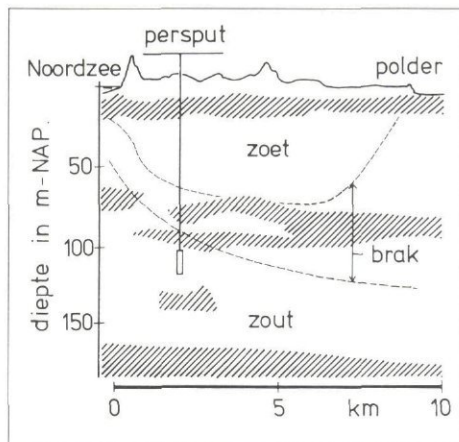


Temperatuurmetingen bruikbaar bij onderzoek naar verbreiding van infiltratiewater uit persputten

In deze studie worden temperatuurmetingen in waarnemingsstijgbuizen beschreven als hulpmiddel bij het onderzoek naar de verbreding van water dat met persputten is geïnfilteerd. Het blijkt dat hiermee tevens aanvullende informatie kan worden verkregen over de soms sterk onregelmatige verdeling van de doorlatendheid over de hoogte van een watervoerend pakket. Een uitputtende en nauwkeurige interpretatie wordt echter bemoeilijkt door vertraging tussen doorbraak van water- en warmtefront, het storende effect van

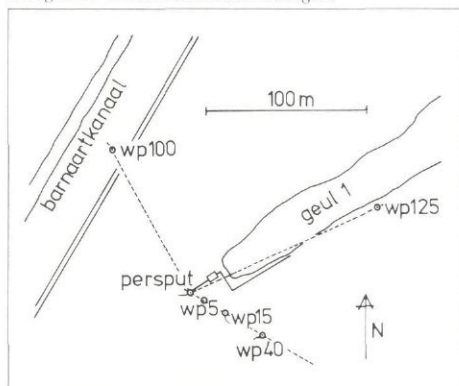


Afb. 1 - Dwarsdoorsnede door het duingebied van Gemeentewaterleidingen.

bovenzijde worden begrensd door dikke slechtdoorlatende lagen dan kan slechts via putten water worden ingebracht. Bij gebruik in de watervoorziening worden deze putten aangeduid als 'persputten' ofschoon bij enkele experimenten van Nederlandse waterleidingbedrijven het voorgezuiverde oppervlaktewater onder vrij verval in de ondergrond verdwijnt.

Het onderzoek dat zich in eerste instantie slechts op de verstoppingsaspecten van de persputten richtte, wordt begeleid door de Werkgroep Persputten van de KIWA-commissie Infiltratie. Nu de factoren die de verstopping veroorzaken en de wijze waarop dit verschijnsel het beste kan worden bestreden enigszins bekend zijn (zie [8]), wordt de aandacht tevens gericht op andere aspecten van de techniek van persput-infiltratie. Het onderzoek van specifiek geohydrologische aspecten die zich bij een dergelijke infiltratie voordoen, wordt uitgevoerd door de Werkgroep Hydrologie van Persputsystemen [9]. Dit onderzoek is modelmatig in de zin van het ontwikkelen en inventariseren van rekenmodellen voor de ondergrondse stroming bij persputinfiltratie. De werkelijk optredende stroming echter is uitermate gecompliceerd door meestal niet

Afb. 2 - Plaats van de pers- en waarnemingsputten in het duingebied van Gemeentewaterleidingen.



bekende onregelmatigheden in de ondergrond; een reden waarom praktijkproeven in uitvoering zijn om deze te bestuderen. Een van die proeven, de infiltratie van zoet water in een volledig zout pakket, zal in de volgende paragraaf worden besproken.

Teneinde de weg die het in de ondergrond gebrachte water neemt te kunnen volgen, dient het water op de één of andere wijze gemerkt te zijn. Dit kan met kunstmatig toegevoegde 'tracers'. Echter ook van nature aanwezige merktekens als chloridegehalte, soortelijke elektrische geleiding of temperatuur kunnen hiervoor worden gebruikt. In deze studie wordt dieper ingegaan op de resultaten van temperatuurmetingen. De meetmethode zal worden besproken in paragraaf 4. Het zal blijken dat de temperatuur geschikt is om de verbreding van geïnfilteerd water te bestuderen. Tevens wordt daarbij aanvullende informatie verkregen over de hydraulische gelaagdheid van de ondergrond. Contrast tussen de temperatuur van het voedingwater voor de put en de (natuurlijke) temperatuur van het ontvangende watervoerende pakket is wel noodzakelijk. Indien in de zomer of in de winter gestart wordt met de infiltratie van het voorgezuiverde oppervlaktewater zal dit echter zijn gewaarborgd. Opgemerkt moet worden dat de temperatuur niet kan worden gezien als een ideale tracer, zoals zal blijken uit paragraaf 5.

2. Proefopzet bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam

Bij de proeven met infiltratie van oppervlaktewater in watervoerende pakketten met behulp van putten is verstopping van de persput van oudsher de beperkende factor. Gesteld kan worden dat infiltratie slechts dan mogelijk is als er sprake is van een verregaande voorzuivering.

Bij Gemeentewaterleidingen is onderzocht in hoeverre het mogelijk is om het te infiltreren water te conditioneren volgens een methode, die ook in het buitenland wel wordt toegepast. Hierbij wordt onder een voor open infiltratie gebruikte geul een drain gelegd in het zand op een diepte van ongeveer een halve meter. Het te infiltreren water uit de geul stroomt dan over een kleine afstand door het duinzand waarbij zwevende stof voor het overgrote deel wordt afgevangen. Het is mogelijk gebleken om dit water gedurende een lange periode storingsvrij te infiltreren via een persput die is gemaakt in het duingebied van Gemeentewaterleidingen. Het infiltratiefilter van circa 14 meter lengte bevindt zich tussen ongeveer 108 m en 122 m beneden maaiveld in een watervoerend pakket met een chloridegehalte van 17.000 mg/l overeenkomend met het chloridegehalte van zeewater (zie afb. 1). Om te kunnen volgen hoe het geïnjecteerde

warmtegeleiding en door variatie in de temperatuur van het infiltratiewater. Dunne laagjes met sterk afwijkende doorlatendheid kunnen alleen duidelijk worden teruggevonden in de metingen dicht bij de persput.

1. Inleiding

Als ten behoeve van de watervoorziening gebruik gemaakt wordt van oppervlaktewater dan moet een voorraad achter de hand zijn die kan worden aangesproken bij leidingbreuk of wanneer de inname uit de rivier onderbroken is. Voorraadvorming door berging van water in spaarbekkens en in de bodem boven de natuurlijke grondwaterstand wordt in Nederland reeds op praktisch-schaal toegepast. In onderzoek is of ook een winbare hoeveelheid zoet water in de ondergrond kan worden aangebracht door zout grondwater hiermee te verdringen. Middeldiepe en veelal zoute watervoerende pakketten vormen aldus sinds kort een onderwerp van studie in Nederland, niet zozeer om het water dat ze bevatten als wel in verband met de mogelijkheid daarin tijdelijk zoet water te bergen.

Daarnaast wordt ook tijdelijke opslag van rest- of afvalwarmte in dergelijke pakketten aantrekkelijker naarmate de prijs van fossiele brandstoffen stijgt.

Indien watervoerende pakketten aan de



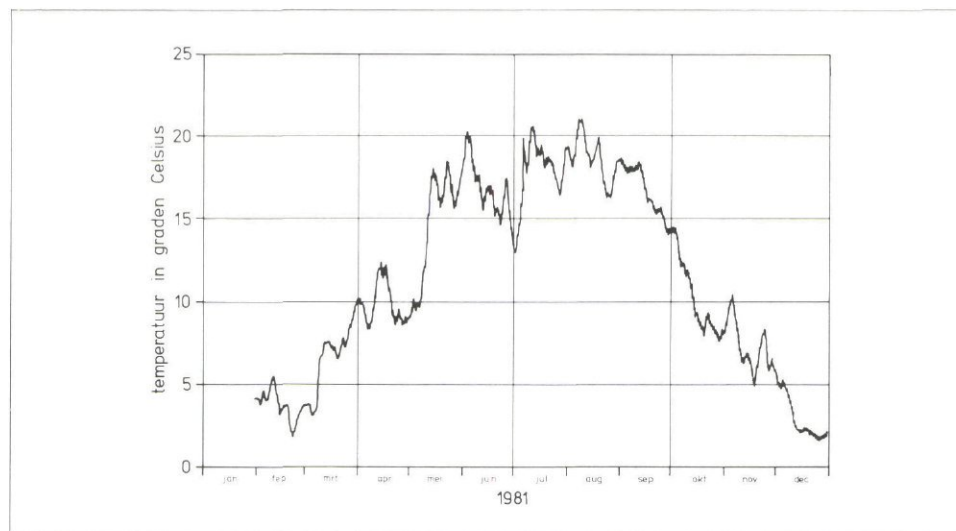
IR. J. H. PETERS
Keuringsinstituut voor
Waterleidingartikelen
KIWA NV, Nieuwegein



DRS. W. VAN DALFSEN
Dienst Grondwater-
verkenning TNO, Delft



ING. J. J. STEINMETZ
Gemeentewaterleidingen,
Amsterdam



Afb. 3 - Verloop van de temperatuur van het voedingwater voor de persput. De start van de infiltratie was op 26 januari 1981.

water zich door het watervoerende pakket beweegt, is rond de persput een aantal waarnemingsputten gemaakt (zie afb. 2). Al voor de start van de infiltratie werd begonnen met de uitvoering van een uitgebreid meetprogramma in een rij van drie waarnemingsputten op afstanden van circa 5, 15 en 40 meter van de persput.

Dit programma bestond uit een frequent herhaalde bepaling van chloridegehalte, stijghoogte, schijnbare soortelijke elektrische geleiding (door middel van zoutwachters) en temperatuur op een groot aantal niveaus in het watervoerende pakket en daarbuiten. Op deze wijze kan de verbreiding van infiltratiewater worden bestudeerd. De volumestroom van de infiltratie lag vrijwel constant op 20 m³/h. Het temperatuurverloop van het voedingwater is weergegeven in afb. 3. Aan de hand van de meetresultaten blijkt dat een beperkte menging optreedt tussen de twee watersoorten. Het zoete water gaat drijven op het zoute water en de scheiding tussen beide watersoorten vindt plaats binnen enkele meters. Om de verbreiding van het water op grote afstand van de persput te bestuderen, is later een tweetal extra waarnemingsputten op 100 en 125 meter aangebracht, zie afb. 2.

3. Geothermetrie en identificatie van grondwaterstroming

De aarde is geen isotherm lichaam. De temperaturen hierin lopen uiteen van enkele tientallen graden Celsius onder nul in de ondiepe ondergrond van de koudste gebieden op aarde tot enkele duizenden graden op grote diepten.

De temperaturen in de bodem en ondiepe ondergrond worden hoofdzakelijk bepaald door de warmte-uitwisseling tussen zon, aarde en heelal. Door periodieke veranderingen in deze warmte-uitwisseling varieert

de temperatuur aan het aardoppervlak dagelijks en jaarlijks. De temperatuurvariëaties aan het aardoppervlak planten zich met toenemende demping en fase-naijling voort in de diepte. Hierdoor wordt zonnearmte beurtelings geborgen in de aarde en weer afgegeven, waarna deze warmte verdwijnt in het heelal. In Nederland is de jaarlijkse variatie in de temperatuur van de ondergrond merkbaar tot diepten van circa 15 m.

De hoge temperaturen op grote diepten zijn (ten minste in aanzienlijke mate) toe te schrijven aan warmteproductie als gevolg van verval van radioactieve isotopen in de aarde. Hierdoor is er een voortdurende warmtestroom uit het inwendige van de aarde naar het aardoppervlak. De grootte en de aard van deze warmtestroom (zuivere geleiding of advectie en geleiding) is vast te stellen door meting van temperaturen in de ondergrond.

Het ondiepe ondergrondse temperatuurveld in Nederland is in de afgelopen jaren uitvoerig verkend door meting van temperatuurprofielen in een groot aantal diepe waarnemingsputten [2]. Uit dit onderzoek is gebleken dat het ondergrondse temperatuurveld in grote gebieden de sporen draagt van de kringloop van het water. In gebieden met grondwateraanvulling uit neerslag heersen relatief lage temperaturen; relatief hoge temperaturen treden op in gebieden waar grondwater omhoog stroomt. In deze gebieden fungeert grondwater dus als warmtetransportmiddel, waardoor een andere temperatuurverdeling ontstaat dan in het hypothetische geval van geen-stroming. In het laatste geval zou alle warmte-overdracht plaatsvinden door geleiding, zoals beschreven door de wet van Fourier. Grondwater treedt niet alleen op als warmtetransportmiddel in het natuurlijke

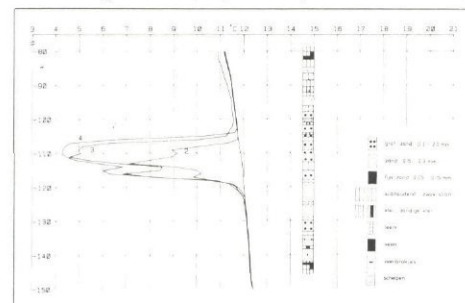
proces van de kringloop van het water, maar als zodanig ook in tal van door de mens beïnvloede situaties. In deze studie wordt de aandacht gevestigd op het warmtetransport bij de infiltratie van oppervlaktewater via een persput. Daarnaast is te denken aan de reeds genoemde tijdelijke ondergrondse opslag van rest- of afvalwarmte, ondergrondse lozing van koelwater, percolatie van relatief warm water uit een vuilstort en aan warmteputten in een grondwaterstromingsveld. Voor voorbeelden van de twee laatste gevallen wordt verwezen naar [3].

4. Temperatuurmetingen bij de infiltratieproef

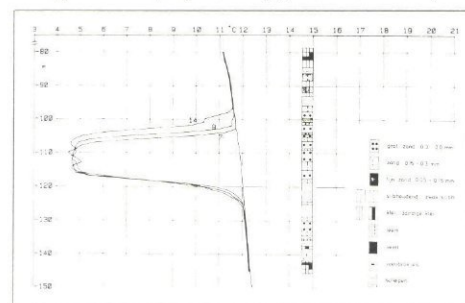
Op 26 januari 1981 startte Gemeentewaterleidingen Amsterdam een infiltratieproef, tijdens welke zij in samenwerking met de Dienst Grondwaterverkenning (DGV) van TNO bij herhaling temperatuurprofielen opnam in de rij waarnemingsputten WP5, WP15 en WP40 op ongeveer 5, 15 en 40 m van de persput. Kort voor het begin van de infiltratieproef waren op 21 januari 1981 in de putten WP5 en WP15 al temperatuurprofielen opgenomen om de uitgangssituatie voor wat de temperatuur betreft vast te stellen.

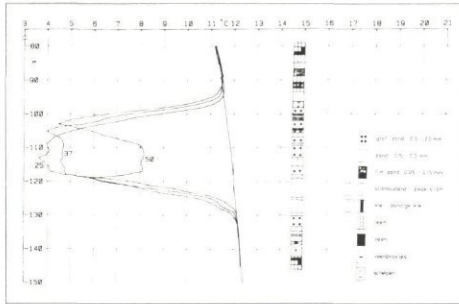
Alle metingen zijn uitgevoerd met een DGV-temperatuursonde met een 100 ohm platina-weerstand als transducent. Deze platina-weerstand is opgenomen in een voeler-uiteinde met geringe warmtecapaciteit. Hierdoor is het mogelijk evenwichtstemperaturen af te lezen tot op één-

Afb. 4 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP5 voor het begin van de infiltratie en 2, 3 en 4 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).

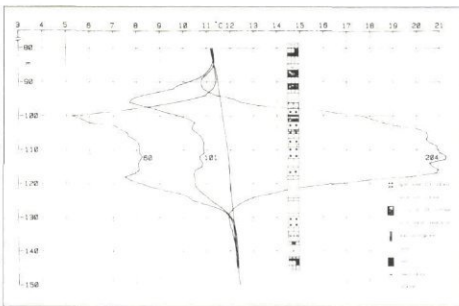


Afb. 5 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP5 voor het begin van de infiltratie en 7, 9 en 14 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).

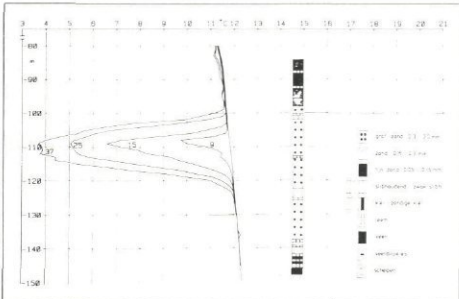




Afb. 6 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP5 voor het begin van de infiltratie en 25, 37 en 50 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).



Afb. 7 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP5 voor het begin van de infiltratie en 60, 101 en 204 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).



Afb. 8 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP15 voor het begin van de infiltratie en 9, 15, 25 en 37 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).

honderdsten van een graad Celsius binnen 20 s na stilstand van de sonde in een met water gevulde stijgbuis. Deze temperaturen zijn om de meter opgenomen, telkens na een korte onderbreking in de neerwaartse beweging van de sonde. De onnauwkeurigheid in het verschil tussen de temperatuurwaarden op twee niveaus in een stijgbuis is bij de opname van een temperatuurprofiel in de orde van 0,01 °C. Omdat de verstoring van de thermische parameters (warmtegeleidingscoëfficiënt en volumieke warmtecapaciteit) in het boorgat met zijn stijgbuizen van zeer beperkte (ruimtelijke) omvang is, zijn de temperaturen daarin nagenoeg gelijk aan die op overeenkomstige niveaus rondom het boorgat. De in de stijgbuizen opgenomen temperatuurprofielen zijn dus (nagenoeg) getrouwe representaties van de profielen in de ondergrond daaromheen. Alle waargenomen temperaturen zijn samen

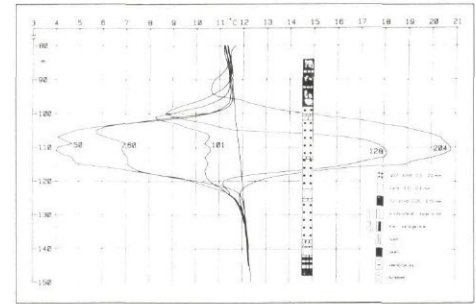
met het lithologisch profiel weergegeven in de afb. 4 tot en met 11. De diepte is ten opzichte van maaiveld. Deze is circa 7,3 m boven NAP.

5. Interpretatie van gegevens

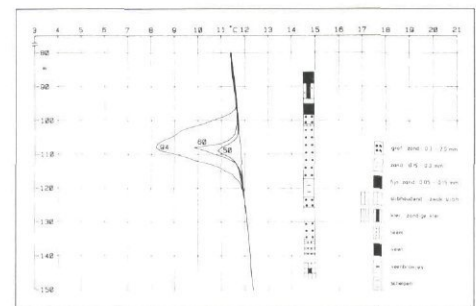
Uit de temperatuurprofielen komt een aantal fysische verschijnselen naar voren. Zo valt uit het temperatuurprofiel in WP 5 na 2 dagen infiltreren (afb. 4) op te maken dat er sprake is van 3 'preferente stroombanen'. De ligging hiervan valt samen met die afzonderlijke lagen die bij het boren van de waarnemingsput als grofzandig werden waargenomen en die daarom relatief het meest doorlatend zijn. Al de thermisch aan te wijzen 'preferente stroombanen' bevinden zich in grofzandige lagen, waarbinnen in de lithologische boorkolom niet altijd verder onderscheid is aangebracht. Kennelijk sluit lithologische homogeniteit volgens de boorkolom hier nog geen hydraulische homogeniteit in. Wel kan op 113 m diepte in WP 15 een leemlaagje in een vrij homogeen pakket worden waargenomen in het temperatuurprofiel na 9 dagen infiltreren (zie afb. 8).

Bij de interpretatie van de temperatuurprofielen zijn twee opmerkingen te maken. Ten eerste verdringt in eerste instantie koud infiltratiewater warmer grondwater. De temperatuurpieken kunnen dus niet worden geweten aan 'fingering instability', het verschijnsel dat een front tussen water soorten met verschillende temperaturen – en dus viscositeiten – instabiel is als koud water wordt verdrongen door warmer water. Ten tweede wordt opgemerkt dat interpretatie alleen in het begin van de infiltratie goed mogelijk is. De interpretatie van de temperatuurprofielen zoals die op latere tijdstippen zijn waargenomen is gecompliceerd door temperatuurvariaties van het voedingwater voor infiltratie (zie afb. 3). Opvallend is dat de temperatuurprofielen die zijn opgenomen in de waarnemingsput op de kleinste afstand van de persput een grilliger verloop vertonen dan de profielen van de waarnemingsput op de grootste afstand. Dit zal voor een gedeelte worden veroorzaakt door de bodem die plaatselijk verschillen vertoont maar ook doordat met het toenemen van de afstand de stroomsnelheid afneemt zodat warmtetransport door geleiding vanuit of naar boven- en onderliggende meer of minder doorlatende lagen een toenemende rol gaat spelen en ten opzichte van het advectieve warmtetransport door stroming niet kan worden verwaarloosd (de verhouding tussen advectief warmtetransport en warmtetransport door geleiding wordt aangegeven door het Peclet-getal). Dit heeft ook tot gevolg dat:

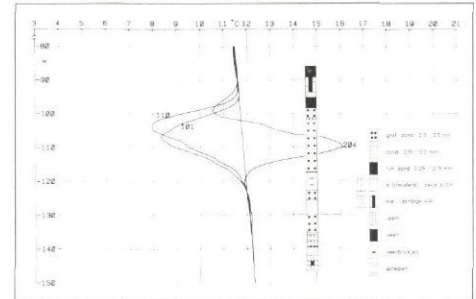
– met het afnemen van de stroomsnelheid van het water de temperatuurgradiënten zullen afnemen;



Afb. 9 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP15 voor het begin van de infiltratie en 50, 60, 101, 128 en 204 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).



Afb. 10 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP40 voor het begin van de infiltratie en 50, 60 en 94 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).



Afb. 11 - Lithologisch profiel en de temperaturen in waarnemingsput WP40 voor het begin van de infiltratie en 101, 110 en 204 dagen daarna (diepte is ten opzichte van maaiveld).

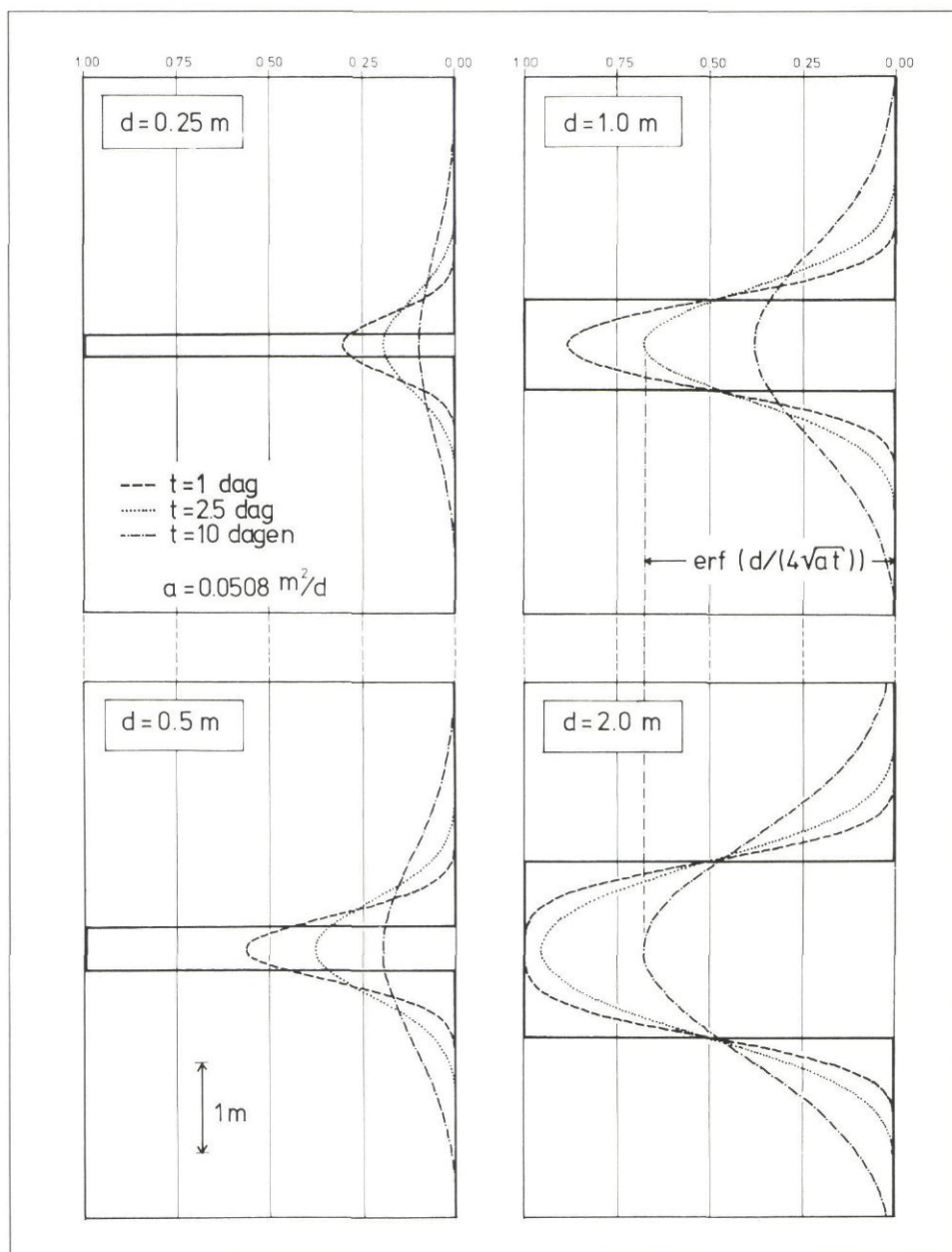
– dunne laagjes met grote of juist kleine doorlatendheid niet worden waargenomen omdat de warmtegeleiding dan temperatuurverschillen door advectief warmtetransport onderdrukt.

Ter bepaling van het effect van de laagdikte zijn enkele oriënterende analytische berekeningen uitgevoerd. Hierbij is verondersteld dat op het tijdstip $t=0$ in een laag met dikte d de temperatuur instantaan verlaagd wordt. De laag bevindt zich in een oneindig uitgestrekte bodem met een constante temperatuurvereffeningscoëfficiënt a . Deze grootte ('thermal diffusivity') is de warmtegeleiding gedeeld door de volumieke warmtecapaciteit van de 'natte grond', aangenomen als 0,0508 m²/d bij de berekeningen. In afb. 12 zijn de berekende temperatuurprofielen voor de tijdstippen 1; 2,5 en 10 dagen weergegeven voor laagdikten van 0,25; 0,5; 1,0 en 2,0 meter. Het

blijkt dat in een natte poreuze ondergrond de maximum temperatuur-anomalie in een laag met een dikte van 0,5 m na één dag reeds gehalveerd is. Het moet ook worden opgemerkt dat bij een meetfrequentie van maximaal 1 per dag een duidelijk afwijkende laag alleen dan significant in de temperatuur-log kan worden waargenomen als de laagdikte groter is dan 0,5 m. De vraag is of één meting per m diepte dan toereikend is. Bij een lagere meetfrequentie – bijvoorbeeld 1 per week – is het voldoende de temperatuur per m diepte te loggen. Geconcludeerd kan nog worden dat de tijd die verstrijkt voordat de maximum temperatuur-anomalie tot een bepaalde waarde gezakt is, evenredig is met het kwadraat van de laagdikte. Dit laagdikte-effect – een begrip dat ook bij de consolidatietheorie in de grondmechanica voorkomt – is in afb. 12 waar te nemen door vergelijking van de $t = 2,5$ dag-kromme met de kromme van $t = 10$ dagen voor een tweemaal zo dikke laag. Overigens wordt gewezen op de beperkte geldigheid van bovenstaande oriënterende berekening voor de infiltratie-proef. Bij deze proef immers is er geen sprake van een momentane warmte-onttrekking uit de laag, gevolgd door een geleidelijke opvulling door warmtegeleiding, maar is er door het opdringende koude infiltratiewater een voortdurende tendens de temperatuur van de laag op een vaste waarde te houden. Een betere benadering is de zogenaamde Avdonin-oplossing [1].

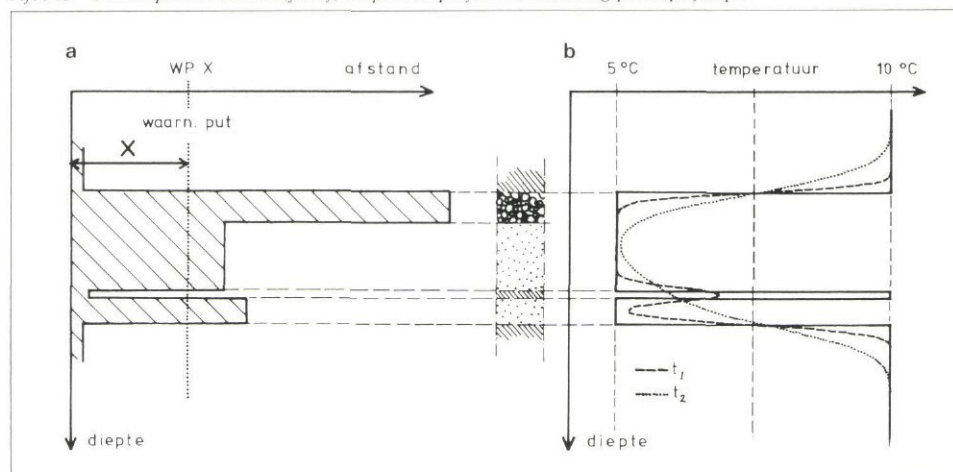
Moelijkheden bij de interpretatie van temperatuurprofielen kunnen aan de hand van een fictief voorbeeld worden toegelicht. Veronderstel een situatie met horizontale stroming in één richting waarbij water van 10 °C wordt verdrongen door water van 5 °C. Als het effect van geleiding vooralsnog verwaarloosd wordt, kan op een zeker moment het warmtefront een vorm hebben als weergegeven in afb. 13a (dit front is gelijkvormig met de verdeling van de doorlatendheid over de hoogte van het watervoerende pakket). Het hierbij behorende temperatuurprofiel van een waarnemingsput op afstand x is getrokken weergegeven in afb. 13b. In werkelijkheid echter treedt dit temperatuurprofiel niet op, maar een door warmtegeleiding min of meer vereffend temperatuurprofiel. Deze temperatuurvereffening is vollediger naarmate de tijd verder voortgeschreden is (vergelijk gestreepte en gestippelde lijn in afb. 13b). Het blijkt nu dat de goed en (afhankelijk van dikte, temperatuurvereffeningscoëfficiënt en tijd) ook de slecht doorlatende laag niet in het temperatuurprofiel kunnen worden waargenomen.

Uit de afb. 6, 7, 9 en 11 blijkt dat op een diepte van 95 tot 100 m de doorlatendheid klein is. Het warmtetransport in dit gedeelte van de formatie zal overwegend door



Afb. 12 - Berekende temperatuurverdelingen 1; 2,5 en 10 dagen nadat op $t=0$ de temperatuur verlaagd wordt. De berekening is uitgevoerd voor laagdikten van 0,25; 0,5; 1,0 en 2,0 m. Verondersteld is dat warmtetransport slechts door geleiding optreedt.

Afb. 13 - De interpretatie van een (fictief) temperatuurprofiel in waarnemingsput x op tijdstip t .



geleiding plaatsvinden zodat pas lang nadat gestart is met het infiltreren van warmer water de temperatuur ook daar is toegenomen. Een en ander blijkt uit het 'omslaan van de temperatuur-anomalie'. Naast verschillen in eigenschappen van de bodem zijn ook verschillen in eigenschappen van het water belangrijk. Bij dit experiment kunnen viscositeitsverschillen door temperatuureffecten oplopen tot 30%. Vlak bij de put waar relatief grote stroomsnelheden optreden zullen viscositeitsverschillen dan ook hun invloed hebben op de stroming. Het verschil in dichtheid ten gevolge van een verschil in temperatuur is maximaal 0,1%. Echter ten gevolge van een verschillend zoutgehalte is dit maximaal 2,5%. Verbreiding van het zoete water in het zoute watervoerende pakket vindt dan ook sneller plaats naar boven dan naar beneden, zie ook [10] en [11]. Met name op kleinere afstand van de persput zijn de stromingscomponenten in verticale richting relatief groot. Te berekenen is dat enkele dagen na de start van de infiltratie het zoete water dat zich ter plaatse van WP 5 op een diepte van 108 m bevindt een snelheidscomponent van 2 à 3 meter per dag naar boven zal hebben. Uit afb. 4 valt waar te nemen dat de temperatuur-anomalie dan groeit met een snelheid groter dan 1 meter per dag in bovenwaartse richting. Dit wijst op de vertragsingsfactor tussen de doorbraak van het water- en warmtefront waarover reeds frequent is gepubliceerd. Koud (of warm) water dat is geïnjecteerd zal warmte opnemen van (of afgeven aan) het sediment waaruit de ondergrond is opgebouwd waardoor het warmtefront vertraagd 'doorbreekt'. Voor de vertragsingsfactor – die vrij eenvoudig kan worden berekend – worden in de literatuur waarden genoemd van ongeveer 2 (zie [4, 5, 6, 7 en 12]). Een en ander is afhankelijk van bodemeigenschappen als porositeit en warmtecapaciteit. Opgemerkt moet worden dat naast geleiding niet alleen verticale stromingscomponenten het groeien van de temperatuur-anomalie tot gevolg kunnen hebben. In een formatie met bijvoorbeeld 'a fining upward sequence' zal het waterfront ook bij alleen horizontale stroming later doorkomen in een hoger gelegen punt zodat ook dit een naar boven groeiende temperatuur-anomalie te zien zal geven.

6. Conclusies

Het blijkt dat met temperatuurmetingen aanvullende informatie kan worden verkregen over de verdeling van de doorlatendheid over de hoogte van een watervoerend pakket en over de verbreiding van met persputten geïnjecteerd water. Wél moet worden opgemerkt dat de temperatuur geen ideale tracer vormt voor bepaling van de reistijd van

het infiltratiewater. Het warmtefront beweegt namelijk langzamer dan het waterfront door warmte-overdracht tussen korrels en poriënwater. Ook geleiding boven de korrel-schaal zal veroorzaken dat er extra verschillen ontstaan tussen de doorbraak-tijden van water- en warmtefront. Dit zal echter bij elke 'tracer' optreden omdat ook diffusie – een proces dat verloopt volgens dezelfde vergelijkingen als geleiding van warmte – dit veroorzaakt. Een ander gevolg van geleiding is dat op afstand van de persput – waar de stroomsnelheden klein worden – minder uitgesproken temperatuurverschillen voorkomen als gevolg van vereffening door warmtegeleiding.

De interpretatie van de geothermische metingen kan door tal van oorzaken worden bemoeilijkt. Genoemd is het storende effect van geleiding waardoor vooral dunne laagjes niet tot uiting komen. Ook zal indien een meting is uitgevoerd korte tijd na de boring het resultaat beïnvloed worden door eventueel in de formatie achtergebleven werkwater. De temperatuurgradiënt kan ook verstoord zijn door stroming door een onjuist afgewerkt boorgat. Indien een aantal wisselingen in de temperatuur van het voedingwater heeft plaatsgevonden, wordt een interpretatie van de opgetreden stroming zeer gecompliceerd en welhaast onmogelijk. Echter bij de start van de infiltratie kan bij voldoende contrast tussen de temperatuur van bodem en voedingwater voor de put een beeld worden verkregen van de soms zeer grote veranderingen van de doorlatendheid over de hoogte van een watervoerend pakket. Dit rechtvaardigt uitbreiding van het geofysisch onderzoek bij onder meer kunstmatige grondwateraanvulling. Het is bij grondwaterkwaliteitsbeheer immers van groot belang om de onregelmatige verdeling van de doorlatendheid in watervoerende pakketten te kennen, die samenhangt met veranderingen in het afzettingsmilieu van sedimenten.

Literatuur

1. Avdonin, N. A. (1964). *Some formulas for calculating the temperature field of a stratum subjected to injection of hot water*. Neft' i Gaz, Vol. 7, no. 3, p. 37-41.
2. Dalfsen, W. van (1981). *The shallow subsurface temperature field in the Netherlands*. Groundwater Survey TNO report OS 81-05.
3. Dalfsen, W. van (1983). *Identification of groundwater flow and aquifer heterogeneity by geothermometry*. Proc. MUGS-Intern. Symp., Noordwijkerhout, pp. 375-384.
4. Huisman, L. (1973). *Temperatuurverandering bij kunstmatige infiltratie*. H₂O (6), nr. 24, p. 653-656.
5. Keys, W. S. and Brown, R. F. (1978). *The use of temperature logs to trace the movement of injected water*. Groundwater, Vol. 16, no. 1, p. 32-48.
6. Lippmann, M. J. and Chin Fu Tsang (1980). *Groundwater use for cooling: Associated aquifer temperature changes*. Groundwater, Vol. 18, p. 452-458.
7. Olsthoorn, Th. N. (1982). *Methoden en technieken van kunstmatige grondwateraanvulling*. Cursus Sticht. Postac. Vorming Gezondheidstechniek Delft.

8. Olsthoorn, Th. N. (1982). *Verstopping van persputten*. KIWA-mededeling nr. 72.
9. Peters, J. H. (1982). *Enkele mogelijkheden van persputten bij de watervoorziening*. H₂O (15), nr. 15, p. 389-395.
10. Peters, J. H. (1983). *The movement of fresh water injected in salaquifers*. KIWA-report SWE-83.007.
11. Schuurmans, R. A. and Akker, C. van den (1981). *Artificial removal of intruded saline water in a deep aquifer*. Sveriges Geologiska undersökning, Rapporten och meddelanden nr. 27, pp. 239-246.
12. Uffink, G. J. M. *Dampening of fluctuations in groundwater temperature by heat exchange between the aquifer and the adjacent layers*. J. of Hydrology, 60(1983), p. 311-328.



Agenda

22 - 24 februari 1984, Eurogress Aken: Gewässerschutz und Abwasserreinigung als komplexe Aufgabe.

28 februari - 3 maart 1984, Utrecht: Vakbeurs Verwarming, Sanitair en Klimaat-beheersing. Jaarbeurs Utrecht.

29 februari 1984, Den Haag (TNO): Studiedag 'Afvalberging en Ruimtelijke Ordening'. Inl.: Dr. P. B. Smoor, SCMO-TNO, Postbus 186, 2600 AD Delft, tel. 015 - 56 93 30, tst. 2447.

23 maart 1984: Symposium 'Analyse van het fosfaatbeleid', Int. Agrarisch Centrum IAC Wageningen. Inl. secr. sectie Milieuchemie KNCV, drs. V. v. d. Bergen, 020 - 13 98 08.

6 april 1984, Darmstadt, BRD: 6. Wasser-technischen Seminar 'Biologische Verfahren in der Wasseraufbereitung'. Inl.: Institut für W.A.R., Dipl.-Ing. Brettschneider, Petersenstrasse 13, 6100 Darmstadt, BRD.

22 - 25 mei 1984, München, BRD: Sludge Treatment and Disposal - problems and options. Inl.: mr. G. A. Truesdale, c/o Balfours, Yeoman House, 63 Croydon Road, London SE20, UK.

22 - 26 mei 1984, München, BRD: 7e Internationale Vakbeurs met Symposium IFAT '84 (afwatering, afvalverwerking, recycling, stadsreiniging, etc.). Inl.: over deelname: NCH, Mevr. A. W. Coleman, Postbus 10, 2501 CA Den Haag, 070 - 46 93 92.

23 - 25 mei 1984, Antwerpen, België: International Symposium Electrical and Magnetic Separation and Filtration

● Vervolg op pagina 77