

Het maximale putdebiet*

1. Inleiding

De definitie die Horstmeier geeft van een put is als volgt: een put is een gat, dat in de grond is gemaakt, ten einde een vloeistof, bijv. water, aan de bodem te onttrekken (KIWA-meded. nr. 48). Gezien de huidige ontwikkelingen op het gebied van persputten, kan dit nog worden aangevuld met: of om een vloeistof aan de bodem toe te voegen.

Dit klinkt erg eenvoudig. In de praktijk blijkt er echter wel meer aan vast te zitten. De problemen beginnen al in de ontwerp-



IR. M. G. M. DEN BLANKEN
KIWA

fase. Er bestaan verschillende richtlijnen volgens welke onder andere de afmetingen van een put, het maximaal mogelijke en toelaatbare debiet, het benodigde aantal putten en de meest gewenste onderlinge afstand kunnen worden berekend. Deze richtlijnen komen voort uit lokale praktijkervaringen of uit de resultaten van onderzoeken. De conclusies van enkele onderzoeken zijn later echter onjuist gebleken, terwijl enkele normen die slechts plaatselijk gelden, ten onrechte elders worden toegepast.

In het hierna volgende wil ik me beperken tot één van de facetten van het ontwerp van een waterwinningsput namelijk het maximale putdebiet.

Het maximale putdebiet kan op drie manieren worden beschouwd:

- het maximaal mogelijke debiet. Dit is het absolute maximum, hetgeen theoretisch is vast te stellen;
- het maximaal toelaatbare debiet. Hierbij komen de verschillende criteria ter sprake, waaraan de afmetingen van en de onttrekking aan een put moeten voldoen;
- het maximaal wenselijke debiet. Dit wordt bepaald door bedrijfstechnische- en economische argumenten.

2. Het maximaal mogelijke putdebiet

Beschouwd worden putformules voor freatisch en spanningswater onder de veronderstelling van volkomen putten en stationaire stroming.

Freatisch water:

$$Q_0 = \frac{\pi k (H^2 - h_0^2)}{\ln R/r_0} \quad (2.1)$$

* Voordracht gehouden tijdens het KIWA-colloquium 'Putten voor winning en aanvulling van grondwater' op 31 augustus 1977 te Bunnik.

Spanningswater:

$$Q_0 = \frac{2\pi k H S_0}{\ln R/r_0} \quad (2.2)$$

Q_0 : onttrekking aan de put m^3/etm
 k : doorlatendheid van de formatie m/etm
 H : met water verzadigde pakketdikte m
 h_0 : stijghoogte van het water in de put m
 S_0 : afpompings in de put m
 R : afstand van de put waar invloed van de onttrekking niet merkbaar is m
 r_0 : halve diameter van de put m

k , H en R zijn vastliggende gegevens, zijnde eigenschappen van de watervoerende formatie. De enige variabelen die de wateronttrekker tot een zekere grens zelf in handen heeft zijn de stijghoogte van het water in de put h_0 (of de afpompings S_0) en de diameter van de put. De grens van de afpompings is in principe de onderzijde van de watervoerende formatie.

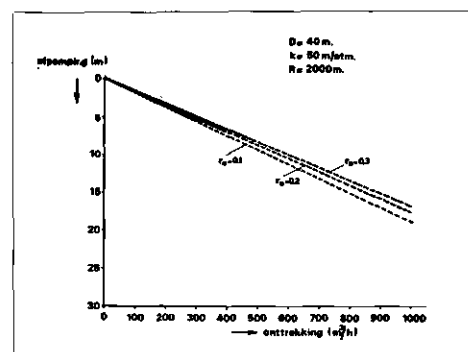
In formule (2.1) wordt dan $h_0 = 0$ zodat

$$Q_{0max} = \frac{\pi k H^2}{\ln R/r_0} \quad (2.3)$$

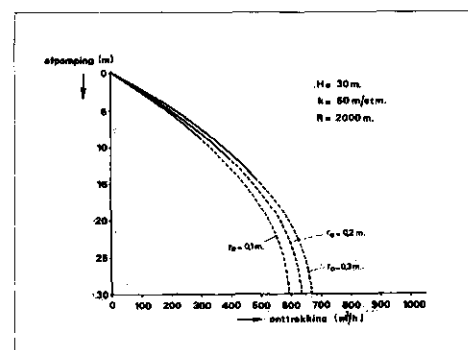
Indien bij spanningswater de stijghoogte van het water in de put tijdens het afpompen daalt beneden de onderzijde van de afsluitende laag, geschiedt verdere onttrekking onder de condities van freatisch water.

Vergroting van de diameter van de put heeft een veel geringere invloed op het

Afb. 1 - Verband tussen afpompings en onttrekking bij verschillende putdiameters in spanningswater.



Afb. 2 - Verband tussen afpompings en onttrekking bij verschillende putdiameters in freatisch water.



debiet dan vergroting van de afpompings.

Dit blijkt duidelijk uit de afb. 1 en 2, waarin voor verschillende putdiameters het debiet is uitgezet tegen de afpompings voor resp. spanningswater en freatisch water onder gemiddeld in Nederland voorkomende omstandigheden.

Bovenvermelde afbeeldingen zijn het resultaat van theoretische berekeningen, waaraan een aantal veronderstellingen ten grondslag liggen die niet met de praktijk hoeven overeen te komen.

De berekende afpompingen zouden slechts optreden indien alleen energieverliezen ontstaan vanwege een stationaire stroming door een homogene en isotrope formatie naar een volkomen putfilter (dat wil zeggen een filter dat over de volledige dikte van het watervoerende pakket aanwezig is). Bovendien wordt verondersteld dat de stroming overal laminair is.

In werkelijkheid treden extra energieverliezen op, waardoor bij eenzelfde afpompings het debiet geringer is of bij gelijkblijvend debiet een grotere afpompings ontstaat.

Door een zorgvuldige constructie van de put kunnen bovengenoemde energieverliezen tot een minimum worden beperkt, sommige zelfs tot een verwaarloosbare hoeveelheid. Samenvattend kan het putdebiet op 3 manieren worden verhoogd:

- vergroting van de afpompings;
- vergroting van de putdiameter;
- een energetisch zo gunstig mogelijke constructie van de put.

3. Het maximaal toelaatbare debiet

De toelaatbaarheid van een zeker putdebiet kan worden teruggevoerd tot 2 eventueel te stellen grenzen:

- een maximale afpompings;
- maximaal toelaatbare stroomsnelheden op de grens omstorting-formatie of in de filterspleten.

3.1. De maximaal toelaatbare afpompings

Er zijn een aantal argumenten te noemen om met een geringere afpompings te volstaan dan in theorie mogelijk is.

- Het gevaar van het optrekken van brak of zout grondwater.

Door de potentiaalval op het zoet-zout grensvlak zal dit grensvlak zich in opwaartse richting verplaatsen als gevolg van dichtheidsverschillen. Bij een te grote afpompings van het zoete water, kan op deze wijze brak of zout water de putten bereiken. Dit gevaar is reëel aanwezig bij de diepere winningen en bij enkele ondiepe in het westen van ons land.

- Bij inschakelen van een pomp die praktisch direct op volle capaciteit draait,

bestaat het gevaar van een tijdelijke te zware belasting van de stijgbuis aangezien de stijghoogtedaling direct buiten de buis achterblijft bij die in de buis.

Een voortdurende belasting van de buis treedt op, indien de onttrekking plaatsvindt in een diep gelegen pakket met spanningswater. In dit geval kan de druk van het nauwelijks beïnvloede ondiepe grondwater op de buitenzijde van de buis zeer veel groter worden dan de druk in de buis. Deze bezwaren kunnen worden onderzocht door buizen te kiezen van voldoende sterkte.

3. Door de hydrostatische drukverlaging in de nabijheid van de put kunnen in het water opgeloste gassen, waaronder koolzuurgas, vrijkomen ten gevolge waarvan het kalk-koolzuurevenwicht verschuift en zich carbonaten kunnen afzetten.

Verschillende auteurs die op dit gebied onderzoekingen hebben verricht, hebben echter nog nooit een putverstopping ontdekt die overwegend wordt veroorzaakt door kalkafzettingen (Hünerberg, Gerb, Kooijmans).

Ook de KIWA-werkgroep Putverstopping heeft een dergelijke verstoppingsoorzaak nog niet meegemaakt.

De grenzen die aan de afpompings gesteld kunnen worden vanwege de onder punt 1 en 2 genoemde argumenten zijn met redelijke nauwkeurigheid te bepalen. Over eventuele beperkingen veroorzaakt door het optreden van kalkneerslagen is nog weinig bekend.

3.2. *Maximaal toelaatbare stroomsnelheden*

Uit de literatuur zijn vele normen bekend voor maximaal toelaatbare putdebieten in ongeconsolideerde zandpakketten op grond van maximaal toelaatbare stroomsnelheden. Sommige normen richten zich op de stroomsnelheden op het grensvlak formatie-omstorting en anderen op de stroomsnelheid in de filterspletten.

De criteria die ten grondslag liggen aan deze normen zijn verschillend. Zij zijn in drie groepen te verdelen:

- het leveren van zandvrij water;
- het voorkomen van dichtslibben van de omgeving van de put (mechanische verstopping);
- het voorkomen van (bio-)chemische verstopping.

Opvallend is dat normen die voor één van bovengenoemde criteria zijn ontwikkeld, soms door anderen worden gebruikt ten einde te kunnen voldoen aan een ander criterium.

De hulpmiddelen waarmee de verschillende normen zijn opgesteld zijn ruwweg te verdelen in:

- in de praktijk verzamelde gegevens;
- uit modelproeven afkomstige resultaten.

De in Europa waarschijnlijk meest gebruikte norm voor het maximale putdebiet is die welke door Sichardt in 1928 is gepubliceerd. Door een aantal praktijkgegevens te ordenen vond Sichardt dat het maximale verhang van een freatische waterspiegel niet meer kan bedragen dan

$$\frac{1}{15 \sqrt{k}} \tag{3.2.1}$$

waarbij k de doorlatendheid van de formatie voorstelt in m/s.

Hieruit volgt onder veronderstelling van geldigheid van de wet van Darcy een maximale filtersnelheid van

$$\frac{\sqrt{k}}{15} \tag{3.2.2.}$$

Sichardt leidde hieruit af het maximale debiet dat een put kan leveren, het zogenaamde 'Fassungsvermögen'

$$Q_f = 2\pi r_0 \frac{H \sqrt{k}}{15} \tag{3.2.3}$$

Hij beschouwde dit dus als het maximaal mogelijke debiet.

Sichardt's redenering van een maximaal verhang steunde waarschijnlijk op de gedachte dat de consequentie van het tot de bodem afpompen van een put in een freatisch pakket zou zijn een oneindig grote snelheid bij de intrede van het filter.

Hij ging er van uit dat het freatisch vlak de filterwand onder een zekere helling ontmoette. Sichardt was toen echter nog niet goed bekend met het bestaan van een kwelzone, dat is het gedeelte van de filterbuis, waar het freatisch vlak de buitenwand raakt. Een deel van het toestromende water sijpelt aldus boven het wateroppervlak in de put door de filterwand, hetgeen theoretisch een verhang van de waterspiegel van 90° voorstelt.

Uit een nadere bestudering van de bemalingen, waarop Sichardt zijn theorie heeft gebaseerd en die naar zijn idee op een maximale capaciteit draaiden, is gebleken dat dit in feite een aantal toevalstreffers zijn geweest.

Bij andere diameter van de betreffende putten of een andere doorlatendheid van het watervoerende pakket waarin deze putten waren geplaatst, zou zijn formule er heel anders hebben uitgezien. Het maximale verhang rond een put is namelijk geheel onafhankelijk van de doorlatendheid en wordt uitsluitend bepaald door de geometrie van het watervoerende pakket en de put (Olsthoorn, 1976).

Ondanks de bewezen onjuistheid van de theorie van Sichardt wordt zijn formule nog door velen vooral in Duitsland (Bieske) gebruikt als één van de ontwerpnormen bij het dimensioneren van putten.

Het gebruik van de Sichardt-formule is vaak zelfs oneigenlijk. Allereerst meende Sichardt met zijn formule een maat voor de maximaal *mogelijke* filtersnelheid te hebben aangegeven. Echter, later is dit door anderen opgevat als een norm voor de maximaal *toelaatbare* stroomsnelheid op de grens formatie-omstorting.

Voorts werd en wordt de norm ook gebruikt voor putten in (semi-)spanningswater, terwijl de formule uiteindelijk is ontwikkeld voor freatisch water.

Tenslotte wordt vaak vergeten dat de putten waarvoor de richtlijnen van Sichardt zijn opgesteld geen omstorting hadden, maar voorzien waren van tressengaas rond de filterbuis.

Deze laatste opmerking geldt ook voor een norm opgesteld door Gross, waarvan melding wordt gemaakt door Huisman (1972) en in mededeling nr. 10 van het Hydrol. Coll. TNO.

Gross vond een verband tussen de maximaal toelaatbare stroomsnelheid met het oog op mechanische verstopping en de korrelgrootte van het naastliggende formatiemateriaal:

$$V_m = 170 \cdot 10^{-5} \cdot d_{40} \tag{3.2.4}$$

Hierin is V_m de filtersnelheid op de grens formatie-omstorting uitgedrukt in m/s en d₄₀ is de 40 %-diameter van het formatiemateriaal, uitgedrukt in mm.

Uitgaande van de Sichardt-formule vond Truelsen door toepassen van de praktijkformule van Hazen, die een verband geeft tussen doorlatendheid en korrelgrootte:

$$V_m = \frac{d_{10}}{280} \text{ (m/sec)} \tag{3.2.5}$$

Het blijkt dat bij een bepaalde uniformiteitscoëfficiënt van het formatiemateriaal de formules van Gross en Truelsen bij benadering dezelfde uitkomst geven.

In de VS worden normen gesteld voor de maximale toelaatbare stroomsnelheden in de *filterspletten* in afhankelijkheid van de doorlatendheid van het aanliggende materiaal. De toelaatbare snelheden variëren van 0,3 m/sec bij een doorlatendheid van 250 m/etm tot 0,01 m/sec bij doorlatendheden kleiner dan 20 m/etm.

Deze normen zijn gericht op het voorkomen van transport van zanddeeltjes en gebaseerd op proefnemingen — waarschijnlijk aan een model — waarvan de beschrijving niet was te achterhalen. Evenals de Sichardt-formule zijn ze oorspronkelijk opgesteld voor putten zonder omstorting, maar worden nu ook toegepast voor putten met

omstorting waarbij dan als doorlatendheid die van het omstortingsmateriaal wordt gebruikt.

Bij gebruik van bovengenoemde normen gaat het percentage open oppervlak van het filter een belangrijke rol spelen. Dit is waarschijnlijk de oorzaak van de populariteit van het Johnson-filter in de VS.

Met behulp van modelproeven, uitgevoerd door het KIWA zijn uit het oogpunt van zandtransport toelaatbare snelheden gevonden die in dezelfde orde van grootte liggen als de eerdergenoemde Amerikaanse normen (KIWA-mededeling nr. 45). Een van de conclusies die uit dit onderzoek kan worden getrokken is dat bij een zorgvuldig aangebrachte omstorting met een juiste maat korreldiameter relatief hoge stroomsnelheden mogelijk zijn vooraleer aanmerkelijke hoeveelheden zand worden meegevoerd. De proeven zijn echter niet zo ver voortgezet dat een conclusie kan worden getrokken ten aanzien van maximaal toelaatbare stroomsnelheden. Alleen bij zeer fijn duinzand ($d_{85} = 0,2$ mm) werd bij stroomsnelheden van meer dan 9 m/h ($2,5 \cdot 10^{-3}$ m/s) een voortdurend zandtransport waargenomen door een omstorting met een fractie tussen 1,5 en 2,5 mm.

Om grotere stroomsnelheden toe te kunnen laten moet een omstorting met een kleinere grindfractie worden aangebracht. De ondergrens van deze fractie wordt echter bepaald door de breedte van de filterspletten (meestal 1 mm, soms 0,8 mm). Indien deze beperking geen rol speelt, kan met een eenvoudige berekening worden aangetoond dat het bij een zorgvuldig aangebrachte niet te grove omstorting theoretisch vrijwel onmogelijk moet worden geacht dat nog zandkorrels uit de formatie de omstorting passeren bij welke stroomsnelheid dan ook. Immers de grovere korrels van zowel omstorting als formatie, die het skelet vormen, kunnen niet in beweging worden gezet. Onder de meest gunstige veronderstelling van een losse bolstapeling kunnen tussen de skeletkorrels door alleen die korrels bewegen die een 3 maal kleinere diameter hebben dan de kleinste skeletkorrel. Korrels met een iets grotere diameter zullen echter al spoedig de doorgang voor kleinere korrels belemmeren. Tenslotte is er nog een veel toegepaste norm die stelt dat de stroming tot aan de filterbuis laminair moet zijn. De aard van een stroming kan worden weergegeven door middel van het Reynolds-getal. Het Reynolds-getal van een poreus medium is gedefinieerd als:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (3.2.6)$$

Hierin is:

V = stroomsnelheid van het water (m/s)

d = lengtedimensie van de poreuze matrix (m)

ν = kinematisch viscositeit (m²/s)

Voor d wordt veelal gebruikt een karakteristieke korrelgrootte van het poreuze materiaal, bijv. d_{10} of d_{50} .

Uit verschillende proefnemingen blijkt dat een begin van turbulentie optreedt bij een Reynoldsgetal van 5 à 6. Er zijn echter ook andere waarden gevonden.

Deze norm wordt gehanteerd met de bedoeling verstoppingen van chemische aard te voorkomen. De redenering hierachter wijst op de mogelijkheid van een verstoring van de chemische evenwichtstoestand van het aanstromende grondwater, indien turbulentie optreedt, hetgeen tot een vroegtijdig neerslaan van in het water opgeloste stoffen zou kunnen leiden. Bieske gebruikt deze norm voor het berekenen van de minimale diameter van de filterbuis.

Er is echter nog nooit een verband gevonden tussen turbulentie en snelheid van verstoppingen.

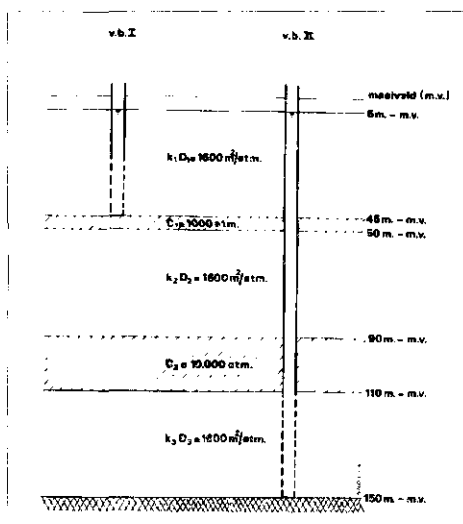
Integendeel, uit onderzoeken in Duitsland (Hünerberg) is gebleken dat enerzijds putten verstopten, waarvan de stroming nog in het laminair gebied lag, en anderzijds putten niet verstopten, waarvan de stroming de grenzen van het laminair bereik overschreed.

4. Het maximaal wenselijke debiet

In het voorgaande is een aantal criteria voor het ontwerpen van putten aan de orde geweest gebaseerd op fysische gronden. Indien genoemde criteria buiten beschouwing worden gelaten, is het mogelijk een puttenveld te ontwerpen, dat economisch gezien optimaal is.

Uitgaande van een vastgestelde maximum

Afb. 3 - Geohydrologisch schema van de ondergrond behorende bij de rekenvoorbeelden



uurcapaciteit van het gehele puttenveld, kan worden berekend bij welk aantal putten met bijbehorende (maximale) capaciteit de som van de jaarlijkse vaste en variabele kosten minimaal is. De capaciteit van deze putten kan dan gezien worden als het uit bedrijfseconomisch oogpunt maximaal wenselijke debiet.

Hierna volgend zullen twee voorbeelden worden uitgewerkt waarin op economische gronden het aantal putten van een nieuw te ontwerpen puttenveld wordt berekend. Het eerste voorbeeld betreft een onttrekking van freatisch water, het tweede een van spanningswater.

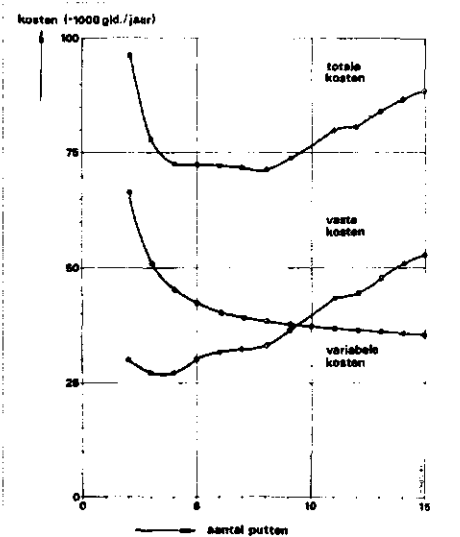
In afb. 3 is voor beide voorbeelden het geohydrologische schema van de ondergrond ter plaatse van het puttenveld weer gegeven.

De onttrekking op jaarbasis is gepland op 6 miljoen m³ met een maximale uurcapaciteit van 1500 m³.

Het beschikbare terrein is een strook grond met een lengte van 800 m. Er wordt verondersteld dat de putten hierop in één rij in de lengterichting gesitueerd worden, en zo ver mogelijk uiteen, zodat de verlagings per put minimaal is. Het aantal putten wordt gevarieerd tussen 2 en 15, terwijl de totale onttrekking in gelijke mate over alle putten wordt verdeeld. Met behulp van de gebruikelijke formules voor stationaire stroming naar een volkomen put zijn de te verwachten waterspiegeldalingen in de putten berekend bij de verschillende onttrekkingen. De waterspiegeldaling per put is het gevolg van de onttrekking aan de put zelf en de invloed van de onttrekkingen aan de overige putten. De diameters van de filterbuizen zijn zodanig gekozen, dat de berekende energieverliezen ten gevolge van stroming in filter- en stijgbuis kleiner zijn dan 0,25 m stijghoogtedaling. De diameters van stijgbuis en boorgat zijn hieraan aangepast. Overige energieverliezen zijn verwaarloosd.

Aannemende dat de stijghoogte van het grondwater in ruststand zich 5 m beneden meaeveld bevindt, zijn de totale jaarlijkse energiekosten berekend nodig voor het opvoeren van het water tot aan het meaeveld (energieprijs à f 0,10 per kWh). Vervolgens zijn door een boorondernemer de aanlegkosten van de putten begroot naar het huidige prijsniveau. De jaarlijkse vaste lasten aan rente, afschrijving en onderhoud van putten en pompen zijn gesteld op 15 % van het te investeren bedrag. De jaarlijkse vaste en variabele kosten en de som van beiden zijn in een grafiek uitgezet tegen het aantal putten (zie afb. 4 en 5).

Bij de ondiepe putten blijkt een vrij breed minimum te liggen tussen een aantal van



Afb. 4 - Jaarlijkse kosten (in 1000 gld./jaar) van een onttrekking van freatisch water bij een wisselend aantal putten.

4 en 8 putten met debieten tussen $375 \text{ m}^3/\text{h}$ en $188 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bij de diepe putten spelen de boorkosten een grotere rol; er is een tamelijk scherp minimum bij een aantal van 4 putten (debiet $375 \text{ m}^3/\text{h}$). Overigens blijven de verschillen in jaarlijkse lasten tussen een aantal van 4 en van 8 putten binnen 10 % van het totaal.

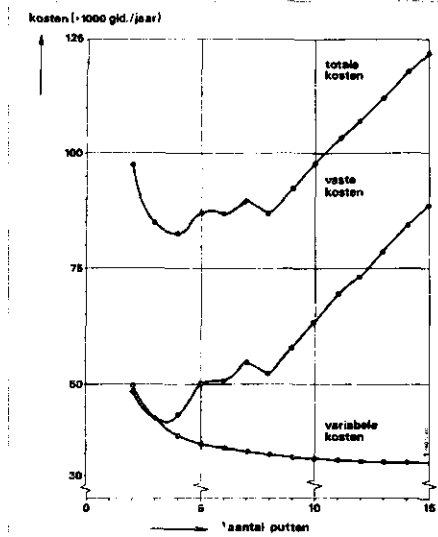
Ten aanzien van de bij de berekening gedane veronderstellingen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

1. Het ontwerpen van een geheel nieuw puttenveld komt in Nederland niet vaak meer voor. Meestal gaat het om het vergroten van de capaciteit van een bestaand puttenveld. Hierbij kan gedacht worden aan vergroten van de capaciteit van de reeds aanwezige putten. Dat is niet altijd mogelijk vanwege een te kleine diameter van stijf- en filterbuis.

Daarnaast bestaat de mogelijkheid het aantal putten uit te breiden. Steeds kan echter, uitgaande van de gewenste uitbreiding, met een analoge rekenwijze het optimale aantal en debiet der putten worden berekend. Er moet rekening mee worden gehouden dat een grotere onttrekking aan een nieuwe put capaciteitsvermindering van de bestaande tot gevolg kan hebben.

2. Uit een oogpunt van bedrijfszekerheid is het wenselijk om te beschikken over een minimum aantal putten of in ieder geval een reserveput. Op een aantal van 5 putten betekent het uitvallen van één ervan een capaciteitsvermindering van 20 %.

3. Vaak wordt het wenselijk geacht voor



Afb. 5 - Jaarlijkse kosten (in 1000 gld./jaar) van een onttrekking van spanningswater bij een wisselend aantal putten.

een goede bedrijfsvoering om te beschikken over voldoende schakelmogelijkheden. Indien bijv. een geringe buffercapaciteit aanwezig is zullen pompen die een groot debiet leveren, vaak moeten in- en uitschakelen.

Ook is het trapsgewijs op- of afbouwen van de productie minder goed mogelijk. Dit probleem kan worden ondervangen door een groter aantal putten met kleinere capaciteit te boren maar ook door in één put meerdere pompen met geringere capaciteit te plaatsen.

4. Tijdens het regenereren is een put buiten gebruik, hetgeen bij een gering aantal putten met grote capaciteit een bezwaar kan zijn.

5. Bij de berekende stijghoogtedalingen in de put is geen rekening gehouden met eventuele extra dalingen ten gevolge van verstoppingsverschijnselen.

6. In de berekening van de investeringskosten zijn niet opgenomen de kosten van een eventueel noodzakelijke verzwaring van de elektriciteitsaansluiting ten behoeve van de grotere pompen. Eveneens zijn de kosten van bovengrondse transportleidingen om het water van de putten naar het zuiveringsstation te leiden buiten beschouwing gelaten. In dit voorbeeld met de putten op één rij en een situering zo ver mogelijk uiteen is namelijk met uitzondering van het geval van 1 put in alle gevallen een even lange leiding nodig. In de praktijk zal over het algemeen bij een groter aantal putten een grotere afstand aan transportleidingen nodig zijn.

Met inachtneming van alle bovenvermelde

kanttekeningen bij het gekozen rekenvoorbeeld meen ik te mogen concluderen dat het vanuit een bedrijfseconomisch standpunt bezien aantrekkelijk is om tot grotere putdebieten over te gaan dan thans in Nederland gebruikelijk is. De berekeningen aan twee voorbeelden met diepe en ondiepe putten tonen een vrij breed kostenminimum aan bij een aantal van 4 tot 8 putten per puttenveld. In dit geval variëren de hierbij behorende putdebieten tussen circa 200 en $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

5. Toetsing aan de praktijk

Uit het voorgaande blijkt dat door velen onderzoek is verricht naar de maximaal toelaatbare putbelasting. Hieruit zijn dienovereenkomstig veel normen voortgekomen met de bedoeling een bepaald putdebiet te kunnen realiseren dan wel niet te overschrijden. Die normen hebben betrekking op de maat van het omstortingsmateriaal, de diameter van het putfilter, de boorgatdiameter en de afpompings. Uiteindelijk hebben ze slechts één oogmerk, namelijk de levensduur van de put te vergroten. Hoe is nu de praktijk van het dimensioneren van putten bij de Nederlandse waterwinning?

Ruwweg zijn 2 groepen te onderscheiden. Enerzijds zijn er de bedrijven die steunen op praktijkervaringen uit het verleden. Constructie van de putten en bedrijfsvoering geschieden op een bepaalde manier. Dat ging goed en er is dus geen reden om hier van af te wijken. Hooguit worden bij de constructie andere materialen gebruikt, terwijl ook de boormethode is gewijzigd.

Achtergronden van de toen gebruikte ontwerpnormen zijn er vaak niet of ze zijn niet meer bekend. Een goed voorbeeld hiervan is de vuistregel dat de afpompings in een put niet meer mag bedragen dan 2 m. Ongetwijfeld gaf deze norm onder de omstandigheden, waarvoor zij is ontwikkeld, uitstekende resultaten. Het is echter de vraag of een put op een andere plaats en onder andere omstandigheden ontworpen en bedreven volgens ditzelfde criterium, wel optimaal functioneert.

Anderzijds zijn er de bedrijven die behoefte hebben aan een zekere wetenschappelijke onderbouwing van hun putonderwerp en daarvoor gebruik maken van de resultaten van één van de vele onderzoeken die op dit gebied zijn verricht.

In Nederland wordt dan vaak gebruik gemaakt van de aanwijzingen van de Duitse heren Bieske. Zij adviseren om niet meer te onttrekken dan de Sichardt-snelheid toelaat en om de diameter van de filterbuis zodanig te ontwerpen dat de waterstroming in de

omstorting altijd laminair is. De Sichardt-snelheid berust echter op foute veronderstellingen, terwijl het argument om in de omstorting een laminaire stroming te handhaven, namelijk het voorkomen van chemische verstopping, niet is bewezen. Vanwege:

1. de onzekerheid over de geldigheid van bovengenoemde criteria;
2. de beperkingen die hierdoor aan het putdebiet worden gesteld;
3. de grote investeringen in putten bij winningen op grotere diepten hebben enkele bedrijven de criteria voor hun putontwerpen verruimd en zijn overgegaan tot grotere onttrekkingen dan in het verleden gebruikelijk was. De ervaringen hiermee zijn goed en tot nu toe hebben zich geen grotere problemen voorgedaan dan bij geringere putdebieten. De vraag is echter hoever men hiermee kan gaan. Mijn inziens is dit een economische kwestie. Uitgaande van de gewenste capaciteit kan het optimale aantal putten waarmee deze capaciteit kan worden bereikt, worden uitgerekend. In een dergelijke berekening kunnen indien nodig beperkingen van fysische en bedrijfs-technische aard worden opgenomen.

6. Conclusies en perspectief voor de toekomst

Uit de verzameling van literatuur- en praktijkgegevens ten aanzien van het maximale putdebiet, die in het voorgaande zo goed mogelijk is samengevat, kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Allereerst volgen een aantal zekere conclusies, vervolgens een aantal onzekere, herkenbaar aan de voorzichtiger vorm van formuleren.

1. Enkele in Nederland gebruikelijke normen voor het dimensioneren van putten worden ofwel toegepast onder omstandigheden waarvoor ze niet zijn ontworpen (2 m afpompings, Gross, Truelsen), ofwel zijn onjuist gebleken (Sichardt). Putten volgens deze normen ontworpen functioneren meestal goed maar niet optimaal.
2. De afpompings is gebonden aan een absoluut, theoretisch te berekenen maximum en aan plaats gebonden beperkingen die ten doel hebben optrekken van brak water of inkappen van de stijgbuis te voorkomen.
3. Zandtransport kan worden voorkomen door een juiste keuze van de omstorting. De maat van het omstortingsmateriaal wordt soms echter beperkt door de breedte

van de filterspleten. Tot nu toe is niet duidelijk geworden of een maximum aan de stroomsnelheid in de nabijheid van de put moet worden gesteld. De toelaatbare stroomsnelheden zijn in elk geval wel hoger dan tot nu toe werd aangenomen.

4. Het is niet bewezen dat verstoppingen van chemische of chemisch-biologische aard kunnen worden voorkomen door een bovengrens te stellen aan de stroomsnelheden op het grensvlak omstorting-formatie of in de filterspleten.
5. Rekening houdende met beperkingen opgelegd door de aard van de lokatie en door de specifieke bedrijfsomstandigheden kan een nieuw geplande onttrekking of een uitbreiding van een bestaande onttrekking zodanig worden ontworpen, dat hij uit bedrijfstechnisch- en economisch oogpunt optimaal is. Dit kan gebeuren door de kosten van putten en pompen en de te verwachten energiekosten tijdens bedrijf in een beschouwing te betrekken. Berekeningen tonen aan dat een putten-aantal van 4 tot 8 per puttenveld uit economisch oogpunt optimaal is. Indien alle puttenvelden in Nederland op een dergelijke wijze zo optimaal mogelijk zouden zijn ingericht, zou ten opzichte van de huidige minder optimale situatie landelijk gezien een jaarlijkse besparing van naar schatting 1,5 miljoen gulden mogelijk zijn.

In de toekomst zal onze aandacht zich moeten richten op de beantwoording van vooral één vraag, namelijk wat is de invloed van een vergroting van het debiet op de levensduur van de put. Hierbij zal vooral gelet moeten worden op het meeveren van zand en het optreden van verstoppingsverschijnselen. Bestudering van praktijkgevallen kan een belangrijke bijdrage leveren aan de beantwoording van bovengestelde vraag. De besparingen die op dit gebied mogelijk zijn, zijn mijns inziens groot genoeg om nadere onderzoeken te rechtvaardigen.

Literatuur

1. Bieske, E. sen. en Bieske, E. jun.; *Bohrbrunnen*. R. Oldenbourg verlag, München (1973) 398 pp.
2. Boorsma, H. J., Jansen, M. A. en Haasnoot, J.; *Zur Frage der Dimensionierung von Bohrbrunnen*. GWF 100 (1959) nr. 2, pp. 33-36.
3. Campbell, M. D. en Lehr, J. H.; *Water Well Technology*. Mc Graw Hill, New York (1973) 681 pp.
4. Horstmeier, A. J. N.; *Constructie en exploitatie van de put*. KIWA-meded. nr. 48. Rijswijk (1976) 146 pp.
5. Huisman, L.; *Groundwater recovery*. Macmillan Press. Londen (1972) 336 pp.

6. Hünerberg, K.; *Neue Erkenntnisse bei Bau und Betrieb von Brunnen*. GWF 108 (1967) nr. 32, pp. 119-123.
7. Johnson, E. E.; *Groundwater and Wells*. E. E. Johnson Inc. St. Paul (Minn.) (1966) 440 pp.
8. Kobus, E. J. M. e.a.; *Omstortingen van Waterwinningsputten en het maximaal toelaatbare putdebiet*. KIWA-meded. nr. 45. Rijswijk (1976) 102 pp.
9. Kruijtzter, G. F. J.; *Stijghoogteverliezen in en rond putfilters*. H₂O (4) (1971) nr. 8 pp. 162-172.
10. *Manual of water well construction practices*. EPA-570/g - 75-001. (1976) 156 pp.
11. Nahrgang, G.; *Zulässige Entnahme aus Brunnen im Lockergestein*. (1974) 16.1-16.12.
12. Olsthoorn, T. N.; *De Sichardt-snelheid en het maximaal toelaatbare debiet van waterwinningsputten*. H₂O (9) (1976) nr. 11 pp. 212-214.
13. Saucier, R. J.; *Gravel Pack Design Considerations*. Paper t.b.v. 47-th Annual fall Meeting of the Soc. Petr. Eng., San Antonio, Texas, okt. 8-11 (1972).
14. *Steady flow of groundwater towards wells*. Verslagen + meded. nr. 10 v.h. Hydrol. Colloquium. Cie. Onderz. TNO, Den Haag (1964) 179 pp.

