

Nooit meer putverstoppingsmetingen

Harry Boukes (Adviesburo Harry Boukes)

Drinkwaterputten kunnen verstopt raken. Droogval van de pomp kan leiden tot schade aan en infectie van het zuiveringssysteem en moet dus worden voorkomen. Monitoring vindt plaats door periodiek metingen uit te voeren van het specifiek debiet. De meting duurt uren per pompstation, mede omdat het systeem tot rust moet komen en de putten één voor één handmatig geschakeld moeten worden. Deze fysieke metingen zijn echter overbodig als registratie van debiet en van druk in de pompfilters online plaatsvindt. De put hoeft dan zelfs niet te schakelen: op elk moment dat de pompput aanstaat kunnen de overige hydrologische invloeden uit de metingen worden weggefilterd en kan de weerstand rond de boorgatwand achteraf worden berekend en *real time* online worden gepresenteerd.

Verstopping van drinkwaterputten

Als een drinkwaterbedrijf grondwater wil winnen om er drinkwater van te maken, worden er doorgaans putten geboord. Zo'n put is feitelijk niet meer dan een gat in de grond, waarin een buis wordt geplaatst. De diepste delen van die buis zijn geperforeerd, zodat er grondwater naar binnen kan stromen. Binnen in de buis wordt ruim onder het grondwaterniveau een pomp geplaatst die het water vanuit de buis naar de zuivering pompt. Hierdoor ontstaat er een onderdruk (afpompings) in de buis, als gevolg waarvan het grondwater door de perforaties de buis in zal stromen. Na verloop van tijd bereikt deze onderdruk een evenwichtsniveau.

Het is van groot belang dat de pomp onder water blijft staan. Als het niveau in de buis zo ver daalt dat hij droog komt te staan, dan is dit ten eerste slecht voor de pomp: het kan tot oververhitting leiden. Ten tweede is het slecht voor de zuivering: er komt lucht in de aanvoer naar de zuivering, waardoor opgelost ijzer al in de leidingen uitvlokt. Bovendien kan het leiden tot bacteriologische besmetting van het aangevoerde water en het achterliggende zuiveringssysteem. Bij de aanleg van de put moet de pomp dus voldoende diep worden gehangen.

In sommige gevallen blijkt de toestroming van het grondwater naar de put echter tot verstopping van de put te leiden. Grofweg worden hierbij twee mechanismen onderscheiden: (1) verstopping door de afzetting van ijzer wanneer zuurstofhoudend water in of rond het putfilter gemengd wordt met zuurstofloos, ijzerhoudend water en (2) verstopping doordat kleine bodemdeeltjes met het grondwater meestromen en de bodemporiën rond de boorgatwand dichtsmoren. Putverstopping uit zich in een toenemende afpompings van het niveau in de buis bij een bepaald debiet. Als de verstopping ernstig is, kan die afpompings zo groot worden dat de pomp droogvalt.

Monitoring en regeneratie

Het is zaak om droogval te voorkomen. Het is mogelijk om daarvoor een drukopnemer in de put te hangen. Als het niveau als gevolg van verstopping te laag komt, wordt de pomp automatisch uitgeschakeld. Dan is er geen droogval, maar ook geen waterproductie meer. Preventie heeft dus de voorkeur, en dat is ook zinvol: het is mogelijk om de put te regenereren voordat de afpompings te groot en de verstopping onomkeerbaar worden. Op die manier kan de levensduur van een pompput verlengd worden.

Putverstoppingsmetingen

Bij Brabant Water worden sinds 2008 in principe alle pompputten jaarlijks onderzocht op verstopping. In het kort komt het er op neer dat een put aan wordt gezet op een stabiel onttrekkingsniveau. Dit debiet wordt gemeten en geregistreerd. Vervolgens wordt de pomp uitgezet en na een vaste afgesproken tijd (bij Brabant Water na vijf minuten) wordt gekeken hoe snel het water terugkomt. Feitelijk is dit een omgekeerde meting van de afpompings, maar omdat beide processen spiegelbeeldig maar identiek zijn, levert dit eenzelfde resultaat. Bij de interpretatie van de metingen wordt het resultaat omgewerkt naar het 'specifiek debiet', dat is de hoeveelheid toestroming naar de put per meter niveauverlaging in de buis. Bij een verstoppende put neemt de afpompings toe, en het specifiek debiet dus af. Bij oplevering van een pompput is een eerste bepaling van het specifiek debiet uitgevoerd (nulmeting). Als het specifiek debiet tot minder dan 75 % van de opleveringswaarde is gedaald wordt de put geregenereerd.

Hoogfrequente druk- en debietregistratie

In 2006 bleek bij de winning Drongelen de putverstoppingscontrole nog niet goed geborgd, terwijl de putten behoorlijk last hadden van verstopping. Om de problematiek hier beter te begrijpen is toen besloten om alle pompputten van drukopnemers te voorzien, en het debiet te registreren met behulp van zogenaamde pulsentellers. Een pulsenteller geeft elke keer een puls af als een kubieke meter water verpompt is. De cumulatieve stand wordt geregistreerd en door een uur terug te kijken is bekend hoeveel water in het voorgaande uur verpompt is. Snelle debietwisselingen worden niet scherp geregistreerd.

De metingen van Drongelen zijn elke 40 seconden gelogd. Zo intensief is eigenlijk niet nodig, maar achteraf kwam het ook wel goed uit. De schakelmomenten van de pompputten worden niet geregistreerd, maar zijn af te leiden uit de drukmetingen: als het niveau in de buis binnen veertig seconden meer dan een meter daalt, kan je op je vingers natellen dat de put dan aangeschakeld is. De schakelmomenten van de putpompen zijn nu dus binnen een marge van veertig seconden bekend.

Elke keer als een put schakelt wordt nu de reactie op de schakeling geregistreerd, en dus het specifiek debiet. Het nadeel van deze methode is dat de 'metingen' worden uitgevoerd op een systeem dat niet in rust is. Er zit dus ruis in de uitkomsten. Dit kan ondervangen worden door niet één, maar soms tientallen afpompingen per put te beschouwen. De mediane waarde geeft waarschijnlijk een goed beeld van de werkelijke afpompings.

Bijvangst: het lijkt wel een pompproef

In 2007 zijn de meetreeksen van Drongelen voor het eerst beschouwd, en toen is geconstateerd dat er meer informatie in de reeksen zit dan alleen het specifiek debiet. In feite is elke pompputschakeling te beschouwen als een pompproef waarvan de reactie ook in de buurputten geregistreerd kan worden [1].

In Brabant wordt gewerkt aan de opbouw van een hydrologisch model voor de hele provincie. In dit verband wilde ik onderzoeken of de reeksen informatie bevatten over de hydrologische parameters van het watervoerend pakket: een kD-waarde voor het doorlaatvermogen van het pakket, een c-waarde voor de weerstand van de afdekkende laag en een S-waarde voor de bergingscoëfficiënt van het pakket. Hiervoor zijn een aantal computerprogramma's op de markt. Met het programma MLU van Kick Hemker is het mogelijk is om de drukmetingen in de

pompputten zelf ook mee te nemen als waarnemingen. Eventuele verstoppingsverschijnselen worden verdisconteerd met een zogenaamde 'skin-factor'.

Uitwerking: drie leerpunten

De eerste vraag is: hoe te beginnen? Bij een normale pompproef is er eerst een onbeïnvloede stabiele situatie, maar daar was hier geen sprake van. In 2010 was het pompstation het hele jaar in bedrijf en de drukkiveaus waren continu in beweging. Wel waren er dat jaar drie perioden van circa 60 uur waarin niet werd geschakeld. Eerst zijn de metingen direct na zo'n periode van betrekkelijke rust doorgerekend.

Het was niet moeilijk om voor één periode een betrouwbaar resultaat te verkrijgen. Voor een tweede periode lukte dat ook, alleen kwamen de resultaten voor beide perioden niet met elkaar overeen. Dat was niet conform verwachting: juist bij een diepe winning onder een afdekkende laag zouden de bodemparameters toch redelijk constant moeten zijn.

We bedachten dat voor een kD- en met name voor een c-waarde een goede bepaling van de eindverlaging van belang is. Nu kreeg MLU een volop schakelend pompstation aangeboden. De gemeten verlagingen zaten allemaal in het begin van de reactiecurve. Het programma deed wel zijn best om daar eindverlagingen uit te halen, maar erg nauwkeurig waren die niet. MLU had voeding nodig met meer data: niet alleen van NA die perioden van 60 uur, zo'n periode van 60 uur moest zelf deel uitmaken van de aangeboden periode.

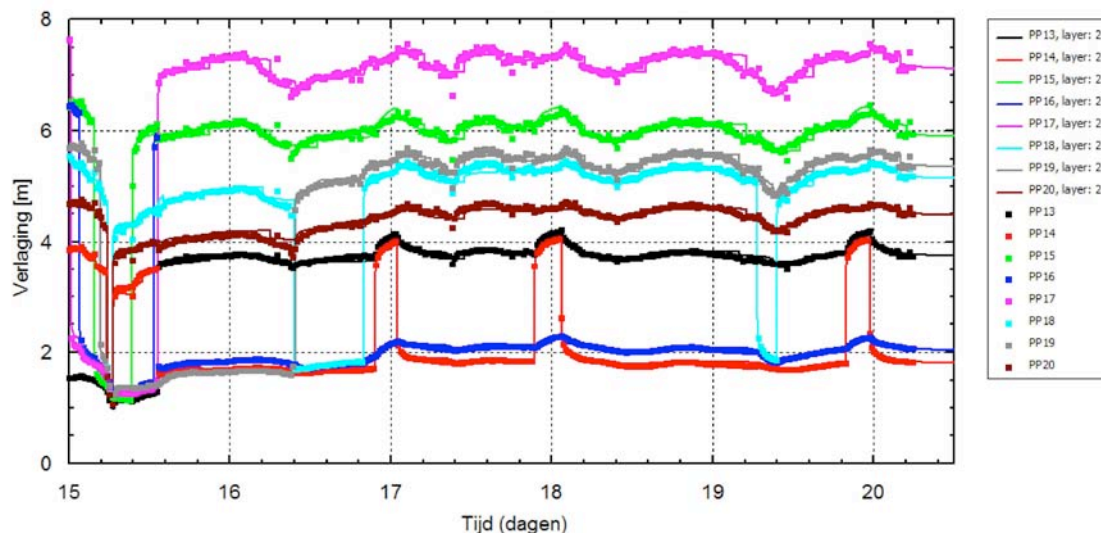
Testberekeningen lieten zien dat het systeem ook na 60 uur nog niet stabiel is, maar dan geven de metingen wel beter houvast. De uiteindelijke interpretatie is over perioden van vijf of zes dagen uitgevoerd, met vijftien dagen inlooptijd eraan voorafgaand: eerst een periode van tien dagen met een stabiele onttrekking. Na die tien dagen een tweede inlooperperiode van vijf of zes dagen, waarbij de werkelijke schakelmomenten en onttrekkingen zijn ingevoerd, maar nog geen waarnemingen meelopen. Pas na die tweede periode start de feitelijke uitwerkingsperiode van vijf à zes dagen. Om rekentijd te besparen zijn niet de drukmetingen van elke 40 seconden gebruikt, maar van eens per 20 minuten.

Een tweede leerpunt betrof het vastleggen van een startniveau. De waarnemingen beginnen immers op $t=15$ dagen, maar dan is het drukkiveau in de putten niet onbeïnvloed. Het startniveau voor $t=15$ dagen moet bekend zijn om de bodemparameters te kunnen bepalen. Alleen is dit startniveau ook weer afhankelijk van die bodemparameters zelf, dus daar zit een kip-ei-probleem. In een paar slagen, door goed te kijken naar gemeten en berekende waarden en de patronen die zich voordoen, is het mogelijk om een consistent startniveau vast te stellen.

Een derde leerpunt betrof het meenemen van debietfluctuaties. In de drukreeksen zaten fluctuaties bij putten die aanstonden. Het blijkt dat de debieten per pompput wel zo'n 5 tot 7,5 procent kunnen fluctueren. Als een pompput aanstaat en de afpompings enkele meters bedraagt, is de drukfluctuatie in de pompput in de orde van decimeters, en in buurputten in de orde van centimeters. Die debietfluctuaties moeten dus meegegeven worden in de data, anders vindt het optimalisatieproces voornamelijk plaats op het wegmiddelen van de onnauwkeurigheden in de debieten, en niet op de feitelijke invloed van de onttrekking op verlagingen.

Eindresultaat niet eenduidig...

Op deze manier zijn twee perioden doorgerekend: één in juli en één in november. Beide zijn erg nauwkeurig: de gemiddelde absolute afwijking tussen gemeten en berekende waarden bedraagt zo'n 7 cm.



Afbeelding 1. Berekende (lijn) en gemeten (stippen) waarden van de uitwerking van een 'nooit uitgevoerde pompproef' voor november 2010

Dit is een goed resultaat, omdat de afpompingen soms meer dan zes meter bedragen en de pulsentellers de debietfluctuaties +/- 1 m³/uur registreren op een debiet van circa 50 m³/uur, dus +/- 2 %. Ook als de meting minder dan 40 seconden na een schakelmoment plaatsvindt, kan de afwijking behoorlijk groot zijn.

Tabel 1. Berekende hydrologische parameters van het watervoerend pakket in Drongelen

kD = doorlaatvermogen van het pakket, *c* = weerstand van de afdekkende laag, *S* = bergingscoëfficiënt van het pakket, *RMSE* = Root Mean Square Error (een maat voor het verschil tussen gemeten en berekende waarden).

	data juli 2010	marge	data november 2010	marge
kD (m ² /d)	846,9	1 %	808,7	2 %
c (dagen)	923,3	3 %	767,3	6 %
S (-)	0,000771	2 %	0,0006714	2 %
RMSE (m)	0,0811		0,0718	

Beide uitwerkingen komen echter niet met elkaar overeen, ze liggen ook niet binnen elkaars door MLU uitgerekenen foutenmarges. Vooral de *c*-waarden verschillen zo'n 20 procent, de voor beide situaties bepaalde *kD*-waarden komen wel bij elkaar in de buurt. Maar hoe werken deze verschillen nu door in de bepaling van de invloed van schakelende putten op de andere putten?

..., hoe erg is dat?

Dat valt mee. Ervan uitgaande dat de metingen tot op 1 cm nauwkeurig zijn, zijn de verschillen niet onoverkomelijk groot (tabel2).

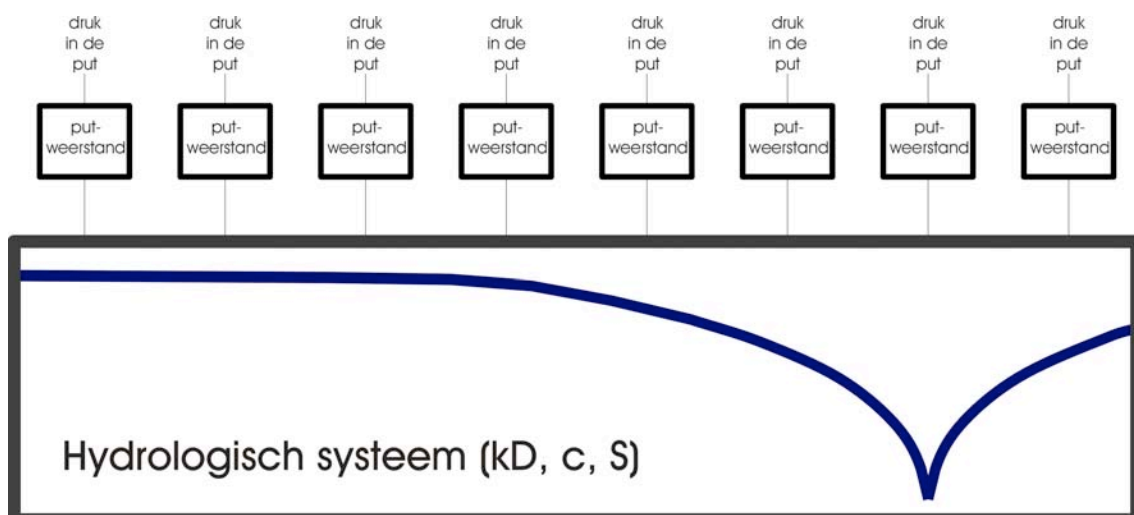
Tabel 2. De invloed van het schakelen van pompput 13 op de dichtstbijzijnde en de verstgelegen pompput in meters waterkolom na vijf minuten, een uur, een dag en 100 dagen, bij een debiet van 50 m³/uur

	na:	data juli 2010	data november 2010
op buurput:	5 minuten	0,021	0,033
	1 uur	0,212	0,249
	1 dag	0,467	0,482
	100 dagen	0,506	0,508
op de verste put	5 minuten	0,0	0,0
	1 uur	0,0	0,001
	1 dag	0,091	0,093
	100 dagen	0,126	0,117

... en ik kan er wel wat mee!

We kennen de bodemparameters nu redelijk nauwkeurig. Tot dusver namen we een kD-waarde van 1300 m²/dag aan, maar een waarde tussen 800 en 900 m²/dag lijkt reëler. De c-waarde werd voorheen op 5000 dagen geschat, en wordt nu ergens tussen 700 en 1000 dagen berekend.

Maar het resultaat is vooral een modelsysteemje in twee varianten (de uitwerking van juli en van november 2010) van (in dit geval) acht pompputten, gekoppeld in één hydrologisch systeem. Tussen elke pompput en het hydrologisch systeem zit een weerstand, in de systematiek van MLU uitgedrukt in een *skin factor*.



Afbeelding 2. Schematische weergave van het toegepaste modelconcept

De *skin factor* is een dimensieloze parameter die wordt beschreven in het standaardwerk van Kruseman en De Ridder [2] over de uitvoering van pompproeven. Persoonlijk reken ik het liefst met een weerstandswaarde. Die is uit de *skin factor* af te leiden door hem te verrekenen met de kD-waarde.

Als de put aanstaat is er een afpompings, als gevolg van (1) de toestroming van het water door het pakket, (2) de invloeden van de onttrekkingen in naburige putten en (3) de weerstand rond de pompput, vertaald in de *skin factor*. Als de put niet aanstaat, is er alleen de invloed van naburige putten.

Omdat alle pompputten in hetzelfde systeem zijn ingeplugd, is in het model die eerste term voor elke pompput gelijk: een onttrekking van 50 m³/uur geeft 2,12 meter eindverlaging als gevolg van toestroming door het pakket.

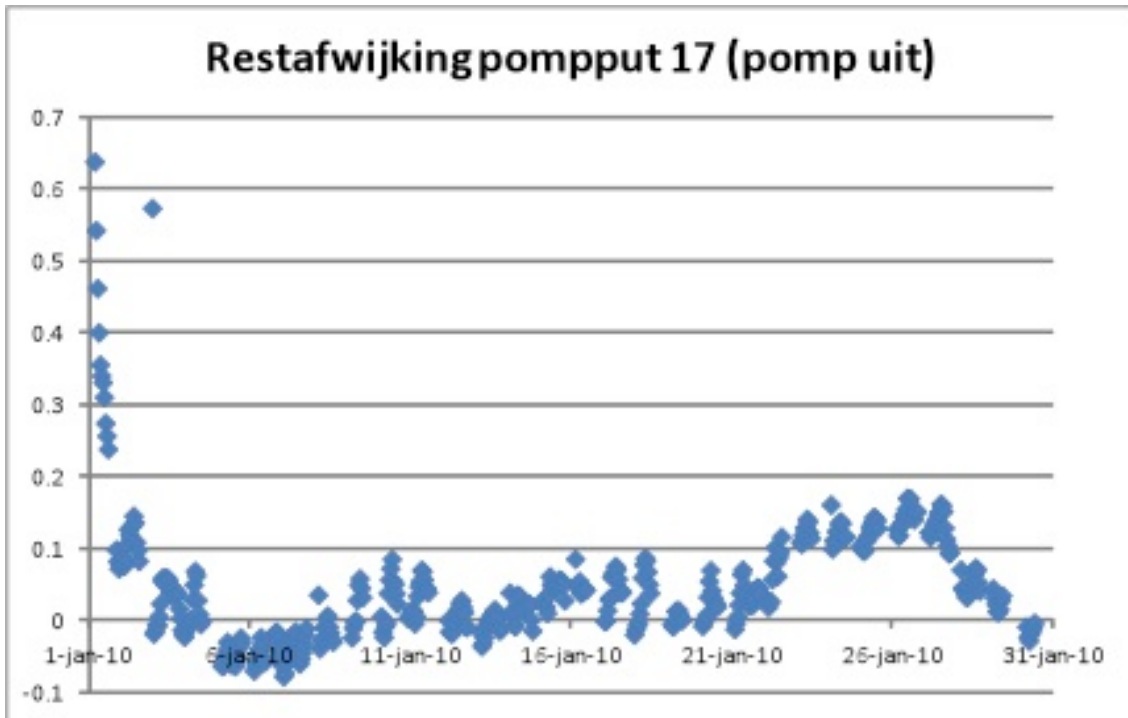
Ook de invloed van omliggende putten (de tweede term) is te berekenen met de drie parameters. De eindverlagingen blijken in Drongelen tussen 0,12 en 0,51 meter te liggen, afhankelijk van de afstand tussen de twee beschouwde putten. MLU geeft van beide termen het verloop in de tijd in de vorm van afpompscurven. Bodemparemeters op diepte veranderen niet, deze afpompscurven mogen we dus ook bij andere schakelmomenten toepassen.

De derde term bevat enerzijds een soort verrekening voor als de kD-waarde direct bij de put afwijkt (ook constant in de tijd), anderzijds de weerstand als gevolg van putverstopping. Als deze derde post in de tijd steeds groter wordt, betekent het dus dat de put verstopt: het is immers de enige post die kan veranderen in de tijd.

Met de drie termen is op elk moment de invloed van de verschillende onttrekkingen op de gemeten waterdruk af te leiden en dus ook het drukverval als gevolg van de *skin factor*. Het maakt eigenlijk niet uit of je de parameterwaarden van juli of die van november neemt, mits het maar consequent gebeurt. Zo is voortaan direct, zelfs online, een verstoppingswaarde uit te rekenen voor ieder moment dat de pompput aanstaat, in iedere combinatie met andere pompputten.

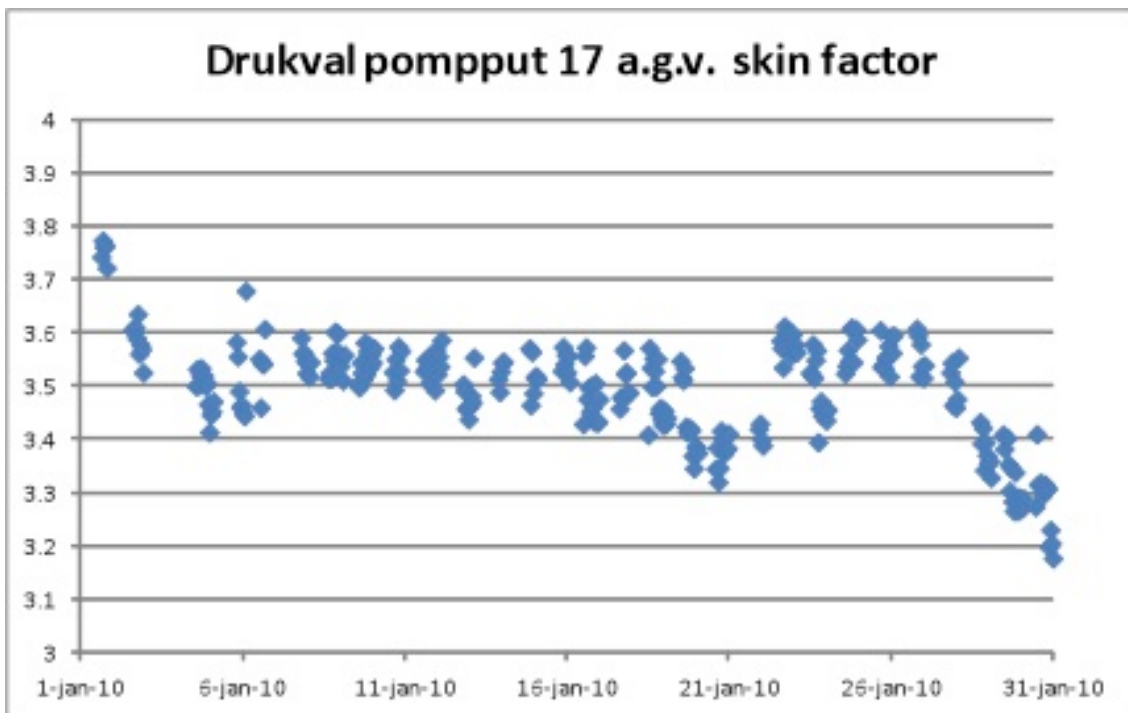
Doorrekenen: januari 2010

Om rekentijd te besparen zijn de reactie-curves (in dit geval slechts acht) als data in een programma gestopt waarmee voor pompput 17 de invloed uitgerekend is van alle schakelingen en debietveranderingen op de waterkolomhoogte (afpompings). De berekening vergde enkele seconden. Het resultaat is vergeleken met de gemeten drukken in deze pompput. Als de pompput uitstaat, kan de *skin factor* geen drukverschillen veroorzaken en zou het verschil tussen gemeten en berekende waarden nul moeten zijn. Uit afbeelding 3 blijkt de berekening bijzonder goed te zijn: al binnen een dag is de afwijking tussen meting en berekening minder dan 10 cm. Halverwege 21 januari loopt de afwijking op, met een maximum van 17 cm. Mogelijk is hier sprake van een regionaal grondwaterstandseffect dat niet in het model is meegenomen. Als zou blijken dat ook in andere putten zo'n patroon wordt waargenomen, is dit effect nog uit de berekeningen te filteren. Vanaf 26 januari 's avonds is de afwijking weer minder dan 10 cm, op 31 januari zelfs slechts 1 tot 3 cm.



Afbeelding 3. Berekende afpomping (m) in pompput 17 op momenten dat de pomp uitstaat

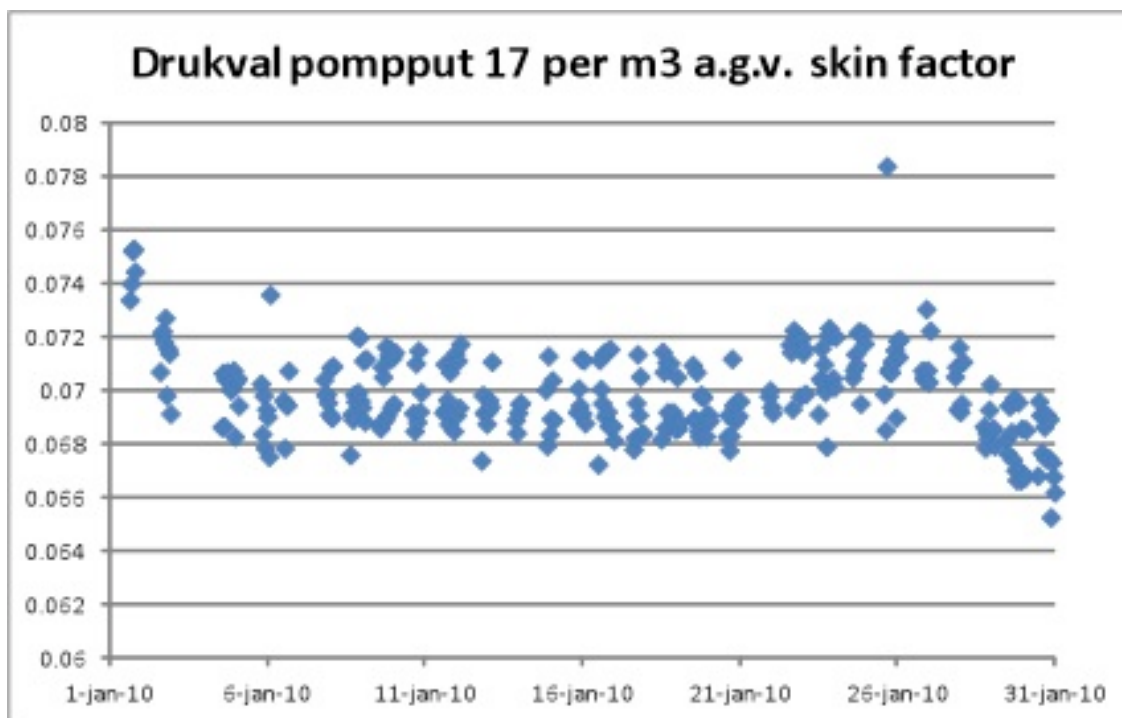
Als de pomp aanstaat kan de invloed van de *skin factor* worden bepaald. Deze blijkt over de maand januari 2010 erg constant. De lokale omstandigheden rond de put dragen 3,5 meter bij aan de totale afpomping (afbeelding 4).



Afbeelding 4. Berekende afpomping (m) in pompput 17 op momenten dat de pomp aanstaat

Opmerkelijk zijn de lagere waarden rond 21 januari en de daling, globaal vanaf 27 januari. Het blijkt dat in die perioden het debiet wat lager was. Bij deling van bovenstaande waarden door

het debiet dat op dat moment werd onttrokken, dan wordt de lijn nog wat regelmatiger (afbeelding 5). De 'dip' rond 21 januari verdwijnt dan; de daling vanaf 27 januari is minder sterk maar nog wel zichtbaar. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of hier sprake is van een verbeterende put of een regionale invloed.



Afbeelding 5. Berekende afpomping (m) in pompput 17 op momenten dat de pomp aanstaat, gedeeld door het op dat moment onttrokken debiet

Toekomstperspectief

Het blijkt dus mogelijk te zijn om de drukveranderingen in pompputten van een operationeel pompstation te ontleden in drie posten: (1) de invloed van de onttrekking als gevolg van toestroming door het pakket, (2) de invloed van de onttrekking in buurputten en (3) de invloed van lokale weerstanden in de nabijheid van de pompput. In de laatste post zit de putverstopping als enige variabele die kan veranderen in de tijd.

Dat heeft voordelen:

- Afzonderlijke verstoppingsmetingen ter plekke zijn niet meer nodig.
- De bedrijfsvoering hoeft nooit meer voor de metingen te worden onderbroken.
- Wachten tot een pompput schakelt is ook niet meer nodig.

Het volstaat de putten te voorzien van druk- en debietregistratie en de hydrologie eenmalig te interpreteren. Als de druk- en debietmetingen online worden geregistreerd, kunnen deze geautomatiseerd en desgewenst online worden vertaald naar verstoppingswaarden.

Er worden wel eisen gesteld aan de kwaliteit van de metingen. De methode werkt het beste als:

- de drukken worden geregistreerd in millimeters;
- de schakelmomenten afzonderlijk worden geregistreerd in seconden; als de schakelmomenten afgeleid moeten worden uit de drukmetingen, is een meetfrequentie van eens per 40 seconden voor de drukmetingen een werkbare oplossing;

- de debietmetingen nauwkeurig zijn en fluctuaties waarnemen. De in Drongelen toegepaste pulsentellers voldoen.

De werkwijze is nu afgeleid voor een tamelijk eenvoudig hydrologisch systeem: een diepe winning, met nauwelijks reactie op snelle processen als neerslag en verdamping en/of peilveranderingen in oppervlaktewater. Daar waar dit wel speelt, worden het hydrologische systeem en dus de uitwerking complexer, maar het principe verandert niet: je leidt parameters af waarmee je het hydrologische systeem kunt beschrijven, om daarmee de hydrologie uit de metingen te filteren. Dan blijven de drukveranderingen als gevolg van verstoppingsprocessen over.

Het betekent dat in de winter, zelfs bij geringe debieten, al kan worden aangegeven of het niveau in een pompput bij maximale benutting in de buurt komt van kritische afpompijswaarden. Er kan tijdig besloten worden tot regeneratie of andere maatregelen zoals debietreductie.

Komende tijd zullen de mogelijkheden van deze werkwijze verder worden verkend.

Verantwoording

Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd met data van Brabant Water N.V., waar ik van december 2006 tot januari 2013 als hydroloog werkzaam was. Bij de totstandkoming van dit artikel heb ik geprofiteerd van kennis van Kees Maas en Kick Hemker, die met mij over de resultaten wilden corresponderen.

Literatuur

1. Boukes, H, (2007). Het uitwerken van een pompproef die nooit is uitgevoerd. *Stromingen*, 3(13), p.27-34.
2. Kruseman, G.P. en N.A. de Ridder (1994). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, second Edition (completely revised), ILRI, Publication 47.