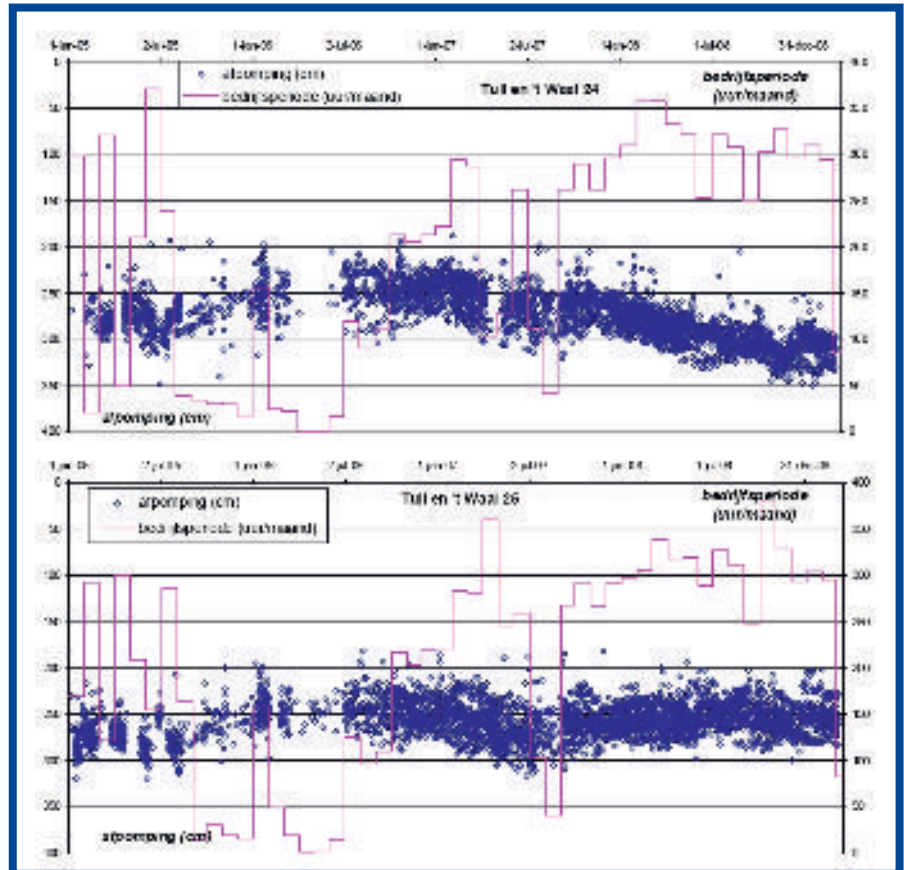
De belasting van de boorgatwand met deeltjes is gelijk aan⁴⁾:

$$B_{opp,wb} = \frac{Q}{\pi d L} (c_{a\text{quifer}} - c_{p\text{utkop}}) \Delta t$$

waarin $B_{opp,wb}$ = specifieke belasting van de boorgatwand met deeltjes (n/m^2), Q = volumestroom van de (onderwater)pomp (m^3/h), d = diameter boorgat (m), L = lengte putfilter (m), $c_{a\text{quifer}}$ = achtergrond deeltjesconcentratie in grondwater in watervoerend pakket (n/m^3), $c_{p\text{utkop}}$ = concentratie deeltjes in onttrokken grondwater (n/m^3) en Δt = lengte onttrekkingsperiode (h).

Deze vergelijking geeft een maat voor de gevoeligheid van een put voor verstopping van de boorgatwand. Q , d , $c_{p\text{utkop}}$ en Δt zijn ondubbelzinnig te definiëren, maar lastiger is waarden toe te kennen aan de overige grootheden. Betreft L de totale lengte van het putfilter of slechts de 'open' lengte waar de boorspoeling volledig is verwijderd? En wat te doen met $c_{a\text{quifer}}$? Naar verwachting zal de deeltjesconcentratie variëren over de hoogte van het putfilter, en ook radiaal. En hoe is het samenspel tussen deeltjesaanvoer en boorgatwand? Door een volledig open boorgatwand zullen deeltjes gemakkelijk kunnen passeren en geen aanleiding geven tot verstopping, maar hoe 'dicht' moet de boorgatwand zijn zodat deeltjes worden tegengehouden?

Uit afbeelding 4 blijkt dat de putten zeer ongelijk worden belast, vergelijk de periode juli 2005 tot juli 2006 met nog geen 25 uur per maand met de periode januari tot december 2008 met circa 300 uur per maand. Blijkbaar is er nog ruimte in de belasting van de putten. Deze ruimte kan worden gebruikt om alle carousels gelijkmatiger te belasten. Het is ook mogelijk de carousels te laten



Afb. 4: Verloop van de afpompings en het aantal bedrijfsuren per maand tegen kalendertijd voor put 24 en 25.

rouleren. Op deze wijze kunnen zwaar belaste carousels herstellen tijdens lichte belasting. Het is ook mogelijk de carousels opnieuw te groeperen op vergelijkbare gevoeligheid voor verstopping: putten die weinig gevoelig zijn, zoals put 35, in een zwaar belast carousel, en putten die gevoelig zijn voor verstopping in een licht belast carousel.

Discussie en conclusies

- Preventie van boorgatwandverstopping wordt grotendeels bereikt door toepassing van een putschakelschema. Bij vergelijkbare bedrijfsintensiteit begint eenzelfde put soms echter wel te verstopten en soms niet. Blijkbaar spelen ook nog andere oorzaken een rol, zoals de capaciteit van de pomp en putconstructie, maar ook factoren als (verticale en radiale verdeling van de) deeltjesconcentratie in het toestromende water (over de boorgatwand) en filterende eigenschappen van de boorgatwand (aanwezigheid van restanten boorspoeling en mate van verstopping);
- De indruk bestaat dat langere rustperiodes effectiever zijn dan korte rustperiodes;
- Een geringe belasting van de putten (120 uur per maand) leidt tot aanzienlijke verbetering van verstopte putten. Het omslagpunt voor het optreden van verstopping ligt op puttenveld Tull en 't Waal bij de huidige pompcapaciteit (circa 100 kubieke meter per uur) gemiddeld bij circa 240 uur per maand (zie put 33 en 34). Afgezien van enkele uitzonderingen treedt bij zwaardere belasting (circa 270 uur per maand) putverstopping op;

- Momenteel worden de carousels zeer verschillend belast, variërend van 0 tot 360 uur per maand. Blijkbaar bestaat ruimte voor variatie in de belasting van de carousels. Van deze ruimte kan op verschillende manieren gebruik worden gemaakt: roulatie van de carousels en carousels opnieuw samenstellen;

- Om tot een betere onderbouwing van de bedrijfsvoering te komen, is meer informatie nodig over de processen die tijdens bedrijf maar in het bijzonder tijdens rust optreden.

Relatie tussen mate van verstopping en afpompings

Het optreden van mechanische verstopping wordt toegeschreven aan accumulatie van deeltjes op de boorgatwand^(5),6),7) en is ondubbelzinnig bevestigd door resultaten van micromorfologisch onderzoek^(2),8). Onderzoek van Breedveld *et al.*⁽⁹⁾ leerde dat putten na oplevering nog verder kunnen worden verbeterd (toename van de specifieke volumestroom). Uit de praktijk is bekend dat putten na ingebruikneming spontaan verbeteren - orde van grootte circa 20 procent - en daarna al of niet gaan verstopen. Ook dan zullen op de boorgatwand echter nog lokaal restanten boorspoeling aanwezig zijn, al of niet ingedrongen in het watervoerend pakket, en door de boorspoeling meegevoerd fijn zand, ingeklemd tussen watervoerend pakket en omstorting (zie afbeelding 4 in Van Beek³⁾). Bijgevolg zal de doorlatendheid van de boorgatwand variëren van volledig doorlatend (volledige verwijdering van de afpleistering) tot ondoorlatend (geen verwijdering van de afpleistering). Volgens deze redenering zullen deeltjes waarschijnlijk voornamelijk accumuleren in de minder doorlatende gedeelten met nog enige stroming door kleine poriehalzen. Deze redenering is door resultaten van experimenteel onderzoek bevestigd: deeltjes worden met name afgefilterd op korrelgrootteovergangen van grof naar fijn¹⁰⁾.

De afpompings wordt bepaald door de som van de weerstanden die het water tijdens stroming

naar de put ondervindt, namelijk filterspleten, omstorting, boorgatwand en watervoerend pakket. Hierin is de weerstand van de filterspleten verwaarloosbaar^(11),12). Het verschil in stijghoogte tussen twee punten tijdens stroming naar een put wordt gegeven door:

$$\Delta s = \frac{Q}{2\pi k_h D} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

waarin s = afpompings (m) tussen r_1 en r_2 , Q = onttrokken volumestroom (m^3/s), kh = hydraulische doorlatendheid (m/s), D = dikte watervoerend pakket (m) en r_1 en r_2 = afstand tot hart van de put (m).

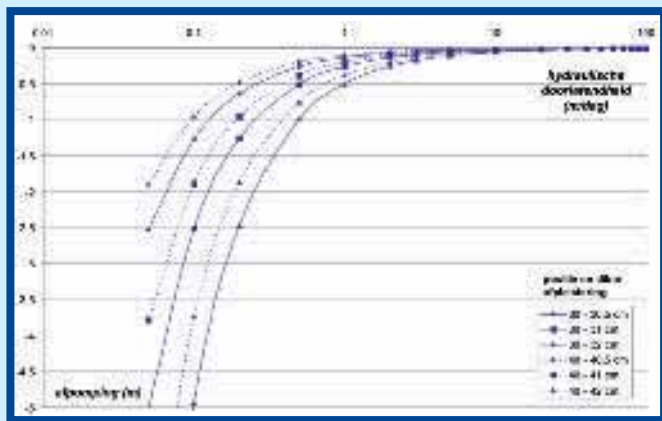
Afbeelding 5 geeft het potentieel verlies bij stroming door een annulus met een dikte van een halve tot twee centimeter of respectievelijk 30 en 40 centimeter afstand uit het hart van de put. Uit de grafiek blijkt dat bij de gegeven laagdikten een hydraulische doorlatendheid van een halve tot twee meter per dag een meetbare bijdrage in de afpompings levert.

Om het effect van verstopping van de boorgatwand op de afpompings wat duidelijker weer te geven, is in afbeelding 6 de afpompings-trechter weergegeven voor verschillende k_h -waarden voor de boorgatwand en voor de omstorting.

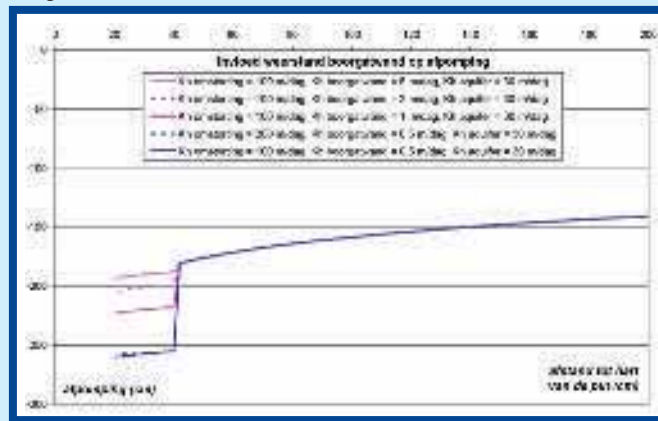
Afbeelding 6 laat zien dat bij het ontwikkelen van de put verdichting van de omstorting niet resulteert in een meetbare toename van de

afpompings. Verdichting van de omstorting treedt op als gevolg van trillingen uitgeoefend op de omgeving door het aan- en uitschakelen van de (onderwater)pomp. Deze verdichting kan zodanig groot zijn dat soms een aanvalpijp van maaiveld naar omstorting wordt aangebracht om het volumeverlies ten gevolge van deze klink op te vangen^(12),13) dan wel enige afstand aan te houden tussen bovenzijde van het putfilter en onderzijde van een afdekkende kleilaag⁽¹⁴⁾. Verdichting van de omstorting zal leiden tot een (geringe) afname van de porositeit en daarmee van de hydraulische doorlatendheid. Het voorbeeld in afbeelding 6 laat zien dat halvering van de doorlatendheid van de omstorting resulteert in een toename van de afpompings van slechts enkele centimeters. Deze toename is in vergelijking met de invloed van de boorgatwand op de afpompings niet relevant. Verder wordt uit de grafiek duidelijk dat de grootste bijdrage aan verkleining van de afpompings wordt geleverd door verwijdering van boorspoeling op de boorgatwand. Ook al neemt uiteindelijk de afpompings nog maar weinig af, dan nog blijken restanten boorspoeling op de boorgatwand achtergebleven. Deze redenering kan ook worden omgekeerd: de boorgatwand moet al behoorlijk zijn verstoppt voordat dit tot uiting komt in een toename van de afpompings; voor verdubbeling van de afpompings moet de hydraulische doorlatendheid zijn gehalveerd of moet de helft van de boorgatwand volledig zijn verstoppt.

Afb. 5: Bijdrage in de afpompings van een laag met variabele dikte (0,5 tot 2 cm) op respectievelijk 30 en 40 cm afstand uit het hart van de put als functie van hydraulische doorlatendheid.



Afb. 6: Berekende relatie tussen afpompings en hydraulische doorlatendheid voor een systeem stroomafwaarts bestaande uit aquifer, verdichte boorgatwand (2 cm dik) en verdichtende omstorting, met diameter putfilter: 400 mm, en diameter boorgat: 800 mm.



LITERATUUR

- Bradford S., J. Simunek, M. Bettahar, Y. Tadassa, M. van Genuchten en S. Yates (2005). Straining of colloids at textural interfaces. *Water Res. Res.* 41.
- De Zwart B. (2007). Investigation of clogging processes in unconsolidated aquifers near water supply wells. Ph.D. thesis TU Delft.
- Van Beek C. en M. Brandes (1977). Regeneratie van putten. *H₂O* nr. 24, pag. 546-551.
- Van Beek C., R. Breedveld, M. Balemans en G.-J. Doedens (2007). Naar een verstoppingvrij puttenveld Tull en 't Waal (4): deeltjesbalans en gedrag van deeltjes in onttrokken grondwater. *H₂O* nr. 3, pag. 32-34.
- Van Beek C. (2002). Mechanische putverstopping: oorzaak, preventie en kostenbesparing. *H₂O* nr. 18, pag. 37-39.
- Van Beek C., E. Schrama, M. Eck, J. van Hoof en J. Verstraalen (1999). Verstopping van diepe putten door deeltjes. *H₂O* nr. 16/17, pag. 21-24.
- Van Beek C., C. Janssen, M. Juhász-Holterman en J. Peters (1998). Verstopping van productieputten door deeltjes. *H₂O* nr. 17, pag. 18-20.
- Timmer H., J. Verdel en A. Jongmans (2000). Verstopping van putten door van nature aanwezig materiaal. *H₂O* nr. 20, pag. 24-26.
- Breedveld R., C. van Beek en G.-J. Doedens (2007). Naar een verstoppingvrij puttenveld Tull en 't Waal (1): pompputten van de toekomst? *H₂O* nr. 2, pag. 48-50.
- Bradford S., J. Simunek, M. Bettahar, M. van Genuchten en S. Yates (2003). Modeling colloid attachment, straining and exclusion in saturated porous media. *Env. Sc. Techn.* nr. 10, pag. 2242-2250.
- Kruijtzter (1971). Stijghoogteverliezen in en rond putfilters. *H₂O* nr. 8, pag. 162-172.
- Roscoe M. (1990). *Handbook of Groundwater Development*. Wiley-Interscience, New York.
- Howsam P., B. Misstear en Ch. Jones (1995). Monitoring, maintenance and rehabilitation of water supply boreholes. CIRIA.
- Tholen M. (2006). Arbeitshilfen für den Brunnenbauer; Brunnenausbau- und Brunnenbetriebstechniken. WVGW.