

Persputten, optimaliseren met verstopping*

Persputten, optimaliseren met verstopping

In een vorig artikel [Olsthoorn, 1982] zijn de technische aspecten behandeld, die van belang zijn ter beheersing van de verstoppingsproblematiek van persputten. In dit artikel wordt getoond op welke wijze de verkregen inzichten kunnen worden verwerkt in een concrete ontwerpmethodiek. Het zal blijken, dat een optimalisatie mogelijk en zinvol is tussen een verdere voorzuivering van het te infiltreren water, vaker regenereren (schoonmaken) van de putten en het boren van een groter



I.R. T. N. OLSTHOORN
KIWA NV Nieuwegein

aantal putten, zodat de belasting per put wordt verminderd.

De uit te voeren optimalisatie van deze parameters leidt tot minimale kosten van het persputtensysteem.

In het vorige hierboven reeds gerefereerde artikel kwam naar voren, dat de meeste oorzaken van verstopping kunnen worden voorkomen door de juiste, doorgaans eenvoudige, technische maatregelen te treffen, al dan niet op basis van een gedegen vooronderzoek ter zake. Zo is de verstopping door gasbellen door eenvoudige technische maatregelen te voorkomen, terwijl die door dispersie van kleimineralen in het algemeen uitsluitend op kan treden bij injectie van zoet water in een formatie die brak of zout is.

Bacteriegroei moet met een zekere chloring of door adequate verwijdering van assimileerbare organische stoffen worden vermeden, terwijl chemische neerslagen uitsluitend zijn te vrezen bij menging van watersoorten voor de put en niet bij de ondergrondse verdringing van watersoorten die normaliter met elkaar zouden reageren. De zwevende bestanddelen in het infiltratiewater vormen doorgaans het grootste probleem, aangezien enerzijds een nagenoeg volledige verwijdering van zwevende deeltjes een zeer hoogwaardige en dus kostbare voorzuivering vergt, terwijl anderzijds ook zeer lage concentraties ($\ll 1$ mg/l) op den duur tot verstopping kunnen leiden. Optimalisatie, in de zin

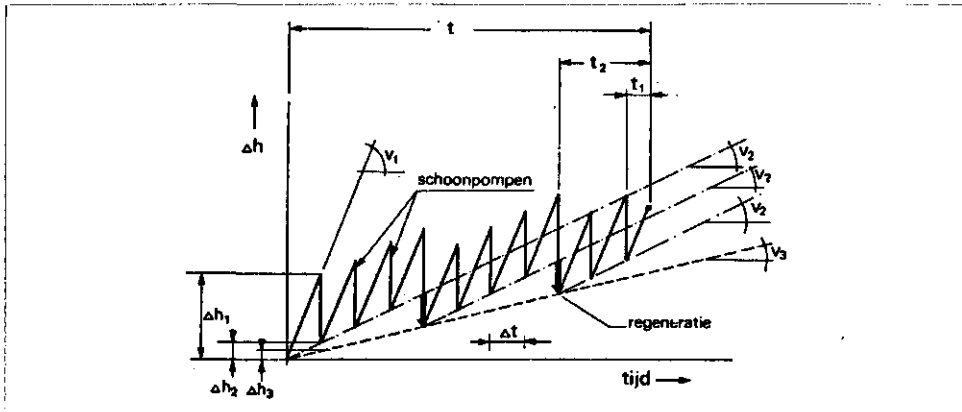
zoals hiervoor aangeduid, ligt zodoende voor de hand.

De situatie bij verstopping door zwevende bestanddelen is schematisch aangeduid in afb. 1 die aangeeft dat er een lineaire toename van de weerstand optreedt bij een constante infiltratievolumestroom en een constante kwaliteit infiltratiewater. Weerstand is hier de waterstand in de put minus die welke in de put aanwezig zou zijn zonder verstopping; beide terugerekend naar een standaard volumestroom en standaard watertemperatuur (bijvoorbeeld 10°C). Wanneer als standaard de volumestroom wordt gekozen die overeenkomt met een infiltratiesnelheid (filtreesnelheid) van 1 m/h op de boorgatwand, zijn de verschillende persputten qua verstoppingsgedrag direct met elkaar te vergelijken. De keuze van de filtreersnelheid op de boorgatwand wordt bepaald door de omstandigheid dat de verstopping zich in de meeste gevallen juist op die plaats concentreert. Dit immers is de plaats waar het water de grove omstorting verlaat en het fijne formatiemateriaal binnenstroomt, waarin meestromende deeltjes zullen vastlopen.

Afb. 1 geeft het weerstandsverloop in de tijd. Een goed beheer van het persputtensysteem impliceert dat de putten niet te lang aan hun lot worden overgelaten, maar worden schoongepompt, zodra de weerstand (gerekend sinds een voorgaande reiniging of de ingebruikneming van een nieuwe put) met een bepaalde waarde, zeg Δh_1 (afb. 1) is opgelopen. Zoals in het vorige artikel is beschreven, verwijdert het schoonpompen ruim driekwart van de verstopping die sinds de vorige reiniging optrad en vaak zelfs beduidend meer dan 80%. Toch moet ervan worden uitgegaan, dat een zeker, hardnekkiger deel van de verstopping achterblijft. De stijghelling met helling v_1 , reduceert door het schoonpompen tot een met helling v_2 (afb. 1).

Het is mogelijk, om na een aantal keren schoonpompen de putten een intensieve behandeling te geven, zoals het jutteren met perslucht, waarbij eventueel nog chemicaliën kunnen worden gebruikt. Zo'n behandeling, waartoe een speciale regeneratieploeg in actie komt, noemen wij een regeneratie. Tijdens een regeneratie zal een aanzienlijk deel van de meer hardnekkige verstopping worden verwijderd. Daar wij echter niet zonder meer mogen aannemen dat dit voor de volle 100% gebeurt, zal de stijghelling v_2 tenslotte worden gereduceerd tot v_3 . Indien, zowel tijdens het schoonpompen als tijdens het regenereren, driekwart van de opgetreden weerstand wordt verwijderd, is de helling v_3 zestien keer zo klein als de helling v_1 .

* Voordracht gehouden tijdens het 4e KIWA/VWN-colloquium. 'Enkele aspecten betreffende de winning en aanvulling van grondwater voor de drinkwatervoorziening' op 4, 5 en 10 november 1981 in 's-Hertogenbosch, Leiduin en Assen.



Afb. 1 - 'Weerstandverloop', schematisch.

Van belang is voorts het feit, dat de tijdschaal en daarmee de concrete getalswaarden van v_1 tot en met v_3 , variabel is. Deze schaal is namelijk te beïnvloeden door middel van de infiltratievolumestroom. Verdubbeling van deze stroom betekent immers niet alleen een verdubbeling op grond van de wet van Darcy, maar bovendien verdubbeling van het aantal deeltjes dat per tijdseenheid wordt aangevoerd. Hierdoor ontstaat een kwadratisch verband tussen de weerstandstoename per tijdseenheid (helling v_1 tot en met v_3 in afb. 1) en de infiltratievolumestroom. Halvering van deze volumestroom impliceert dus een reductie met een factor 4 van de snelheid waarmee de waterstand of druk in de put oploopt.

Optimalisering op systeemniveau

Bij de navolgende optimalisatie wordt ervan uitgegaan dat de resultaten beschikbaar zijn uit een vooronderzoek dat is uitgevoerd met proefputten en de in aanmerking komende watersoorten of zuiveringssystemen. Uit zo'n vooronderzoek wordt ontleend hoe snel een bepaald regeneratiecriterium onder (vaste) proefomstandigheden met de diverse watersoorten wordt bereikt. Het regeneratiecriterium is te beschouwen als het sein waarop in de bedrijfssituatie de 'regeneratieploeg' in actie komt en de put gaat schoonmaken. Het criterium is op zich arbitrair. Als geschikte norm kan men hiervoor een druktoename in de put nemen die overeenkomt met 1 m waterkolom. De zo (voor de proefputten) verkregen regeneratiefrequentie de rf_0 , is, door de vaste proefomstandigheden, uitsluitend een functie van de waterkwaliteit, en kan hier zelfs aan worden gelijkgesteld. Dus: rf_0 is identiek aan de gezochte waterkwaliteit. Op deze wijze is tevens het verband verkregen tussen het voor de persputten kenmerkende waterkwaliteitskenmerk en de zuiveringskosten.

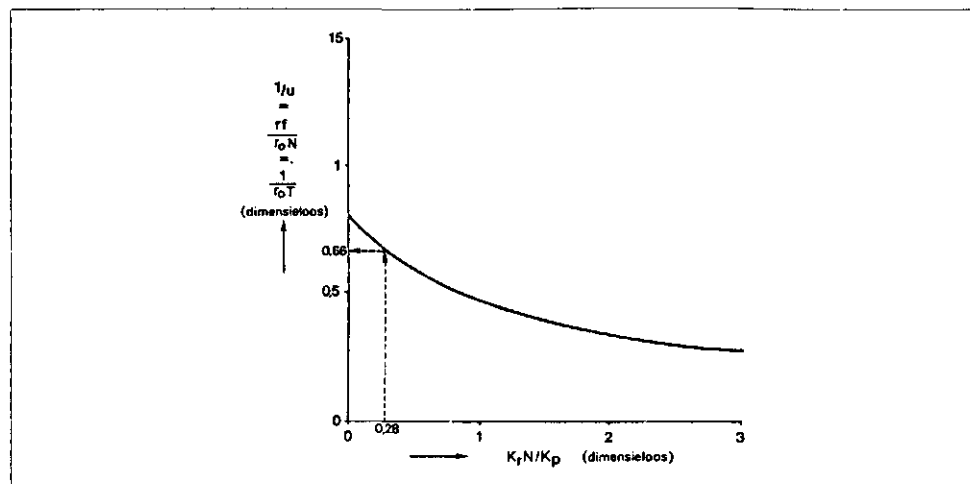
TABEL I - Mogelijk resultaat van vooronderzoek met proefputten met infiltratie-oppervlak A_0 en vast debiet Q_0 (BCL = breekpuntschling, SF = snelfiltratie, C = coagulatie, SC = secundaire coagulatie, AK = actieve koolfiltratie en HF = hyperfiltratie).

Proef Voorzuivering	Regeneratiefrequentie rf_0 (1/jaar)	Zuiveringskosten (lit. Anon., 1978) (fl/m ³)
1 chlorering	52	0,02
2 BCL+SF	12	0,05
3 BCL+C+SF	4	0,11
4 BCL+C+SF +SC+SF	0,5	0,25
5 BCL+C+SF +AK+HF	0,1	0,50

Bij wijze van (denkbeeldig) voorbeeld geeft tabel I het mogelijke resultaat van een uitgebreid vooronderzoek.

De optimale regeneratiefrequentie in de te bouwen bedrijfsputten (rf) kan natuurlijk uitsluitend bij toeval gelijk zijn aan de regeneratiefrequentie (rf_0) die in de proefputten is vastgesteld. De optimale regeneratiefrequentie rf dient nu te worden bepaald. Hiertoe worden de diverse kostenfactoren op een rij gezet:

Afb. 2 - Bepaling optimale regeneratiefrequentie.



$k_T = k_z + (K_p + K_r)/Q_T$, met (1)

k_T = totale infiltratiekosten per m³ (fl/m³)

k_z = kosten inkoop, aanvoer en zuivering per m³ (fl/m³)

K_p = kosten van putten, inclusief terreinleidingen, pompen e.d per jaar (fl/a)

K_r = regeneratiekosten per jaar (fl/a)

Q_T = totale infiltratie per jaar (m³/a)

De putkosten K_p kunnen we schrijven als

$K_p = nk_p re^*$; $re^* = re [1 - \frac{1}{1 - \exp(-reT)}]$ (2)

waarin:

n = het totale aantal persputten

k_p = investering van een persput, inclusief bijbehorende terreinleidingen en pompen (fl)

re^* = annuïteit (fractie/a)

re = rentevoet (fractie/a)

T = aflossingstermijn (= afschrijftermijn; jaar)

De regeneratiekosten bedragen

$K_r = n rf k_r$ (3)

met:

rf = regeneratiefrequentie (a⁻¹)

k_r = kosten van één regeneratie (fl)

Deze termen kunnen verder worden samengevoegd via de volgende relaties

$n = Q_T/Q$ (4)

met:

Q = infiltratievolumestroom per put (m³/a)

$T = N/rf$ (5)

met:

N = het aantal regeneraties dat een put kan ondergaan voor hij moet worden afgedankt.

Met het eerder genoemde kwadratische verband tussen verstoppingssnelheid en

infiltratiesnelheid op de boorgatwand:

$$rf = \left(\frac{Q/A}{Q_0/A_0}\right)^2 rf_0 \quad (6)$$

met:

A, A₀ = het buitenoppervlak van de omstorting (contactvlak met formatie, infiltratie-oppervlak) respectievelijk van de bedrijfsput en de proefput (m²)
 Q, Q₀ = het infiltratiedebiet in respectievelijk de bedrijfsput en de proefput (m³/a)

Uit dit totaal volgt nu (eenvoudigheids-halve A₀ = A gesteld)

$$K_T = k_z + \frac{1}{Q_0} \sqrt{\left(\frac{rf_0}{r_f}\right) k_p re} \left[1 - \left\{\frac{1}{reN}\right\}\right] + \frac{1}{Q_0} \sqrt{(rf_0 r_f) k_r} \quad (7)$$

Waaruit, door partieel naar r_f te differentieren, de optimale regeneratiefrequentie kan worden afgeleid; een resultaat dat onafhankelijk is van de zuiveringskosten.

Na enige omwerking volgt dan het algemeen toepasbare verband tussen de 2 dimensieloze groepen k_rN/k_p en reN/r_f:

$$\frac{k_r N}{k_p} = -\left(\frac{ue^u}{1-e^{-u}}\right) \left(1 + \frac{2u}{1-e^{-u}}\right) \quad (8)$$

met:

$$u = reN/r_f = reT. \quad (9)$$

Het verband tussen K_rN/k_p en 1/u = r_f/reN is in afb. 2 gegeven.

Bedraagt nu bijvoorbeeld k_p = f 80.000,-, k_r = f 1500,-, N = 15 en re = 10 %, dan volgt:

$$\frac{k_r N}{k_p} = \frac{(1500)(15)}{(80000)} = 0,28$$

en met afb. 2:

$$\frac{1}{u} = \frac{rf}{reN} = 0,66$$

zodat

$$rf = (0,66)(0,1)(15) = 1,0 \text{ jaar}^{-1}$$

Dit gegeven ingevuld in de formule voor de totale kosten(7) levert nu uiteindelijk:

$$K_T = k_z + 0,0269 \sqrt{(rf_0)} \text{ (f/m}^3\text{)}$$

Daar nu k_z uitsluitend een functie is van r_{f0} die aan tabel I kan worden ontleend, kan nu K_T als functie van r_{f0} worden uitgezet en het kostenminimum worden afgelezen (afb. 3). Het minimum ligt in dit voorbeeld bij r_{f0} = 10, hetgeen wil zeggen een geringe voorzuivering en veel putten. Kiezen wij de 'beproefde' oplossing met r_{f0} = 12 a⁻¹ met, volgens tabel I, aan zuiveringskosten fl 0,05/m³, dan bedragen de totale kosten ruim fl 0,14/m³. Verder

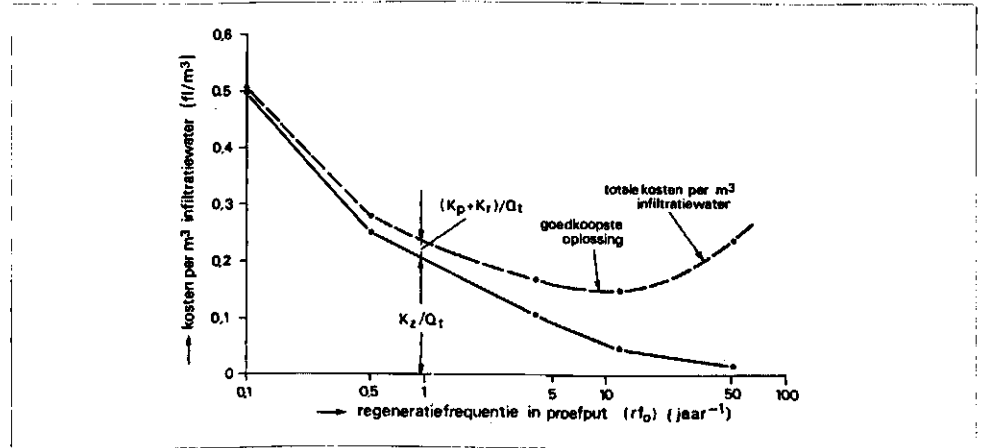
volgt dat de bedrijfsputten elk een volumestroom krijgen van:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{1}{12}\right) Q_0} = \sqrt{\left(\frac{1}{12}\right) 50 \text{ m}^3/\text{h}} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

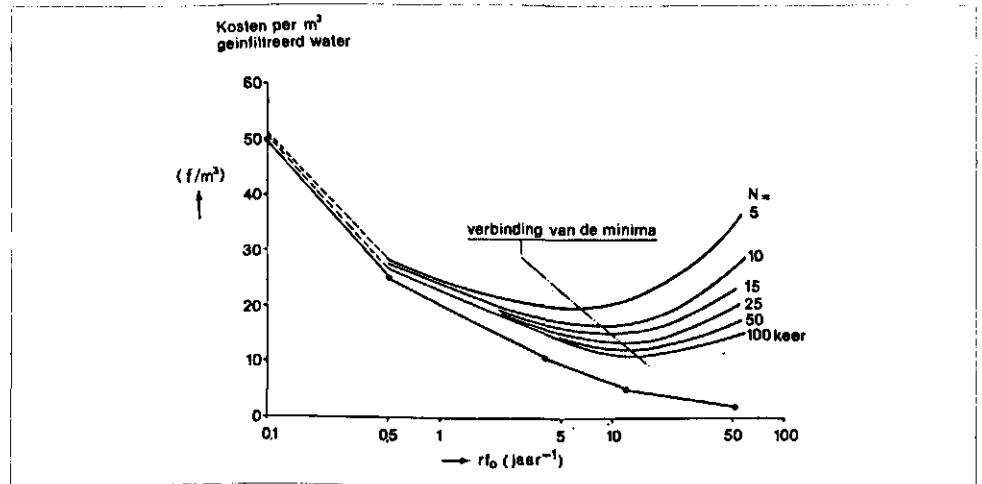
De concrete uitkomsten uit dit voorbeeld zijn uiteraard afhankelijk van de ingevulde 'denkbeeldige' getalswaarden. Het effect van andere waarden wordt gedemonstreerd

in afb. 4 en afb. 5. De plaats van het optimum wordt door de diverse variaties niet al teveel beïnvloed; het is hoofdzakelijk afhankelijk van het verband tussen k_z en r_{f0}.

Kan echter op een goedkope wijze een grote verbetering worden verkregen (zie afb. 5) dan ontstaat een groot gebied met ongeveer gelijke kosten en zijn financieel

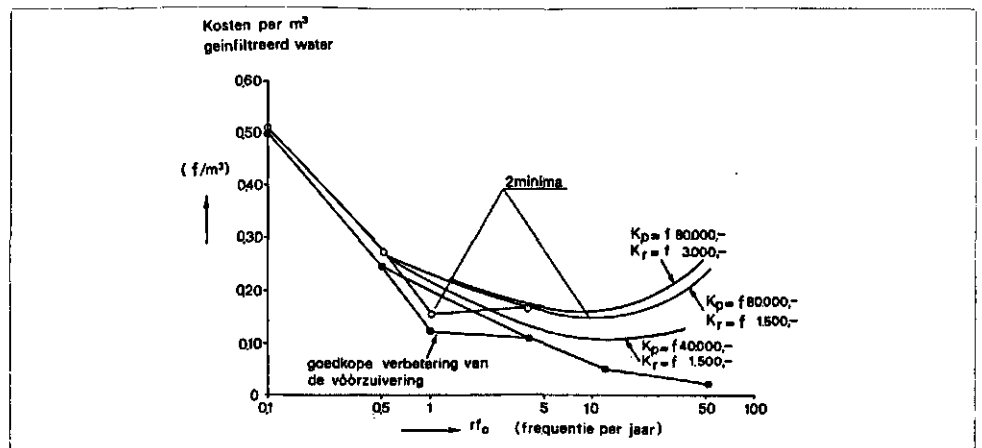


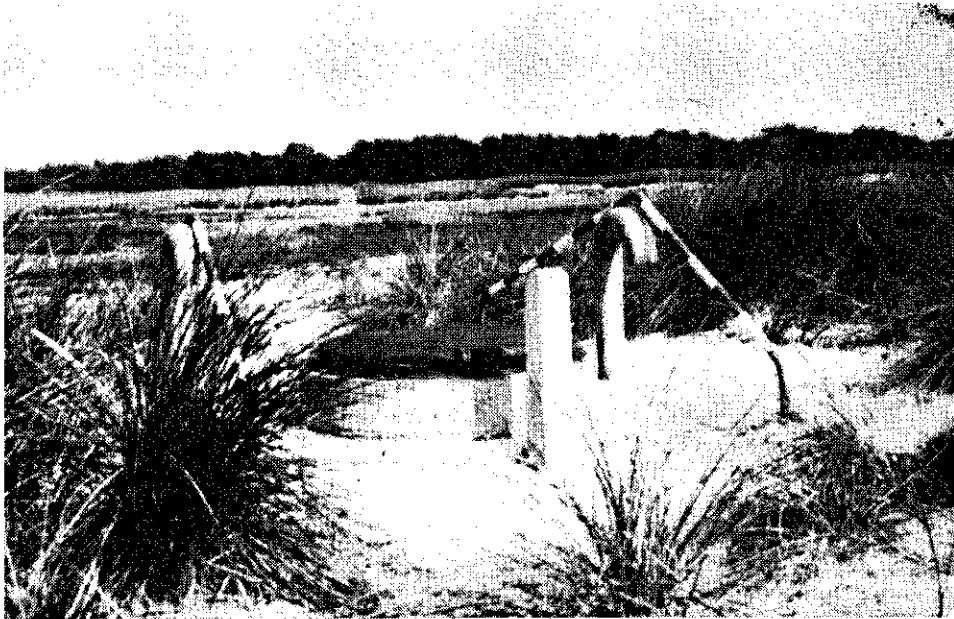
Afb. 3 - Kosten vs. waterkwaliteit (r_{f0}).



Afb. 4 - Invloed van het mogelijke aantal regeneraties op de totale kosten.

Afb. 5 - Invloed van regeneratie-, put- en zuiveringskosten op totale kosten.





Persput IP1 van het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland in het watervlak bij Castricum (foto: PWN).

gezien meerdere equivalente oplossingen mogelijk. Met het oog op bescherming van de bodem verdient in zulke gevallen de oplossing met de verst gaande zuivering uiteraard de voorkeur.

Optimalisering op putniveau

Met behulp van de hiervoor behandelde methodiek worden, voorafgaand aan het nu te behandelen ontwerp van de eigenlijke putten, reeds een aantal globale variabelen vastgelegd. Deze dienen nu nader te worden ingevuld. Het in totaal benodigde infiltratie-oppervlak is één van de variabelen die op dit moment reeds vaststaan. Dit oppervlak (A) bedraagt bij n putten met boorgatdiameter $2r$ en omstortingslengte H :

$$A = n(2\pi r)H \quad (10)$$

In het algemeen kunnen de constructiekosten van de benodigde n putten met onderstaande formule beschreven worden:

$$K_p = n [K_o + \{K_1 + aH\} \left\{ 1 + b \left(\frac{r-r_o}{r_o} \right) \right\}] \quad (11)$$

K_o = kosten voor aan- en afvoer van het boormateriaal en dergelijke, berekend per put (fl/put)

K_1 = kosten van boren en afwerken gerekend van maaiveld tot de bovenzijde van de omstorting (fl/put)

a = boor- en afwerkingskosten per meter omstortingslengte (fl/m)

b = kostenfactor voor het boren met een andere diameter dan de standaardwaarde $2r_o$ (dimensieloos)

Minimaliseren van de boorkosten is een

optimaliseringsvraagstuk, waarbij het bijplaatsen van putten wordt afgewogen tegen dieper boren en boren met een andere diameter. Een en ander wordt begrensd door de beschikbare dikte van de formatie en de mogelijkheden van de verschillende boortechnieken.

Is A bijvoorbeeld 10.000 m^2 en wordt als eerste benadering voor H 15 m en $r=r_o = 0,25 \text{ m}$ gekozen dan bedraagt het aantal benodigde persputten 424. In dit (denkbeeldige) voorbeeld kiezen we verder:

$$K_o = f 10.000, \text{—/put}$$

$$K_1 = f 10.000, \text{—/put}$$

$$a = f 300, \text{—/m}$$

$b_o = 0,5$, zodat het boren van een tweemaal zo grote diameter $f 450, \text{—/m}$ kost in plaats van $f 300, \text{—/m}$. Met deze getallen heeft elke put een infiltratie-oppervlak van $23,6 \text{ m}^2$ en kost $f 24.500, \text{—}$.

Worden de putten juist zoveel (dH) dieper geboord, dat met één put minder kan worden volstaan, dus:

$$2\pi r_o H = (n-1) 2\pi r_o dH \quad (12)$$

zodat

$$dH = H/(n-1),$$

dan kost dit:

$$dK_p = \left(\frac{\partial K_p}{\partial H_{n,1}} \right) dH = aH = f 4500, \text{—}$$

waar een besparing van 1 put, dus $f 24.500, \text{—}$, tegenover staat.

Worden de putten daarentegen met een grotere diameter geboord, eveneens zodanig dat met één put minder kan worden volstaan, dus:

$$2\pi r_o H = (n-1) 2\pi (r-r_o) H, \quad (13)$$

zodat

$$r-r_o = r_o/(n-1), \quad (14)$$

dan kost dit:

$$dK_p = \left(\frac{\partial K_p}{\partial r_{n,1}} \right) dr = b(K_1 + aH) = f 7.250, \text{—} \quad (15)$$

In dit voorbeeld is het dus gunstig om, zover dat mogelijk is, dieper, vervolgens breder en pas als laatste meer putten te maken. Op deze wijze kan het benodigde infiltratie-oppervlak tegen minimale kosten worden verkregen. Bedraagt de realiseerbare filterlengte (H) bijvoorbeeld 20 m en de maximale diameter bij het gebruikte boorsysteem 1 m , dan zouden in plaats van de eerder berekende 424 putten er maar 160 moeten worden geboord en bedraagt de investering in plaats van $f 10.388.000, \text{—}$ maar $f 5.440.000, \text{—}$.

Samenvatting

Op grond van de inzichten omtrent het verstoppingsgedrag van persputten en wat daarbij een rol speelt, is het mogelijk een persputtensysteem zodanig te optimaliseren, dat de kosten, per m^3 geïnfiltreerd water, minimaal zijn. Om dit te bereiken, worden de mate van voorzuivering en het aantal regeneraties per put en per jaar afgewogen tegen de infiltratiecapaciteit per put en daarmee tegen het aantal putten dat nodig is om de gewenste hoeveelheid water in de bodem te brengen.

In het voorbeeld is aangenomen dat de latere bedrijfsputten er hetzelfde uit zullen zien en even groot zijn als de gebruikte proefputten. Dit hoeft in de praktijk niet altijd het geval te zijn. Aangezien het totale systeem pas dan optimaal is wanneer ook de putten zelf optimaal zijn, dient in het algemeen tevens op het niveau van de individuele putten te worden geoptimaliseerd. Deze zijn optimaal wanneer het maximale infiltratie-oppervlak (boorgatwandumtrek maal omstortingshoogte) tegen minimale kosten wordt verkregen. Deze optimalisatie, welke onafhankelijk is van de optimalisatie op systeemniveau, is in de voorlaatste paragraaf behandeld en blijkt tot aanzienlijke besparingen te kunnen leiden.

De optimalisatie op systeemniveau demonstreert dat een verdere voorzuivering weliswaar de regeneratiefrequentie en het benodigde aantal putten verlaagt, maar laat tevens zien, dat dit desondanks lang niet altijd tot een goedkoper totaalproduct leidt. Integendeel, in veel gevallen zal een beperkte voorzuivering, gecombineerd met een redelijke regeneratiefrequentie en een niet te hoge belasting van de putten het voordeligst zijn.

Ofschoon dit laatste technisch zo moge zijn, blijft de vraag of de voordeligste oplossing in de praktijk altijd de meest wenselijke is. Andere argumenten als verstoring van de rust in het gebied en het ontzien van de bodem kunnen tot een verdergaande voorzuivering doen besluiten. Een en ander zal van geval tot geval nader bekeken moeten worden en betreft een niet-technisch afwegingsvraagstuk. Wel kan de optimalisatie laten zien wat op andere dan technische gronden genomen besluiten zullen gaan kosten.

Literatuur

Anoniem. *Duinwaterleiding en alternatieven*.
Centrum voor milieukunde der univ. Leiden.
Leiden, juli 1978.
Olsthoorn, T. N. *Persputten als infiltratiemiddel*.
H₂O 1982, p. 21.

