Persputten als infiltratiemiddel*



IR. T. N. OLSTHOORN
KIWA NV Nieuwegein

Kunstmatige infiltratie

Bij de produktie van kwaliteitswater als drinkwater wordt bij voorkeur van grondwater uitgegaan. Helaas is niet overal voldoende grondwater van goede kwaliteit voorhanden en soms levert de grondwaterwinning te grote nadelen voor andere belangen op. In zulke gevallen zal naar oppervlaktewater moeten worden uitgeweken.
Oppervlaktewater is op zichzelf een onbetrouwbare ruwwaterbron; soms in kwantitatief opzicht (droogvallen) maar altijd in kwalitatief opzicht. Niet alleen varieert de kwaliteit in de regel sterk, wat de bedrijfsvoering belast, maar buitendien kan men een plotseling ernstige verontreiniging door ongeluk of opzet nooit volledig uitsluiten. Oppervlaktewater verwerkende bedrijven zijn derhalve genoodzaakt de ruwwaterbron beheersbaar te maken, teneinde betrouwbaar drinkwater te bereiden.

Het beveiligen van de ruwwaterleverantie kan op verschillende manieren gebeuren. De meest in het oog springende middelen hiertoe zijn spaarbekkens en kunstmatige infiltratiewerken. Beide hebben dezelfde hoofdfunctie, namelijk: het betrouwbaar maken van de ruwwaterbron door:

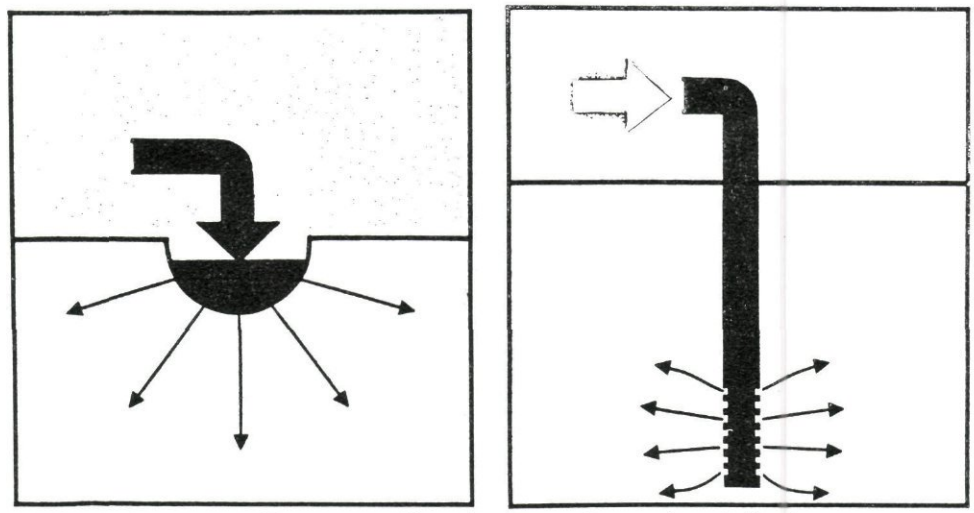
- creëren van een voorraad
- afvlakking kwaliteitsvariaties.

Kunstmatige infiltratie, waartoe we ons hier zullen beperken, maakt hierbij gebruik van de bodem, en wel als:

- voorraadvat
- mengreservoir
- reusachtig natuurlijk filter.

Een goed uitgevoerde kunstmatige infiltratie garandeert daarom steeds een stabiel eindprodukt, dat door de bodempassage een gedegen kwaliteitsverbetering heeft ondergaan en onder meer gevrijwaard is van pathogene bacteriën en virussen. De nabehandeling kan daarom beperkt of althans eenvoudig zijn, met een minimaal tot geen gebruik van chemicaliën.

Kunstmatige infiltratie zal daarom in veel gevallen de eenvoudigste en goedkoopste en meest natuurlijke methode zijn om uit oppervlaktewater een betrouwbaar gebruiks- of drinkwater te bereiden van een constante kwaliteit. Om deze redenen biedt de methode niet alleen voor ons, maar ook voor ontwikkelingslanden grote mogelijkheden.



Afb. 1 - Ondiepe, open infiltratie met infiltratiekanalen en diepe, gesloten infiltratie met persputten.

Open versus gesloten infiltratie

Beperken we ons tot de meest betrouwbare systemen van kunstmatige infiltratie, dit zijn de systemen waarin het water met afsluitbare leidingen wordt aangevoerd (dus geen oeverfiltratie), dan is een onderscheid mogelijk in de van oudsher toegepaste en beproefde open infiltratie en de modernere gesloten infiltratie (afb. 1). Beide zullen echter in de verre toekomst hun bestaansrecht hebben.

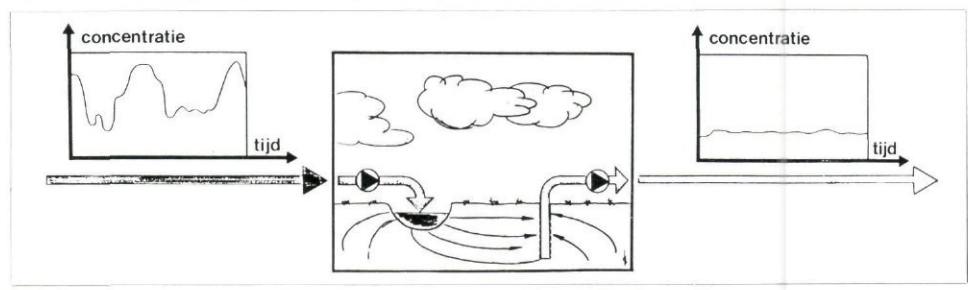
Open infiltratie

Afb. 2 toont de meest gebruikte, eenvoudige manier van kunstmatig infiltreren. Een drain (vaak: een rij onttrekkingsputten) min of meer parallel aan infiltratiekanalen of vijvers (open infiltratie). Vanuit deze kanalen stroomt het zonodig voorgezuiverde ruwe water, via de bodem naar de drains.

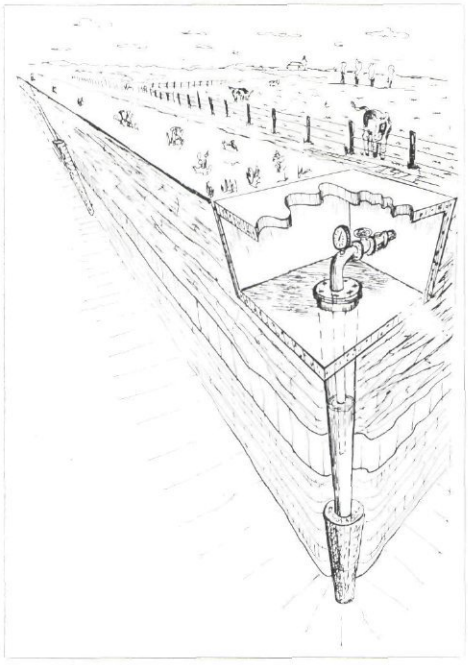
Tijdens deze bodempassage verbetert de kwaliteit, terwijl de verschillen in stroombaanlengtes een sterke verblijftijdsspreiding en daardoor kwaliteitsafvlakking veroorzaken. Een stagnatie in de ruwwatertoevoer leidt tot het droogvallen van de kanalen, doch de onttrekking uit de drain kan nog een behoorlijke tijd worden voortgezet.

De intredesnelheid op de vijverbodem is gering, enkele decimeters per dag, zodat al gauw aanzienlijke infiltratie-oppervlakken noodzakelijk zijn. Ruimtegebrek en het beslag op het natuurlijk milieu (veel infiltratiewerken bevinden zich in natuurgebieden) kunnen een belangrijke hinderpaal zijn voor deze wijze van infiltreren. Zijn de bovenste meters van de grond slecht doorlatend (klei, leem, veen) dan is deze wijze van infiltreren zelfs praktisch onmogelijk. In het algemeen geldt dat, bij deze zogenaamde open infiltratie geschikte, diepere bodemlagen niet kunnen worden bereikt, wanneer zij door slecht doorlatende lagen worden afgedekt. Vandaar dat men uitziet naar andere infiltratiemiddelen, zoals persputten, die deze nadelen niet hebben.

Afb. 2 - Kunstmatige infiltratie als proces bij de waterzuivering.



* 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. 3 - Infiltratie- of persput.

Persputten

Persputten (zie afb. 3) zijn zo'n ander infiltratiemiddel; nauwelijks zichtbaar in het landschap en overal plaatsbaar, brengen zij het te infiltreren water direct op de gewenste diepte, dwars door allerlei slecht doorlatende lagen heen. Het geïnfiltreerde water kan op enkele tientallen meters afstand weer worden teruggewonnen, terwijl een klein overschot aan infiltratiedebiet de opbouw van een bel infiltratiewater garandeert, die in noodgevallen weer kan worden onttrokken.
Persputten (ook infiltratieputten of injectieputten genoemd) worden op grote schaal toegepast voor het zogenaamde deep-well lozen van vloeibare afvalstoffen en bij de secundaire oliewinning. Bij de laatste methode wordt de olie door het injectievluïdum naar de olieproduktieputten verdrongen om de olieproduktie te vergroten. In de waterleidingindustrie vinden persputten toepassing in Israël, Californië, Zwitserland, Spanje en de Bondsrepubliek. In Nederland is de toepassing nog experimenteel, hoewel het onderzoek dat de waterleidingbedrijven en het KIWA, voor een belangrijk deel gefinancierd door de VEWIN, samen met een industrie en enkele overheidsinstellingen sinds ongeveer 10 jaar uitvoerden, veel ervaring en inzicht heeft opgeleverd.

Technische problemen bij de toepassing van persputten

Het grote probleem bij de toepassing van persputten was steeds de snelle verstopping van de putten. Verstopt een infiltratiekanaal in een tijdsbestek van maanden tot jaren, dan kan dit in een persput, met een rond honderd keer zo grote intredesnelheid (gerekend op de boorgatwand), al in dagen tot weken het geval zijn.

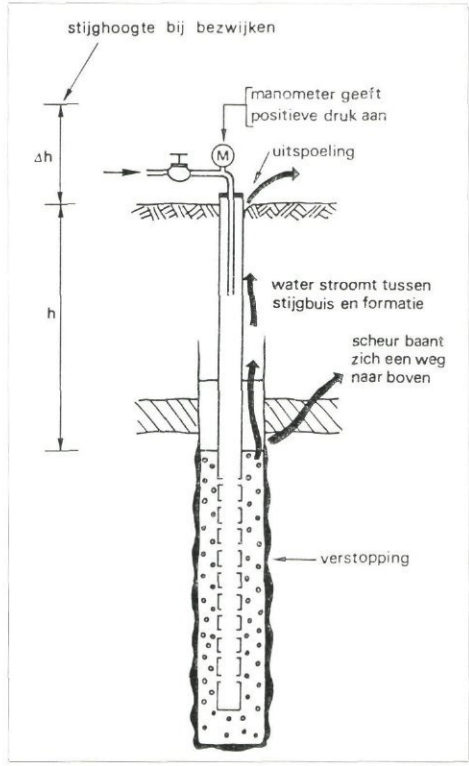
Beheersing van de verstoppingsproblematiek was daarom lange tijd hoofdpunt van het onderzoek, waarbij de volgende punten een rol speelden:

- oorzaak en preventie van de verstopping
- regeneratie van verstopte putten
- ontwerpmethodiek.

De verstoppingsproblematiek lijkt inmiddels beheersbaar wat nu aan de hand van een praktijkproject zou moeten worden bewezen. Het persputtenonderzoek zelf wordt momenteel voortgezet met hydrologische en kwaliteitsaspecten, terwijl er een voortdurende uitwisseling van gegevens en ervaringen blijft plaatsvinden tussen de deelnemers aan het onderzoek.

Gevolgen van verstopping

Een persput die verstopt zal op den duur nauwelijks nog water opnemen, of, wanneer men de volumestroom constant houdt, op den duur eenvoudig barsten. Dat wil zeggen, de grond bezwijkt onder de hoge injectiedruk en de put wordt, zoals dat heet, 'achterloops' of 'onderloops' (afb. 4). Achterloops geraakte putten zijn soms nog wel, maar vaak niet meer bruikbaar. Deze achterloopsheid is een reëel gevaar voor elke persput en dient te worden voorkomen door de begrenzing van de injectiedruk. De injectiedruk mag, als vuistregel, niet hoger zijn dan 0,2 bar (20 kPa) voor elke 10 m dat de bovenzijde van de omstorting zich beneden het maaiveld bevindt.



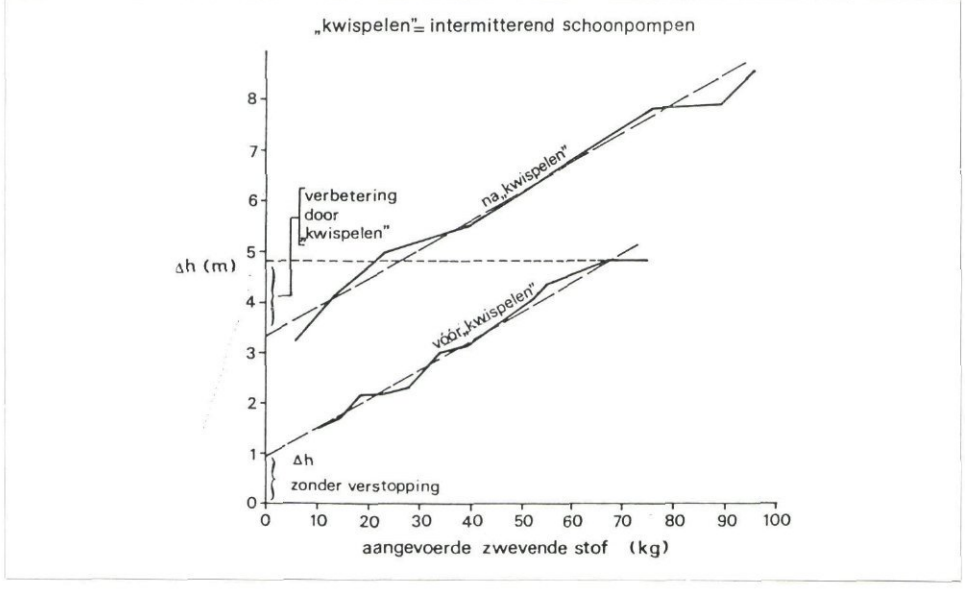
Afb. 4 - Het onderloops raken van een persput.

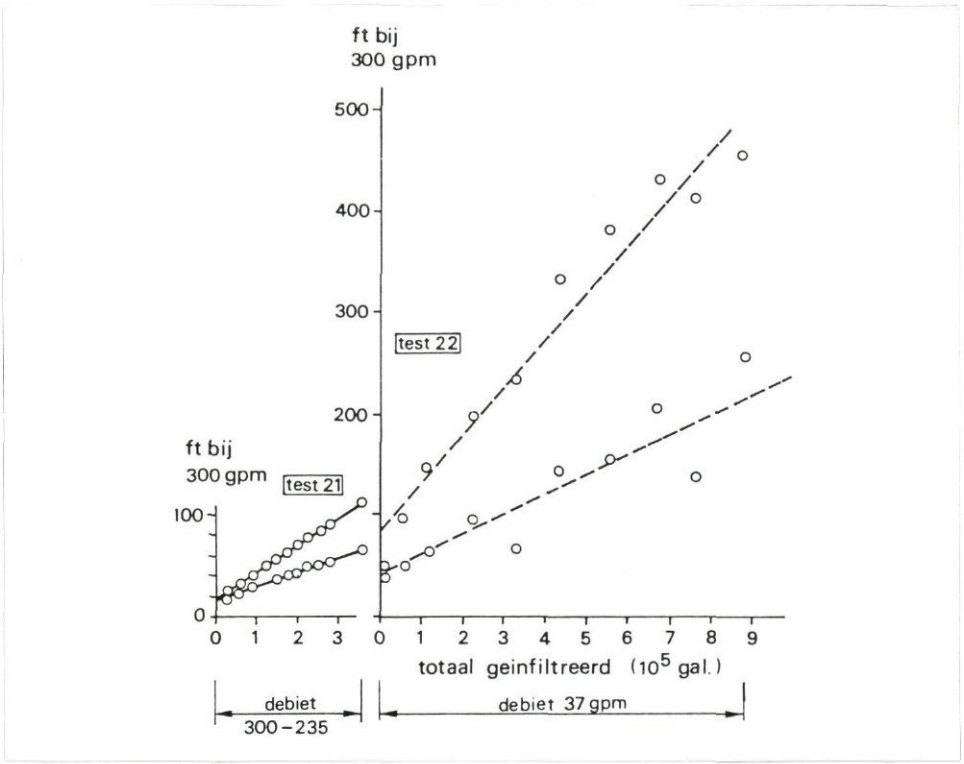
Oorzaken en preventie van verstopping

Persputten kunnen verstoppen door:

a. zwevende deeltjes in het water,
b. bellen in het water,
c. bacteriegroei in de put,
d. chemische neerslagvorming,
e. dispersie en zwelling van kleideeltjes in de bodem,
f. zetting van de bodem rondom de put.

Afb. 5 - Hoogovenput, 'weerstand' vs. aangevoerd slib. [Brandes, in: Bulten, 1972].



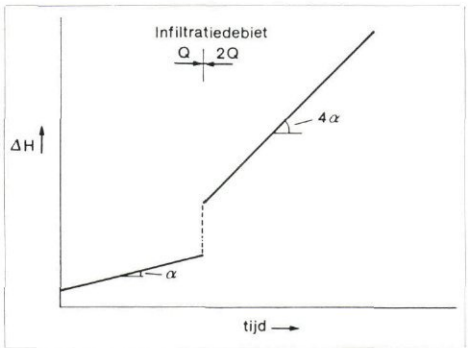


Afb. 6 - Weerstandstoename vs. totaal volume lineair, ondanks sterk variërende infiltratievolumestroom. [Geg. Sniegocki, 1965].

Ad a

Water, ook gezuiverd water, bevat zwevende deeltjes van uiteenlopende aard, vorm en grootte, die de grondporiën kunnen verstoppen. Zwevende stof veroorzaakt in het algemeen een verstopping die lineair toeneemt met de in totaal geïnfiltreerde hoeveelheid zwevende stof (afb. 5). Bij constante concentratie is zodoende ook het verband met het totaal geïnfiltreerde volume water lineair (afb. 6). Is bovendien de infiltratievolumestroom constant, dan is dus tevens het verband met de tijd lineair. Daar nu niet alleen de weerstand evenredig is met de volumestroom, maar bovendien de per tijdseenheid aangevoerde hoeveelheid zwevende stof hiermee evenredig is, is het verband tussen snelheid van druktoename in de put en de volumestroom kwadratisch. Een verdubbeling van de volumestroom geeft dus in de regel een viermaal zo snelle druktoename per tijdseenheid (afb. 7).

Afb. 7 - Kwadratisch effect van de volumestroom op weerstand vs. tijd.



De zwevende stof zinvol meten was steeds een probleem, met name bij de lage concentraties die in gezuiverd water, drinkwater bijvoorbeeld, aanwezig zijn. Als enige geschikte maat is tot nu toe de zogenaamde 'membraanfilterindex' [Schippers en Verdouw, 1980] uit de bus gekomen (afb. 8). In de betere, gezuiverde watersoorten zijn bijvoorbeeld de troebelheid en het zwevende-stofgehalte zeer ongevoelige parameters terwijl dan juist de membraanfilterindex (MFI) zijn grootste gevoeligheid heeft (afb. 9). De membraanfilterindex wordt bepaald aan de hand van het verloop van de volumestroom in een test waarbij het te onderzoeken water onder 200 kPa (2 bar) overdruk door een millipore membraanfilter met poriën van 0,45 μm wordt geperst. De MFI is te beschouwen als maat voor de verstoppende eigenschappen van het water en maakt vergelijking van watersoorten alsmede zuiverings- en kwaliteitscontrole mogelijk.

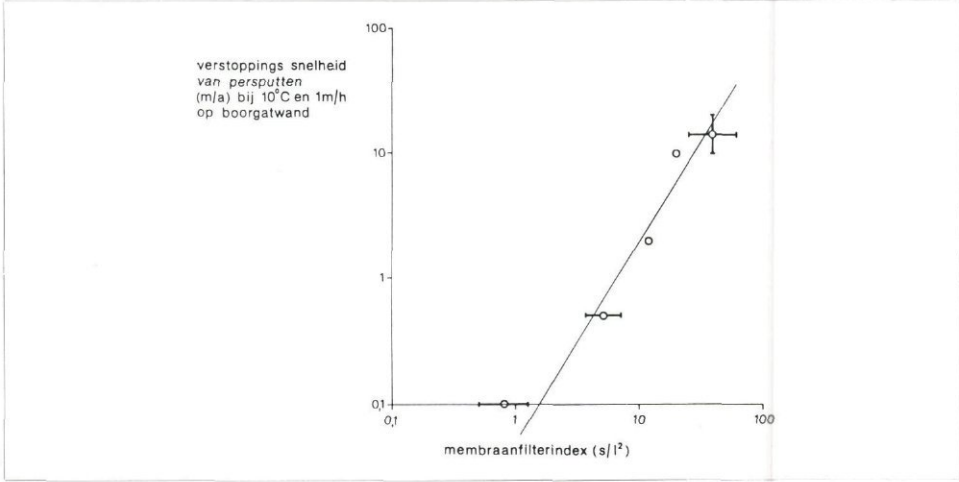
Ad b

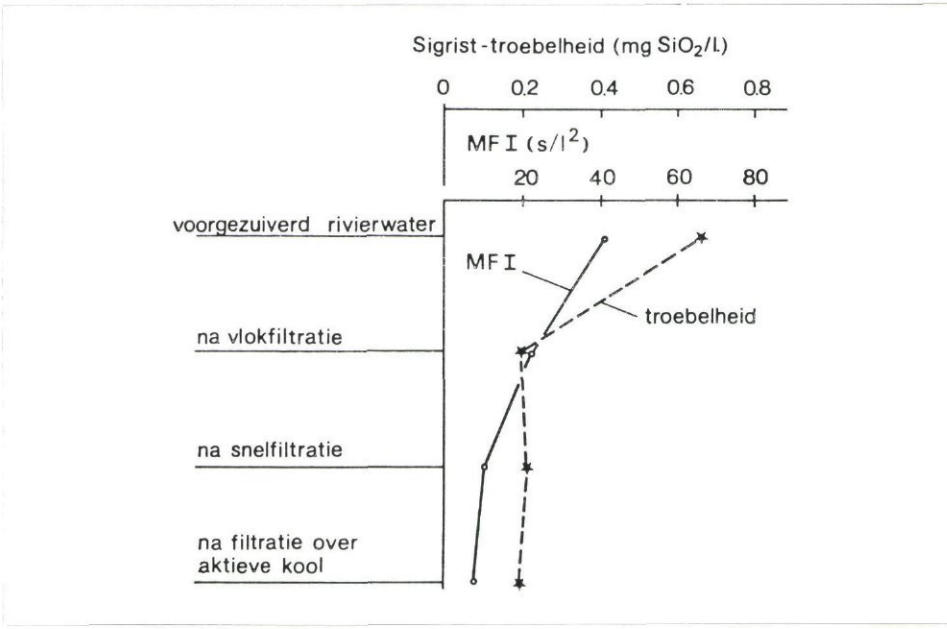
Overal waar onderdrukken in het leidingenstelsel ontstaan, het water vrij valt of oververzadiging aan bepaalde gassen optreedt, ontstaan bellen, die met het infiltratiewater mee de put worden ingesleurd en dan de bodemporiën blokkeren. Een aanvankelijk snelle verstopping en een (mogelijk) evenwicht tussen oplossen en aanvoer in de put zijn kenmerkend voor deze vorm van verstopping, die echter door eenvoudige technische maatregelen steeds te voorkomen is (afb. 10).

Ad c

Bacteriën in gebruikelijke aantallen (bijvoorbeeld 1000 per ml) in het infiltratiewater hebben zo'n gering volume, dat zij op zichzelf nauwelijks verstopping kunnen veroorzaken. Pas wanneer zij zich in de put nestelen en zich daar, door de voortdurende voedselaanvoer (assimileerbare organische stoffen in het infiltratiewater) op grote schaal gaan vermenigvuldigen, kunnen zij een hinderlijke verstopping veroorzaken (afb. 10). Zelfs bij het infiltreren van ver voorgezuiverd water als drinkwater kan dit het geval zijn. Bacteriegroei voorkomen is een belangrijk punt bij een

Afb. 8 - Verband tussen persputverstopping en membraanfilterindex van Nederlandse persputten.





Afb. 9 - Gevoeligheid MFI vs. die van troebelheid.

persputtensysteem. Dit is mogelijk door een continue of periodieke chloring van het infiltratiewater, danwel het wegzuiveren van de assimileerbare, organische stoffen (bijvoorbeeld met langzame zandfiltratie en mogelijk actieve koolfiltratie).

Ad d

De vorming van chemische neerslagen dient te worden voorkomen. Naast de gebruikelijke vermijding van oververzadiging aan kalk, is sterke waakzaamheid geboden bij doseringen of het samenvoegen van watersoorten tussen de laatste filtratiestap en de persputten. Bij voorkeur is de laatste stap voor de putten een filtratie.

Vermenging van het infiltratiewater met het oorspronkelijke grondwater leidt vaak tot neerslagvormende reacties (ijzerhydroxyden). Men behoeft hiervoor echter niet bevreesd te zijn wanneer het oorspronkelijke grondwater ondergronds door infiltratiewater wordt verdrongen. Dit komt omdat in een korrelmedium slechts zeer weinig vermenging optreedt. Bovendien wordt het contactvlak tussen de twee watersoorten steeds verder van de putten verplaatst en neemt de reactiviteit af door de reeds opgetreden vermenging. Van verstopping door deze oorzaak is in de praktijk tot op heden dan ook niets gebleken.

Ad e

Gevaarlijker is de verstoping door zwelling en vooral door dispersie van kleideeltjes die rond de bodemkorrels aanwezig kunnen zijn. Deze verstopping kan optreden wanneer zoet water direct in een formatie met brak of zout water wordt geïnfiltreerd. Kationenwisseling, gepaard aan de sterke daling van de ionensterkte rond de bodemkorrels na passage van het zoetwaterfront, is de oorzaak van het losraken van de binding tussen de kleideeltjes, die hierdoor eerst zwellen en vervolgens dispergeren (afb. 11).

Wanneer infiltratie van zoet water in een volledig brak of zout pakket wordt overwogen, verdient vooronderzoek aan de hand van ongeroerde grondmonsters sterke aanbeveling. Mocht het vooronderzoek het risico bevestigen, dan kunnen de gevolgen verregaand worden ingedamd door een voorinfiltratie van een aantal kubieke meters geconcentreerde oplossing van calcium-chloride, welke dan als kationenbuffer dienst doet.

Ad f

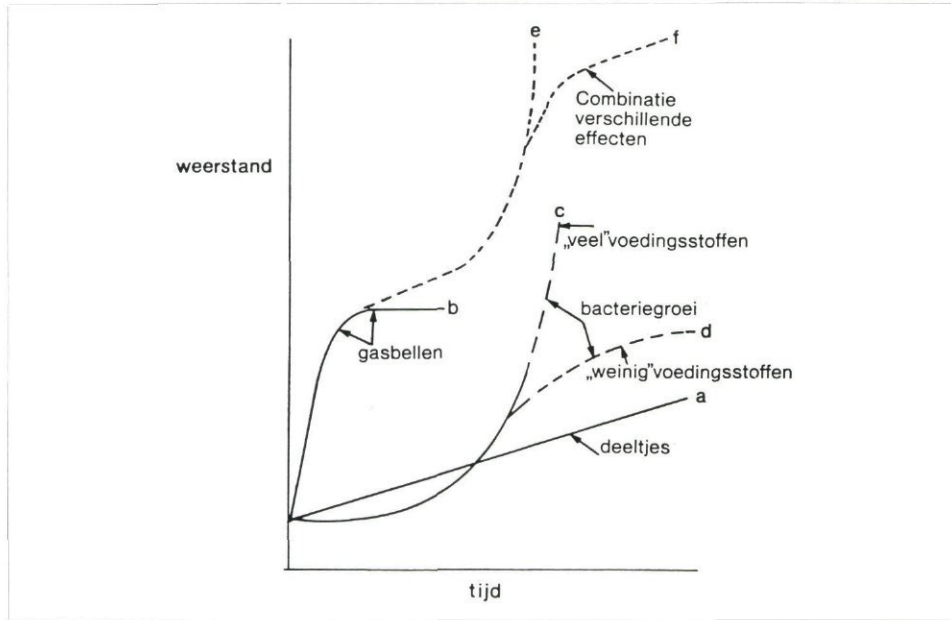
Bodemzettingen kunnen ontstaan door het voortdurende infiltreren en weer onttrekken van water (wanneer een persput veelvuldig wordt schoongepompt). Bij een goede putconstructie, waarbij zandmeevoer wordt voorkomen, de drukken worden beperkt en uitloging van de bodem met regeneratie-chemicaliën door een omzichtige werkmethode wordt beheerst, is dit punt van ondergeschikt belang.

Samenvattend kan worden gesteld, dat de oorzaken b tot en met f door juiste technische voorzieningen, bedrijfsvoering en vooronderzoek zijn te voorzien en verregaand te voorkomen. De zwevende stof, oorzaak a, is meestal een groter probleem omdat ook zeer lage concentraties ($<<1$ mg/l) nog problemen kunnen opleveren en extreem lage concentraties alleen tegen zeer hoge zuiveringskosten kunnen worden bereikt. Dit punt kan in de praktijk worden ondervangen door de hogere zuiveringskosten af te wegen tegen regeneratiekosten en de kosten die gemoeid zijn met de bouw van een groter aantal persputten. Deze afweging leidt tot een in financieel opzicht optimaal resultaat, zoals in een volgend artikel zal worden beschreven.

Regenereren van verstopte putten

Verstopte putten moeten weer worden schoongemaakt, geregenereerd. Dit kan

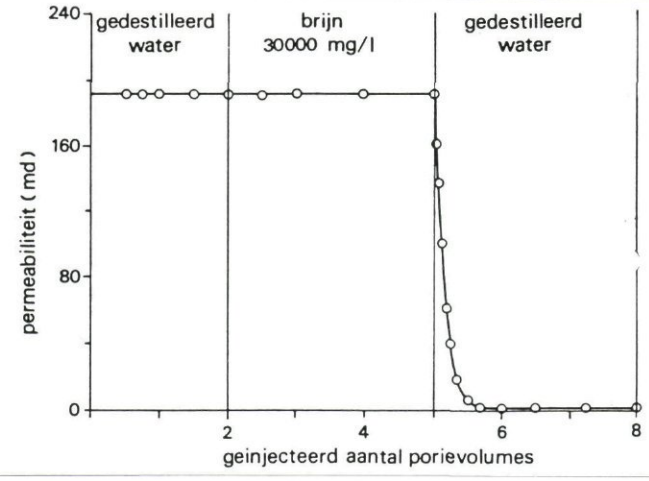
Afb. 10 - Voor diverse oorzaken karakteristiek weerstandsverloop.



mechanisch (schoonpompen, borstelen e.d.), maar ook chemisch gebeuren. Chemisch regenereren wil zeggen, dat bij een mechanische regeneratie chemicaliën worden toegepast, meestal chloor of chloorbevattende middelen, sterk zuur of polyfosfaat.

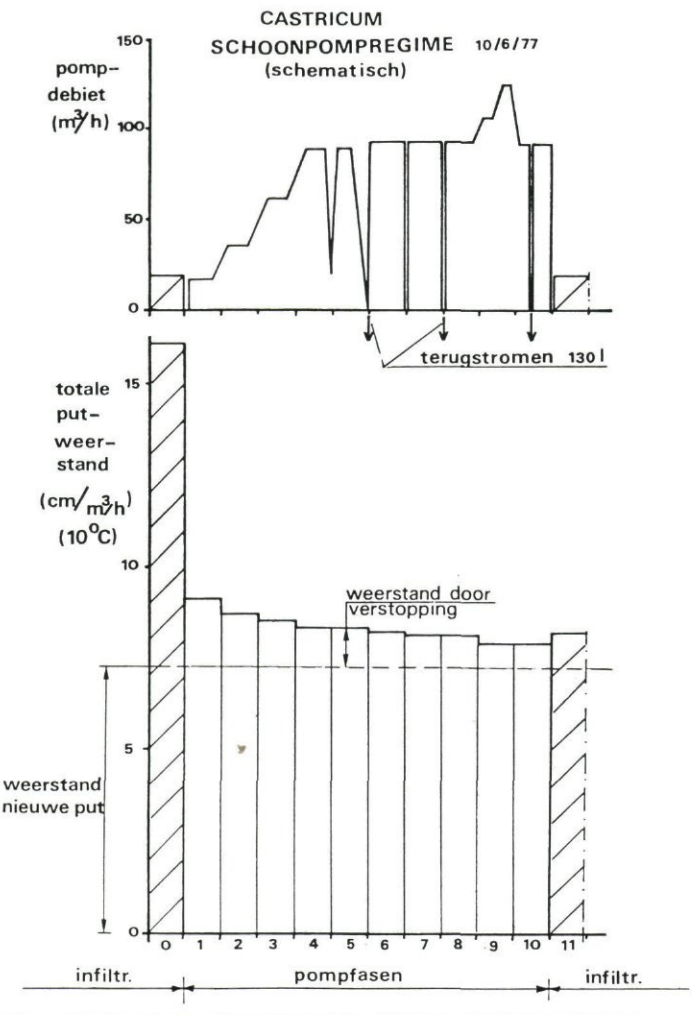
Voor de hand liggende mechanische regeneratiewijzen zijn:

a. schoonpompen (met zuigpomp of onderwaterpomp),
b. jutteren (met perslucht),
c. schoonspuiten (met hoge-drukpomp),
d. andere.



Afb. 11 - Risico: injectie zoet water in zoute bodem [uit: Mungan, 1965].

Afb. 12 - Verloop van een mechanische regeneratie.



TABEL I - *Overzicht van het door schoonpompen bereikte verwijderingspercentage van de opgetreden verstoppingsweerstand [zie onderbouwing in Olsthoorn, 1982].*

Put- of modelproef	Verwijderingspercentage
Rebhun & Schwarz, 1968 (grof zand)	40
put GAT 24 (Final Report Israël)	61
Hoogovenput	72
Den Haag	73
put GAT 21	75
Hoogovenput	76
Castricum	76
Rebhun & Schwarz, 1968 (fijn zand)	82
put GAT 9	83
Castricum	85
Bichara, 1979	89
Bichara, 1974	92
put GAT 6	95
Vecchioli, test 7, 1972	96
Gemiddeld	80

Ad a

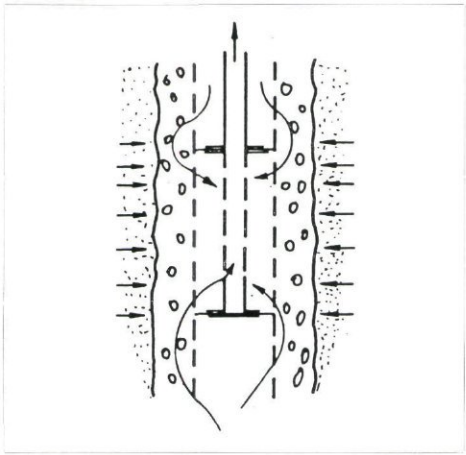
Schoonpompen is de meest gebruikte regeneratiemethode. Gemiddeld wordt hiermee binnen enkele minuten 80 % van de opgetreden verstoppingsweerstand verwijderd (tabel I).
Hierna gebeurt er nog maar weinig, tenzij het pompen weken tot maanden achtereen wordt volgehouden, zoals dat in zogenaamde dual purpose putten (putten die zowel voor infiltreren als onttrekken worden gebruikt) automatisch het geval is (tabel II).

De grootte van de onttrekkingsvolumestroom heeft slechts zeer beperkte invloed. Vervijfvoudiging levert misschien 10 % extra op (afb. 12). Hierdoor, maar met name vanwege de sterke kortsluiting via de omstorting levert sectiegewijs pompen (geconcentreerd bepompen van kleine putsecties, afb. 13) meestal weinig op, zeker wanneer, zoals bij persputten meestal het geval is, de verstopping ter plaatse van de boorgatwand is geconcentreerd.

TABEL II - *Weerstandsveranderingen bij 4 Israëlische dual-purposeputten (relatief).*

	W_1-Wo %	W_2-Wo %	W_3-Wo %
GAT 6	100	5	−15
GAT 9	100	17	3
GAT 21	100	25	3
GAT 24	100	39	15

W_1-Wo = weerstandstoename gedurende het infiltratieseizoen = 100 %,
W_2-Wo = restant onmiddellijk na het starten van de pomp,
W_3-Wo = restant aan het einde van het pompseizoen,
−15 % = verbetering ten aanzien van begin vorige infiltratieseizoen, [afgeleid uit Underground Water Storage Study Israël, Final Report, FAO, Rome, anoniem 1969].



Afb. 13 - Kortsluiting tijdens sectiegewijs schoonpompen.

Bij het schoonpompen doet de omkering van de stromingsrichting het werk ('pers-pomp-cyclus'). Deze treedt telkens op, wanneer van 'infiltreren' op 'pompen' wordt overgeschakeld. Bij intermitterend pompen (pompen met onderbrekingen) vindt geen stromingsomkering plaats, zodat dit dan ook praktisch zonder resultaat blijft (afb. 14).

Ad b

Jutteren met perslucht veroorzaakt een voortdurende stromingsomkering en is daarom een zeer geschikte regeneratiemethode (afb. 15). De vloeistofkolom in de put wordt eerst met perslucht omlaaggedrukt waarbij een infiltratie optreedt. Vervolgens opent men de snelafsluiter op de putkop waardoor de samengeperste lucht ontsnapt en de kolom in de put met grote snelheid omhoog schiet. Wordt het inblazen voortgezet dan ontstaat een zogenaamde mammoetpomp (luchtlift) die het losgemaakte vuil direct afvoert. Met de mammoetpomp, maar vooral door het omhoogschieten van de waterkolom na het openen van de snelafsluiter, ontstaat gedurende enkele seconden een hoog debiet, dat afhankelijk van de plaatselijke situatie, wel 1000 m^3/h kan benaderen. Met dit jutteren wordt in de regel, ook zonder chemicaliën, een goed regeneratieresultaat bereikt.

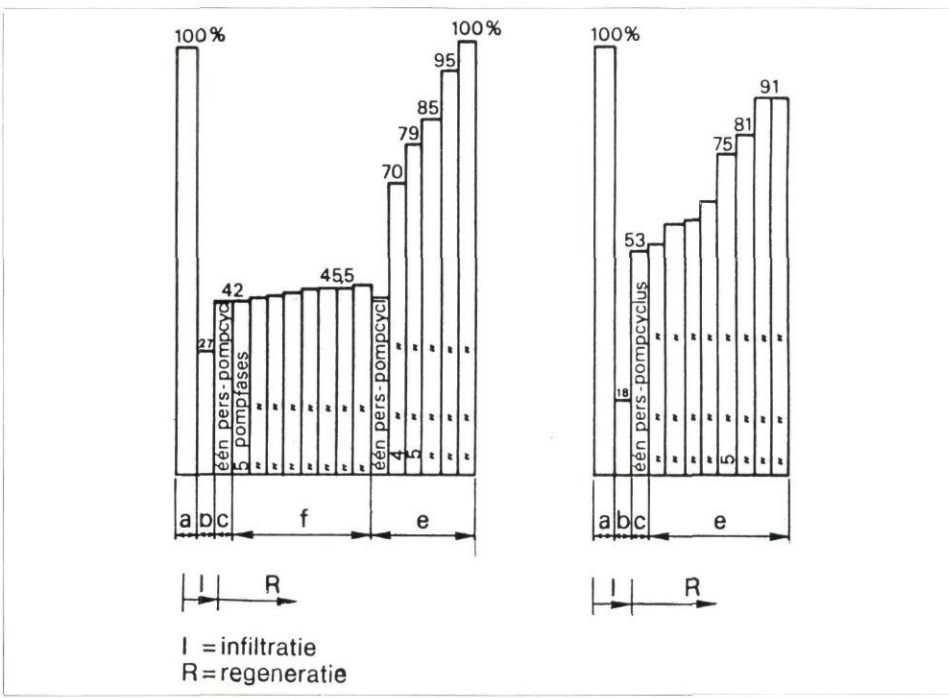
Ad c

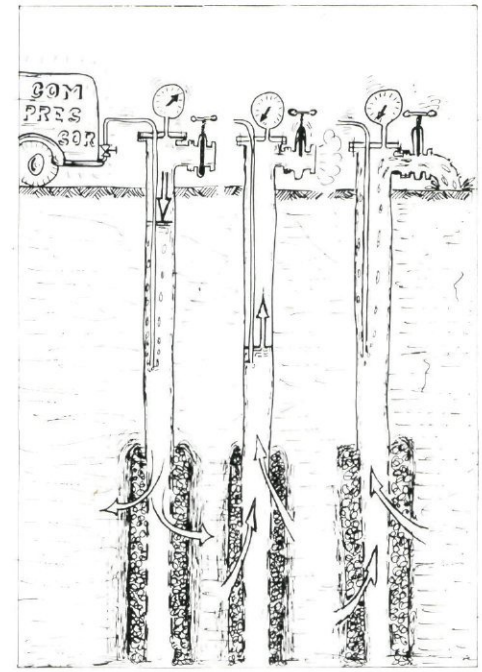
De kracht van de horizontale straal van een in het filter van een persput afgelaten hogedrukspuit (afb. 16) wordt door de omstorting vernietigd. Dieptewerking is van zo'n spuit dan ook niet te verwachten. Persputten, die in de regel met name op het grensvlak tussen de grove omstorting en het fijne formatiemateriaal verstopt raken, zullen er dan ook slechts zeer ten dele mee kunnen worden gereinigd.

Ad d

Naast de hierboven genoemde methoden bestaat er nog een hele reeks andere (borstelen, surgen, bailen, hydraulic fracturing, gebruik van explosieven e.d.), die echter ofwel minder effectief en efficiënt zijn, danwel in onverkitte, niet zeer diepe zandformaties en met de hier te lande veel gebruikte kunststof-putfilters een te groot risico voor de put met zich meebrengen.

Afb. 14 - Effect van het tussentijds infiltreren op het schoonpompresultaat [uit: Bichara, 1974].





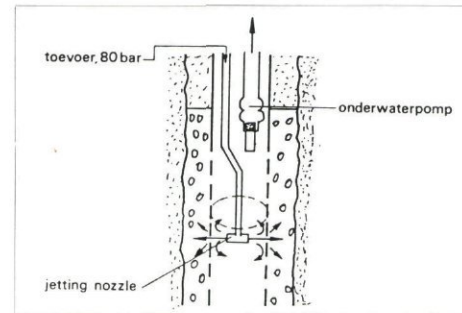
Afb. 15 - Jutteren met perslucht.

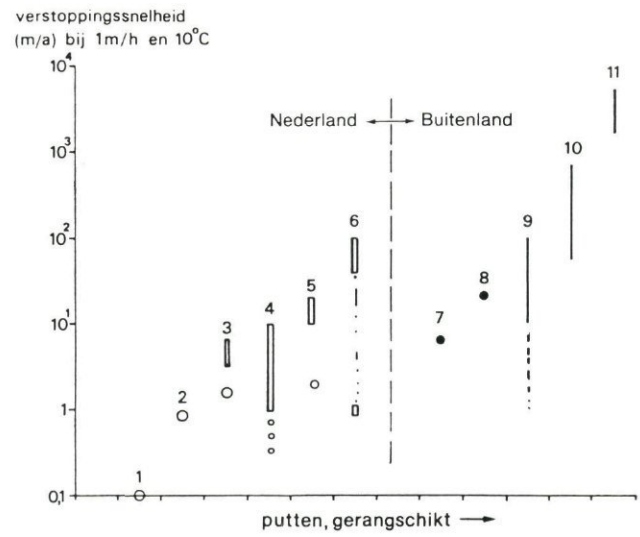
In het algemeen kunnen persputten met succes worden geregenereerd zoals onder meer uit de ruim 20-jarige bedrijfservaring in Spanje en Amerika is gebleken. Feitelijk zijn er geen of nauwelijks persputten bekend die niet meer konden worden geregenereerd. Daar waar het op een gegeven moment toch mis ging was dit te wijten aan verzakkingen door een verkeerde of te zwakke constructie van de put, die tenslotte onder het vele infiltreren en weer regenereren was bezweken.

Samenvatting

De kunstmatige infiltratie verdient een duidelijke eigen plaats bij de verwerking van oppervlaktewater tot kwaliteitswater (drinkwater), zowel bij ons als in ontwikkelingslanden. Waar de van oudsher toegepaste en beproefde methode van open infiltratie niet toegepast kan worden, kunnen persputten in veel gevallen uitkomst bieden. De succesvolle toepassingen in het buitenland en het eigen Nederlandse onderzoek laten zien dat de techniek en

Afb. 16 - 'Jetting' (schematisch).





1. Den Haag, drinkwaterinfiltratie (1973-1980)
2. Leiduin, modelpersput (1978-1979)
3. Leiduin, WRK-waterinfiltratie (1977-1979)
4. Den Haag, rivierwater voorgezuiverd; proefinstallatie (1974-1980)
5. Hoogovens, gefiltreerd rivierwater (1970-1974)
6. Castricum, drinkwater in Andijk (1975-1980)
7. Putten Israël (Rebhun en Schwarz, 1968)
8. Putten Californië (Bulten, 1973)
9. Put in Texas (Sniegocki, 1965)
10. Put Long Island N.Y. (Vecchioli, 1972)
11. Put Norfolk Virginia (Brown en Silvey, 1973)

Afb. 17 - Vergelijking verstoppingssnelheid van Nederlandse en buitenlandse persputten.

met name de verstoppingsproblematiek tot beheersbare proporties kan worden teruggebracht. De meeste van de potentiële verstoppingsoorzaken zijn met de huidige kennis zelfs geheel te voorkomen. Regeneratie van putten blijkt met succes mogelijk en de meest succesvolle technieken kunnen in de bedrijfsvoering worden geïntegreerd. Zoals in een volgend artikel zal worden beschreven is met de beschikbare kennis omtrent de verstopping en de regeneratiemethoden een onderlinge afstemming tussen voorzuivering, aantal putten en regeneratiefrequentie mogelijk, welke leidt tot minimale kosten voor het systeem als geheel bij een levensduur van de persputten die vergelijkbaar is met die van winningsputten.

Het is te verwachten dat persputten een eigen plaats zullen gaan innemen binnen de drinkwaterproduktiebedrijven, maar zeker ook daarbuiten. Wanneer eenmaal de simultane ondergrondse interactie en stroming van zoet en zout grondwater beheersbaar zal zijn, waarnaar thans onderzoek wordt verricht, ligt de weg open voor grootschalige ondergrondse opslag van zoet water op plaatsen waar zich nu nog zout of brak water bevindt.

Van het lopende onderzoek naar de kwaliteitsaspecten van de open en gesloten kunstmatige infiltratie is een onderstreping te verwachten van de voordelen van de biologische, natuurlijke zuivering die met de bodempassage gepaard gaat. Deze zuivering is dan te plaatsen naast de voorraadvorming en de kwaliteitsafvlakking die, onafhankelijk hiervan, als doelen van de kunstmatige infiltratie zullen blijven gelden.

Tenslotte wil ik erop wijzen, dat de resultaten van het persputtenonderzoek dat bij de waterleidingbedrijven is uitgevoerd gunstig afsteken bij de resultaten van de meeste bekende buitenlandse projecten. Ter illustratie geeft afb. 17 een beeld van de op grond van huidige inzichten onder een en dezelfde noemer gebrachte verstoppingssnelheden van Nederlandse en buitenlandse persputprojecten.

Het onderzoek

Het Nederlandse persputtenonderzoek wordt uitgevoerd door waterleidingbedrijven, het KIWA, een industrie en 2 overheidsinstellingen. De VEWIN levert via haar speurwerkprogramma, waarbinnen het KIWA-onderzoek wordt uitgevoerd, een belangrijke financiële bijdrage. Het onderzoek vond plaats onder begeleiding van de Werkgroep Persputten.

Participanten waren:

VEWIN (Vereniging van Waterleidingexploitanten in Nederland)
Duinwaterleiding van 's-Gravenhage
Gemeentelijk Waterbedrijf Groningen
Gemeentewaterleidingen Amsterdam
Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland
Waterleidingbedrijf Midden Nederland
Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
Dienst der Zuiderzeewerken
Estel Hoogovens BV
en KIWA (coördinatie, projectleiding).

Literatuur

1. Anoniem. *Underground Water Storage Study, Israel.* Final Report. Rome, FAO, 1969, FAO/SF : 39/ISR-9, 112 pp.
2. Baffa, J. J. e.a. *Experience with Injection Wells for Artificial Ground Water Recharge.* Task Group Report. JAWWA, May 1965, pp. 629-639.
3. Bernard, G. G. *Effect of Reactions between Interstitial and Injected Waters on Permeability of Rocks.* Producers monthly, dec. 1955, pp. 26-32.
4. Bichara, A. F. *An Experimental Study of Longterm Artificial Recharge of Groundwater into Confined Aquifers using wells.* Strathclyde, Univ. of Strathclyde, 1974, ca. 400 pp.
5. Brown, D. L. and Silvey, H. D. *Underground Storage and Retrieval of Fresh Water from a Brackishwater Aquifer.* New Orleans, Preprints of papers, 2nd. Int. Symp. on Underground Waste Management and Artificial Recharge, Sept. 26-30, 1973. Menasha, George Benta Co, 1973, Vol. I, pp. 373-419.
6. Bruington, A. E. and Seares, F. D. *Operating a sea water barrier Project.* Journ. of the Irr. and Drain. Div. AsCE, March 1965, pp. 117-141.
7. Bulten, B. *Infiltratieproef met een persput op het terrein van de Hoogovens.* Interimrapport van de Werkgroep Persputten van de WIRDU, PWN, Bloemendaal 1971.
8. Bulten, B. *Infiltratieproef met een persput op het terrein van de Hoogovens.* Tweede Interimrapport van de Werkgroep Persputten van de WIRDU, PWN, Bloemendaal 1972.
9. Bulten, B., Brandes, M. C. en Puffelen, J. van. *Verslag van bezoeken aan objecten voor kunstmatige infiltratie van water door middel van putten in de USA.* Bloemendaal, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland, 1974, circa 100 pp.
10. Case, L. C. *Water Problems in Oil production – an Operator's Manual.* Tulsa. The Petroleum Publishing Co. Tulsa, Okl. USA, circa 1970, 133 pp.
11. Custodio, E., Isamat, J. and Miralles, J. *Twentyfive Years of Groundwater Recharge in Barcelona (Spain).* Dortmund, 1980, paper 6.1. In: Proceedings of the international symposium on Artificial Groundwater Recharge, held in Dortmund (FAG), 14-18 May, 1979.
12. Dorn, F. *Geschichte und Bedeutung der Wassergewinningsanlagen in Wiesbaden Schierstein.* In: Künstliche Grundwasseranreicherung am Rhein, Band 2, ESWE, Stadtwerke Wiesbaden AG, Wiesbaden 1974.
13. Harpaz, Y. *Practical Experiences of Well Recharge.* In: Artificial Groundwater Recharge Conference, Reading 21-24 Sept., 1970. Reading, Wat. Res. Ass, 1971, Vol 2, paper 12, pp. 297-335.
14. Howard, G. C. and Fast, C. R. *Hydraulic Fracturing.* Soc. of Petr. Eng. of AIME, 1970.
15. Hubbert, M. K. and Willis, D. G. *Mechanics of Hydraulic Fracturing.* AAGP. Memoir 18, 1972, pp. 199-217.