

Omstortingen van waterwinningsputten en het maximaal toelaatbare putdebiet

1. Inleiding

In de praktijk van de grondwaterwinning speelt de keuze van het omstortingsmateriaal van waterwinningsputten een belangrijke rol. Wordt de omstorting te grof gekozen dan is het risico niet denkbeeldig dat de put ook na intensief schoonpompen al bij een laag debiet zand gaat leveren. Kiest men de omstorting te fijn ten opzichte van de filterspletten, dan bestaat de kans dat de omstortingskorrels in de filterspletten dringen en deze verstopen. Ook is het mogelijk dat een eventueel aanwezige



DR. E. J. M. KOBUS
Projectgroep Grondwater
KIWA



IR. H. TUINZAAD
Duinwaterleiding
van 's-Gravenhage



A. N. G. VOGEL
Projectgroep Grondwater
KIWA

spoelingkoek dan tijdens het schoonpompen onvoldoende verwijderd kan worden.

Op verzoek van de Commissie Putten heeft het KIWA de bovengenoemde problematiek in haar speurwerkprogramma opgenomen. Het onderzoek is begonnen met een literatuur-recherche. De beschikbare literatuur concentreert zich voornamelijk op de vraag welke korreldiameter van de omstorting gekozen dient te worden als functie van de eigenschappen van de watervoerende laag. Daarbij streeft men er in het algemeen naar de omstorting zo grof mogelijk te kiezen met behoud van de garantie dat de put tijdens normaal bedrijf zandvrij water levert. Over de vraag wat zandvrij water is zijn de meningen verdeeld. De meeste auteurs stellen echter dat een put tijdens normaal bedrijf niet meer dan 10^{-5} tot 10^{-4} kg zand/m³ water mag leveren. Het is duidelijk dat de hoeveelheid zand die met het onttrokken water wordt meegevoerd niet uitsluitend bepaald wordt door de eigenschappen van de omstorting en de watervoerende laag maar dat ook de snelheid waarmee het water door de omstorting stroomt een belangrijke rol kan spelen. Aan dit laatste wordt vaak onvoldoende

aandacht besteed. Veel auteurs gaan uit van richtlijnen betreffende het maximaal toelaatbare putdebiet, zoals deze in de vooroorlogse literatuur (Sichardt, Gross, e.a.) genoemd worden en trachten dan een omstorting te vinden die een zandvrije waterleverantie bij dit putdebiet garandeert. Men gaat dan echter voorbij aan het feit dat de vooroorlogse putten vaak wezenlijke verschillen met de huidige putten vertoonden (tressengaas, geen omstortingen). Ook was de interpretatie van de experimentele gegevens waaruit een norm voor het maximaal toelaatbare putdebiet werd gedestilleerd, in deze tijd vaak onjuist door onvoldoende theoretisch inzicht. Zo is aangetoond [1] dat de ook nu nog door veel auteurs (Bieske, Davidenkoff) gehanteerde 'Sichardt' snelheid als maat voor het maximaal toelaatbare putdebiet in wezen ongefundeerd is, zeker als men dit doet om verstopping of verzanding te voorkomen.

Gezien het bovenstaande is het niet verwonderlijk dat in de literatuur vele tientallen, onderling sterk verschillende normen bestaan voor de keuze van de omstorting en het maximaal toelaatbare putdebiet. Het gevolg hiervan is dat veel waterleiding-bedrijven in Nederland op dit gebied onderling sterk afwijkende richtlijnen hanteren. Doel van het hieronder beschreven onderzoek was daarom in eerste instantie om meer inzicht in de betreffende problematiek te krijgen, in de hoop dat het hierdoor mogelijk zou worden eenvoudige, algemeen aanvaardbare richtlijnen voor Nederlandse omstandigheden te formuleren. De Commissie Putten is steeds van oordeel geweest dat de uiteindelijke richtlijnen op dit gebied alleen kunnen worden vastgesteld aan de hand van onderzoek op praktisch schaal. Gezien de financiële en organisatorische problemen, die een dergelijk onderzoek met zich meebrengt, is echter gekozen voor een stapsgewijze benadering. In eerste instantie is getracht met behulp van modelonderzoek globale richtlijnen voor de omstortingskeuze en het maximaal toelaatbare putdebiet te formuleren. De waarde van deze richtlijnen dient dan in tweede instantie in de praktijk getest te worden. In het onderstaande worden de resultaten van het modelonderzoek beschreven en wordt een indruk gegeven van de consequenties die deze resultaten voor de praktijk van de waterwinning kunnen hebben.

Het onderzoek is begeleid door de Commissie Putten van het KIWA, die ten tijde van het onderzoek de volgende samenstelling had:

prof. ir. L. Huisman, Technische Hogeschool Delft (voorzitter);

ing. P. van Winsen, KIWA (sekretaris);
ir. M. C. Brandes, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening;
A. J. N. Horstmeyer, NV Waterleiding Maatschappij Gelderland;
dr. E. J. M. Kobus, KIWA;
ir. P. A. N. M. Nühn, NV Waterleiding Maatschappij NW Brabant;
ir. H. Tuinzaad, Drinkwaterleiding van 's-Gravenhage;
ir. K. D. Venhuizen, NV Waterleiding Maatschappij voor de provincie Groningen;
drs. F. Walter, Dienst Grondwaterverkenning TNO;
ir. G. Zoet, NV Waterleiding Maatschappij NW Brabant.

2. Beschrijving van de apparatuur

Een overzicht van de proefopstelling wordt gegeven in afb. 1. Het water stroomt van een voorraadvat met constant niveau-regeling via een pomp en rotameters naar het eigenlijke putmodel. Vandaar stroomt het met eventueel meegevoerd materiaal naar de zandvang waar het zand gelegenheid krijgt te bezinken. Hierna wordt het water via een constant niveauregeling afgevoerd.

Putmodel

De afb. 2, 3 en 4 geven een beeld van de constructie van het putmodel. Dit model bestaat uit een cirkelsektor met een middelpuntshoek van 90°. De hoogte van deze sektor is 20 cm. De zijwanden en de onderkant van het model zijn vervaardigd van plexiglas zodat eventueel zandtransport aan de wanden met het oog waarneembaar is. In de hoek van het cirkelkwadrant is een filterbuis aangebracht met een diameter van 20 cm. Deze bestaat uit verstevigd messinggaas dat eenvoudig te verwijderen is, zodat voor iedere proef de juiste maaswijdte aangebracht kan worden. Om deze filterbuis wordt een laag omstortingsmateriaal (O) met een breedte van 10 cm aangebracht. Rond de omstorting wordt een 40 cm brede laag formatiemateriaal (F) aangebracht. Aan de buitenzijde wordt deze formatie gesteund door een zeefplaat die met 5 mm dik geperforeerd staalplaat verstevigd is. Een stootplaatje (S) zorgt ervoor dat het water in het reservoir achter de zeefplaat goed verdeeld wordt.

Een probleem bij modelproeven vormt het voorkomen van preferente doorstroming tussen de deksel van het model en het bovenoppervlak van de formatie. Ook bij zorgvuldig vullen van het model en eventueel verdichten van het ingebrachte zand kan deze preferente doorstroming optreden, omdat tijdens de proeven het zand nog verder kan gaan inklinken en er bovendien

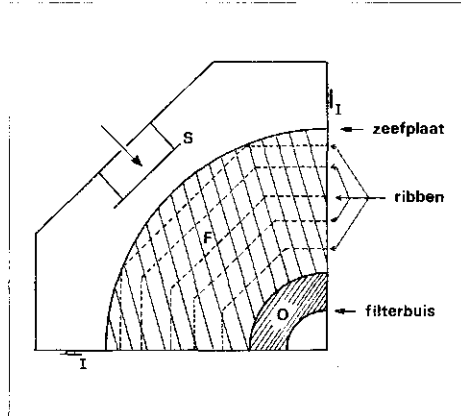


Afb. 1 - Overzichtsfoto van de proefopstelling.

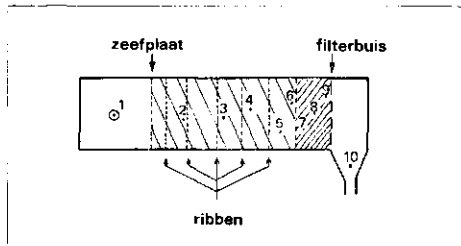
zand door het water kan worden meegevoerd. Men kan deze preferente doorstroming op twee manieren voorkomen. Sommige auteurs brengen tussen de deksel van het putmodel en het bovenoppervlak van de formatie een rubber zak aan, die gevuld is met water met een bepaalde voordruk. Bij inklinken van de formatie zwelt de rubber zak zodat geen ruimte ontstaat waardoorheen preferente doorstroming kan plaatsvinden. Een andere methode is om tussen het putdeksel en het bovenoppervlak van de formatie een laag voor water ondoorlatend celrubber aan te brengen. Deze laag wordt bij het monteren van het deksel van het model samengedrukt en kan weer expanderen als het zand tijdens de proeven inklinkt. Vooral als men slechts weinig inklinking verwacht voldoet deze methode uitstekend.

Bij de hier beschreven experimenten is een combinatie van beide boven beschreven methoden gebruikt. Het oppervlak van de formatie wordt afgedekt met een neopreen celrubberlaag van 10 mm dik. Hierop wordt een rubber zak aangebracht waarin zich water bevindt met een druk gelijk aan de voordruk van de putsektor. Tevens zijn, om preferente doorstroming langs de gladde plexiglaswanden en bodem te voorkomen, ribben aangebracht die loodrecht op de stroomrichting van het water staan. Deze ribben hebben een hoogte van 5 mm. In beide zijwanden van het putmodel zijn op overeenkomstige plaatsen negen meetpunten voor de bepaling van de stijghoogte van het water aangebracht. De meetpunten, met behulp waarvan de stijghoogte op circa 5 cm afstand van de wand wordt bepaald, zijn aangesloten op manometerbuisen.

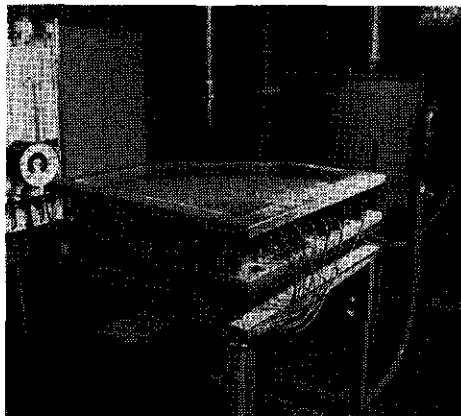
In de aanvoerleiding en in beide zijwanden zijn een drietal injectiepunten (I) aangebracht. Met behulp van deze injectiepunten kan aangetoond worden of preferente doorstroming aan de wanden van het putmodel



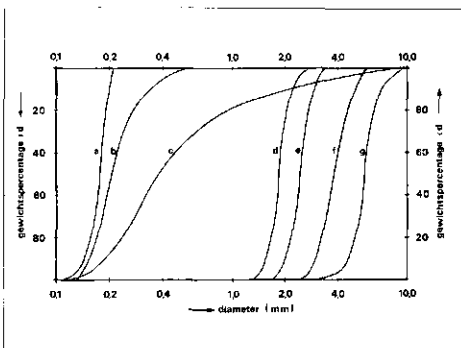
Afb. 2 - Boveenaanzicht van het putmodel.
S: stootplaatje; I: injectieput; F: formatie; O: omstorting.



Afb. 3 - Zijaanzicht van het putmodel met de meetpunten voor de bepaling van de stijghoogte.



Afb. 4 - Foto van het putmodel exclusief de deksel.



Afb. 5 - Zeefanalyses.
a. zeer fijn duinzand uit putmodel; b. duinzand (Leiduin) uit putmodel; c. Veluwezand uit putmodel; d. omstorting 1,5 - 2,5 mm; e. omstorting 2 - 3 mm; f. omstorting 3 - 5 mm; g. omstorting 5 - 8 mm.

optreedt. Wanneer namelijk via deze injectiepunten inkt in het putmodel wordt geïnjecteerd moet voor alle drie de meetpunten de tijd tussen het moment dat de eerste inkt in de filterbuis zichtbaar wordt, gelijk zijn. Treedt aan één wand preferente doorstroming op, dan zal de reistijd van de inkt aan die zijde korter zijn.

De zandvang

De zandvang bestaat uit een annulus, waarin het water tangentiaal instroomt. Het water stroomt eerst naar beneden om dan via het middelste gedeelte dat een diameter van 0,8 m heeft, op te stijgen. De zanddeeltjes zakken naar de spits toelopende onderzijde van de zandvang. In dit gedeelte bevinden zich negen buisvormige sproeiers, die verhinderen dat de zanddeeltjes zich afzetten op de schuine wand en tevens het zand naar het plexiglas verzamelbakje geleiden.

3. Uitvoering van de proeven

3.1. Gebruikte zandsoorten

Bij de proeven is gebruik gemaakt van drie verschillende zanden, te weten zeer fijn duinzand, verkregen door het fijnste gedeelte van opgestoven duinzand af te zeven, normaal duinzand, afkomstig uit Leiduin en zand afkomstig van de Veluwe. De zeefkrommen van de drie onderzochte zanden zijn in afb. 5 gegeven. Van alle drie de zandsoorten is behalve een zeefkromme ook een slibanalyse gemaakt. Uit deze analyse blijkt dat de beide soorten duinzand vrijwel slibvrij waren en dat het gebruikte Veluwezand 1,2 % slib bevatte.

3.2. Keuze van het omstortingsmateriaal

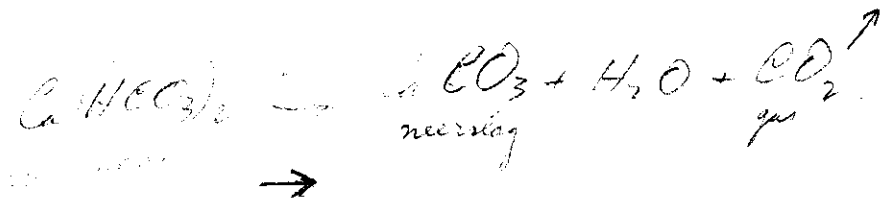
Als omstorting zijn een aantal uniforme grindfrakties gebruikt, die ook in de praktijk veelvuldig toepassing vinden. De zeefanalyses van deze frakties zijn gegeven in afb. 5.

3.3. Het vullen van het putmodel

Het vullen van het putmodel geschiedt onder water om luchtinsluitingen in de poriën te voorkomen. Tijdens het vullen wordt er zorg voor gedragen dat constant een laagje water van circa 3 cm het zand bedekt. Een grotere laag is ongewenst, aangezien dan een scheiding van grote en kleine deeltjes onder invloed van het verschil in bezinkingsnelheid zou kunnen optreden. Na het vullen van het putmodel worden de neopreen rubberlaag en de rubberzak op het zand gelegd en wordt de deksel op de put bevestigd.

3.4. Doorstroming met water

Nadat het putmodel gesloten is, wordt het geheel met een constante snelheid doorstroomd gedurende ongeveer vier uur,



waarna het eventueel meegevoerde zand wordt verwijderd. Gebleken is dat reeds na ongeveer één uur, het stijghoogte verlies over de formatie bij konstant debiet niet of nauwelijks meer verandert, zodat aangenomen mag worden dat de formatie dan niet verder inklinkt. Na vier uur wordt de pomp vijfmaal achtereenvolgend uit- en ingeschakeld met tussenpozen van telkens 15 seconden. Vervolgens wordt na nog één uur doorstroming opnieuw het eventueel meegevoerde zand verwijderd. Deze hoeveelheid zand geeft een indicatie van de invloed van intermitterend pompen op de ontzanding. De doorstroming met gelijkblijvend debiet wordt in totaal ongeveer 24 uur aangehouden. Na deze 24 uur wordt met behulp van de meetpunten de stijghoogte in de formatie en de omstorting bepaald en wordt het eventueel meegevoerde zand opnieuw verwijderd. Hierna wordt deze cyclus een aantal malen herhaald, waarbij het debiet stapsgewijs wordt verhoogd. Wanneer grote hoeveelheden zand worden meegevoerd of wanneer het maximale debiet bereikt is, wordt de proef stopgezet. Bij elke ontzandingsproef wordt de put steeds gevuld met nieuw formatiemateriaal en een nieuwe omstorting, waarvan zeefanalyses worden gemaakt.

3.5. Verblijftijd van het water in het putmodel

Naast de hierboven beschreven metingen worden dagelijks ook verblijftijdmetingen uitgevoerd teneinde een extra zekerheid te hebben dat preferente doorstroming, ondanks alle voorzorgen om deze tegen te gaan, niet voorkomt. Bij ieder debiet wordt hiertoe via de injectiepunten beurtelings inkt in het putmodel geïnjecteerd. Als de tijd tussen het moment dat de inkt de formatie binnendringt en het moment dat de eerste inkt in de verbindingsslang tussen het putmodel en de zandvang zichtbaar wordt, voor alle drie de injectiepunten nagenoeg gelijk is, wordt aangenomen dat aan geen der wanden van het putmodel kortsluitstromen optreden.

4. Resultaten

Uit de proeven met zeer fijn duinzand is gebleken dat een omstorting van 1,5 - 2,5 mm voor deze formatie goed bruikbaar is. Bij intredesnelheden (snelheden op het grensvlak van de omstorting en de formatie) tot $2 \cdot 10^{-3}$ m/s wordt minder dan 1 à $2 \cdot 10^{-5}$ kg zand/m³ water meegevoerd. Kiest men de intredesnelheid hoger ($\geq 3 \cdot 10^{-3}$ m/s) dan wordt de formatie instabiel en treedt aanzienlijk zandtransport op. De gevonden kritische intredesnelheid is ongeveer even groot als door Davidenkoff [2] is aangegeven.

Uit de experimenten met duinzand uit Leiduin is gebleken dat omstortingen van 1,5 - 2,5 mm en van 2 - 3 mm uit oogpunt van zandtransport goed voldoen. Deze omstortingen zijn wat fijner dan Davidenkoff aanbeveelt, maar grover dan in Nederland op grond van de richtlijnen van auteurs als Hünerberg [3] en Bieske [4] veelal worden aangehouden.

Bij gebruik van de genoemde omstortingen van 1,5 - 2,5 mm en van 2 - 3 mm zijn intredesnelheden van resp. $3,3 \cdot 10^{-3}$ m/s en $2,1 \cdot 10^{-3}$ m/s mogelijk zonder dat enig zandtransport optreedt, noch bij stationair bedrijf, noch bij uit- en aanschakelen van de pomp. Deze snelheden zijn van dezelfde orde van grootte als Davidenkoff gevonden heeft, maar zijn enkele malen hoger dan in Nederland op grond van de richtlijnen van Scharadt [5], Gross [6], Truelsen [7] en anderen veelal wordt aangehouden. Voor het onderzochte Veluwezand worden in de literatuur veel grovere omstortingen dan voor duinzand aanbevolen ($D_{50} \approx 3-5$ mm). Uit de experimenten in het putmodel blijkt dat omstortingen van 3-5 mm en van 5-8 mm inderdaad goed voldoen, mits de put na het gereedkomen voldoende schoongepompt wordt ten einde het fijne materiaal in de directe omgeving van de put te verwijderen. Op deze wijze wordt een zgn. 'tweede omstorting' gevormd waardoor ontzanding effectief wordt tegengegaan. Voor de vorming van een effectieve tweede omstorting blijkt langdurig schoonpompen bij een bepaald debiet veel minder effect te hebben dan kortdurend schoonpompen met regelmatig aan- en uitschakelen van de pomp. Een regel voor de maximale intredesnelheid bij gebruik van de bovengenoemde omstortingen valt uit de experimenten niet af te leiden. In het algemeen zal men kunnen stellen dat uit oogpunt van zandtransport elke intredesnelheid toelaatbaar is, die lager is dan de snelheid waarbij tijdens intermitterend pompen geen zand werd meegevoerd.

Gebruikt men voor het onderzochte Veluwezand een fijnere omstorting (1,5 - 2,5 mm) dan blijkt dat zelfs bij zeer hoge intredesnelheden (tot $1,7 \cdot 10^{-2}$ m/s) een verwaarloosbaar kleine hoeveelheid zand wordt meegevoerd, zowel tijdens stationair bedrijf als tijdens het schakelen van de pomp. Bij gebruik van deze omstorting is intensief schoonpompen van de put ten einde een effectieve tweede omstorting te krijgen dus niet nodig. Hetzelfde geldt voor een omstorting van 2 - 3 mm tot een maximale intredesnelheid van $1,6 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Een uitgebreider overzicht van de resultaten verschijnt binnenkort in een rapport van de Commissie Putten [8].

5. Consequenties voor de praktijk

Uitgaande van de praktijk kunnen een aantal kanttekeningen bij de resultaten van het modelonderzoek worden geplaatst: uit de experimenten met beide soorten duinzand blijkt dat uit oogpunt van zandtransport grovere omstortingen en een hoger putdebiet gekozen kunnen worden dan thans gebruikelijk is. Wat betreft het maximaal toelaatbare putdebiet kan men zich echter afvragen of er geen andere redenen zijn om het putdebiet aanzienlijk lager te kiezen dan uit oogpunt van zandtransport in het putmodel mogelijk is. Veelal wordt bijvoorbeeld een snelheidsbeperking aanbevolen omdat bij verlaging van de putbelasting de eventuele aanwezige neiging tot putverstopping zou verminderen.

Men kan zich voorstellen dat het bij een halvering van het putdebiet wellicht tweemaal zo lang duurt voordat de put geregenereerd moet worden. Ook als het hierboven gestelde juist is, kan het nut van een verlaging van de putbelasting op deze gronden echter betwijfeld worden. Voor een zelfde produktie heeft men bij een halvering van het putdebiet immers tweemaal zoveel putten nodig, zodat er per schoonmaak ook tweemaal zoveel putten geregenereerd moeten worden. Het nut van de verlaging van het putdebiet is dan op z'n minst twijfelachtig.

Een vergroting van de gebruikelijke putbelasting brengt behalve een snelheidsverhoging ook een vergroting van de afpompingsdruk op het putfilter met zich mee. Dit aspect heeft twee kanten:

1. Hydrostatische drukverlaging kan ontgassing veroorzaken, waardoor het kalkkoolzuur evenwicht kan verschuiven, hetgeen weer neerslag van het slecht oplosbare CaCO_3 ten gevolge kan hebben. Ook hier geldt bovengenoemde gedachtengang. Indien het bovengenoemde verschijnsel zich op grond van de waterkwaliteit kan voordoen dan lost men het probleem in het algemeen niet op door wat minder drukverlaging toe te staan. Men zou bijvoorbeeld, wanneer men het plan heeft om over een bepaalde lengte een zekere hoeveelheid water in een dergelijke (gevoelige) grondwaterlaag te winnen, de putopbrengst kunnen halveren door het aantal putten te verdubbelen. Het zogenaamde 'reekseffect' zal dan niet of nauwelijks veranderen, maar slechts het 'putteffect' wordt gehalveerd. Aangezien het reekseffect doorgaans belangrijker is dan het putteffect, wordt slechts een relatief geringe reductie van de afpompingsdruk bereikt, terwijl men daarvoor het dubbele aantal putten moet plaatsen.

2. De afpompingsdruk dient soms beperkt te worden wanneer optrekken van zout water mogelijk is. In dat geval kan er een kritische

verlaging van de stijghoogte zijn die het nodig maakt een bepaalde putbelasting niet te overschrijden.

Beziet men bovengenoemde argumenten dan kan men slechts tot de conclusie komen dat er, afgezien van de beperkingen die voortvloeien uit lokale hydrologische omstandigheden, geen zwaarwegende argumenten zijn om de putbelasting aanzienlijk te beperken.

Een en ander betekent niet dat de Commissie Putten van oordeel is dat de uit het modelonderzoek voortvloeiende aanbeveling om bij uniforme formaties zoals duinzand grovere omstortingen en hogere putbelastingen toe te passen, klakkeloos in de praktijk kan worden overgenomen. Er dient bijv. rekening mee te worden gehouden dat bij een put de snelheid op de buitenkant van de omstorting in het algemeen niet overal gelijk zal zijn, zulks in tegenstelling tot bij de proefopstelling in het laboratorium. Een gelijkmatige snelheidsverdeling is alleen mogelijk bij een put waarvan de filterbuis boven en onder tot een afsluitende laag reikt en de doorlatendheid van de watervoerende laag over de gehele hoogte van de filterbuis dezelfde is. Dit is in de praktijk zelden het geval.

Een ander aspect waar men rekening mee moet houden is dat er een duidelijk onderscheid bestaat tussen de wijze waarop de omstorting in de praktijk en in het putmodel wordt aangebracht. Hoe gelijkmatig en hoe langzaam het aanvullen van het boorgat met de omstorting ook geschiedt, het blijft een verschil met het netjes ter plaatse met de hand aanbrengen in het laboratorium.

Uit het onderzoek zal ongetwijfeld volgen dat voor de vertaling van de experimenten in het putmodel naar de praktijk een bepaalde veiligheidsfactor ingevoerd moet worden.

In tegenstelling tot de experimenten met uniforme formaties zoals duinzand, die een tendens aangaven naar grovere omstortingen en hogere putbelastingen dan momenteel in Nederland gebruikelijk zijn, hebben de modelproeven met het veel minder uniforme Veluwezand de vraag doen rijzen of het gebruik van omstortingen van 1,5 - 2,5 mm en van 2 - 3 mm hier niet te prefereren valt boven de combinatie van grovere omstortingen (3 - 5 of 5 - 8 mm) en intensief intermitterend schoonpompen van de put ten einde zandtransport door een tweede omstorting in de formatie te voorkomen. Door Nahrgang [9] is afdoende aangetoond dat noch het gebruik van de grovere omstorting, noch het plaatselijk verhogen van de doorlatendheid van de formatie ten gevolge van het intermitterende schoon-

pompen, een noemenswaardige invloed heeft op de opbrengst van de put. Langdurig intermitterend schoonpompen van putten met relatief grove omstortingen lijkt in dit opzicht alleen zinvol als het nut ervan in de praktijk daadwerkelijk kan worden aangetoond. Gedacht kan worden aan een eventuele positieve invloed van langdurig intermitterend schoonpompen op de verwijdering van achtergebleven resten spoelingkoek of op de uiteindelijke levensduur van de put. Het is duidelijk dat ook aan deze aspecten in het toekomstige onderzoek nog uitgebreid aandacht moet worden besteed.

Literatuur

1. Olsthoorn, T. N., *Het maximaal toelaatbare debiet van waterwinningsputten*. H₂O, (9) nr. 11, 1976, pag. 212.
2. Davidenkoff, R.: *Dimensionierung von Kies-schüttungsfiltern im Brunnenbau*. BBR (1968) H.10, pg. 15-19.
3. Hünenberg, K.: *Neue Erkenntnisse bei Bau und Betrieb von Brunnen*. GWF (1967), H 32, pg. 919-923.
4. Bieske, E.: *Schüttkornbestimmung nach dem Kennkornverfahren*. Wasser Kalender 1972, pg. 65-91.
5. Sichardt, W.: *Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, ins besondere für grössere Absenkungstiefen*, Berlin 1928.
6. Gross, E.: *Handbuch der Wasserversorgung* (1930) München.
7. Truelsen, Chr.: *Langjährige Erfahrungen und neuere Erkenntnisse im Brunnenbau*. BBR (1961) H. 5, pg. 213-224.
8. Kobus, E. J. M., Olsthoorn, T. N., Tuinzaad, H. en Vogel, A. N. G. de: *Omstortingen van waterwinningsputten en het maximaal toelaatbare putdebiet*. KIWA-mededeling nr. 45 (1976).
9. Nahrgang, G.: *Ueber theoretische Ueberlegungen über Leistungssteigerungen beim Entsandten von Bohrbrunnen*. BBR, augustus 1963, pg. 340-342.

