Grondwatermodellering met behulp van een spreadsheet . . . voorraadvorming bij variabele dichtheid in een heterogene bodem (2)

Samenvatting
Dichtheidsstroming kan bepalend zijn voor het succes of falen van voorraadvorming in ondergrondse pakketten met brak of zout water. Dit artikel demonstreert het berekenen van deze dichtheidsstroming in vlakke en radiaal symmetrische verticale grond-doorsneden met behulp van een standaard spreadsheet-programma op personal computers. Ten opzichte van het vorige artikel [Olsthoorn, 1989] wordt nu rekening gehouden met een ruimtelijk variabele dichtheid, verticale stromingscomponenten, anisotropie en bodemgelaagdheid. De stroomfunctie is nu uitgangspunt. In deel 1 van dit artikel wordt de methode getoetst aan gepubliceerde voorbeelden, waarna in deel 2 van dit artikel een aantal voor de praktijk relevante situaties wordt uitgewerkt en voorzien van conclusies met betrekking tot ondergrondse voorraadvorming in de praktijk. Het is van groot belang dat het pakket met de infiltratie en winmiddelen een zoutgehalte heeft van niet meer dan enkele honderden mg Cl/l.

Inleiding
In deel 1 van dit artikel (vorige nummer van dit tijdschrift) is de methode theoretisch uitgewerkt en zijn de resultaten getoetst aan gepubliceerde voorbeelden en een analytische oplossing. In dit tweede deel worden de overige voorbeelden beschreven die met het spreadsheet-model werden berekend. De voorbeelden zijn zodanig gekozen, dat zij voor de praktijk relevante conclusies toelaten. (Zie voor afb.1 tot en met 6 deel 1).

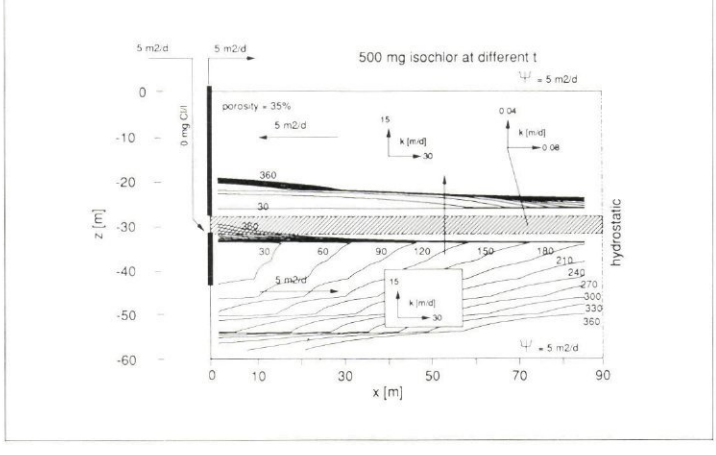
IR. T. N. OLSTHOORN
Gemeentewaterleidingen
Amsterdam

Het idee achter afb. 7 is voorraadvorming door infiltratie van zoet water onder de scheidende laag en terugwinning van het water dat geleidelijk door de scheidende laag lekt. Onder de scheidende laag waar op t=0 water met 18.000 mg Cl/l (1.025 kg/m³) aanwezig was, wordt zoet (0 mg Cl/l) water geïnfiltreerd, terwijl een even grote hoeveelheid water wordt onttrokken uit het bovenpakket waarin zich op t=0 uitsluitend zoet water (0 mg Cl/l) bevond. Het chloridegehalte van het water in de scheidende laag bedroeg op t=0 overal 9.000 mg/l (dichtheid 1.012,5 kg/m³). Afb. 7 geeft het oprukkende zoete water onder de scheidende laag in stappen van 30 dagen. Afb. 8 toont de berekende zoutsituatie op t=360 d. (De resultaten worden mede bepaald door de numerieke dispersie. Dit heeft echter geen consequenties voor essentie van de berekening. We zien dat het zout van lieverlee uit de scheidende laag wordt gedrukt en in het bovenste pakket terechtkomt. Er treedt dus een zekere verzilting van het bovenpakket op. Vanuit het bovenpakket komt dit zoute water tezamen met oorspronkelijk zoet water uit het bovenpakket in de winmiddelen.
De verhoging van het zoutgehalte die dit fenomeen in de winmiddelen veroorzaakt is in afb. 9 weergegeven voor 2 situaties, namelijk de situatie waarin de scheidende laag op t=0 uitsluitend zoet water bevatte en die waarin deze laag op t=0 uitsluitend water bevatten met een chloridegehalte van 9.000 mg Cl/l. (Het exacte verloop van de curven in afb. 9 hangt mede af van de numerieke dispersie).
Het is voor de praktijk relevant dat deze verzilting van het bovenpakket bij een dergelijke inrichting altijd zal optreden.

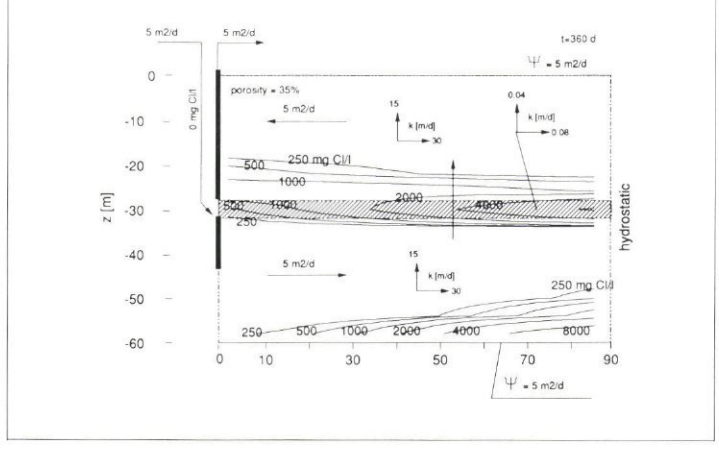
Kort na het begin van de infiltratie bevat het onderste pakket immers alleen in de directe omgeving van de putten zoet water. De drukverhoging in het onderste pakket en de drukverlaging in het bovenste pakket spreiden zich echter vrijwel onmiddellijk uit over een groot gebied, zodat over dit gehele oppervlak zout water vanuit het onderste pakket in de scheidende laag en vanuit de scheidende laag in het bovenste pakket wordt gedrukt. Een zekere mate van verzilting van het bovenste pakket is zodoende op deze wijze niet te vermijden en zou gedurende een zeer lange tijd tot een onbruikbare kwaliteit van het gewonnen water kunnen leiden.

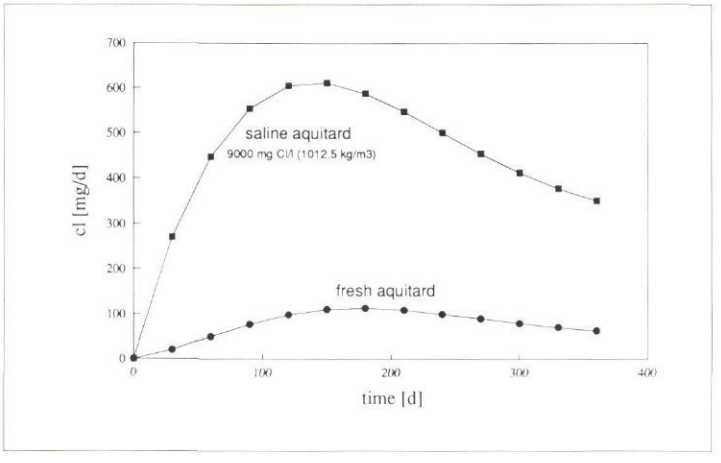
Afb. 10 is een ander voor de praktijk relevant voorbeeld. Infiltratie en terugwinning spelen zich af in een pakket met bovenin zoet en onderin zout water. Het geheel is symmetrisch om de linkerzijde van de afbeelding. Om verzilting van de winning te voorkomen wordt 20% meer geïnfiltreerd dan wordt teruggewonnen. Het stroombeeld in afb. 10 leert nu, dat verzilting van de put nog steeds in geringe mate mogelijk is vanaf de buitenzijde (in de afbeelding de rechterzijde) van de winmiddelen. Van groter belang is echter dat de

Afb. 7 - Indringing van zoet water in zoute aquifer (18.000 mg Cl/l, 1.025 kg/m³) onder scheidende laag met gelijktijdige onttrekking in bovenliggend pakket. Weergegeven is de lijn van 500 mg Cl/l op verschillende tijdstippen [d]. De plaats van de isochloridelijn wordt mede bepaald door de numerieke dispersie. Op t=0 bedroeg het chloridegehalte in de scheidende laag 9.000 mg/l.

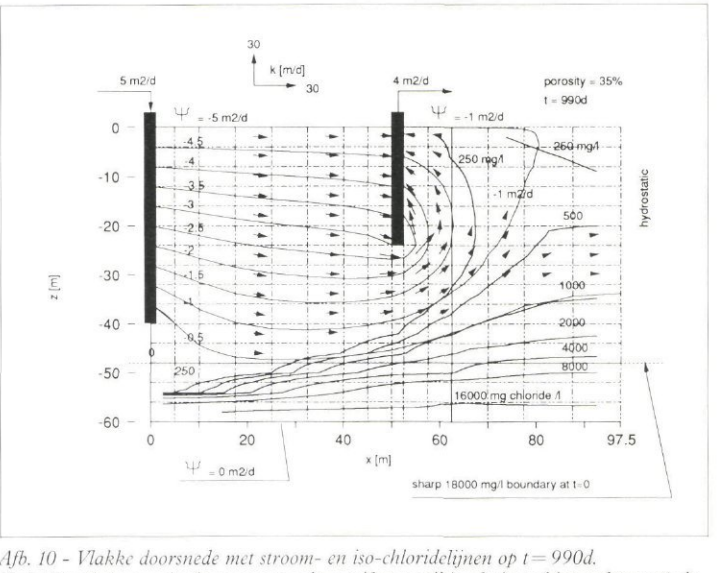


Afb. 8 - Situatie als in afb. 7. Weergegegeven is de chloridesituatie op t=360d. De wig zout water in en net boven de scheidende laag is het gevolg van het omhoog drukken van het zout dat zich op t=0 in en net onder de scheidende laag bevond (9.000 mg Cl/l). Het beeld is mede bepaald door numerieke dispersie.





Afb. 9 - Voor de situatie van afb. 7 is weergegeven het verloop van de chlorideverhoging in het gewonnen water wanneer de scheidende laag bij de aanvang van de infiltratie een chloridegehalte van 9.000 respectievelijk 0 mg/l zou hebben.



Afb. 10 - Vlakke doorsnede met stroom- en iso-chloridelijnen op t = 990d. De infiltratie/terugwinning veroorzaakt aquifer-verzilting buiten (hier rechts van) de infiltratie/winningsmiddelen. De stippellijn geeft het 9.000 mg Cl/l grensvlak op t = 0. Afgezien hiervan kan ook in deze situatie als gevolg van dispersie een beperkte chlorideverhoging van het onttrokken water optreden. Van belang is dat reeds een zeer kleine bijmenging van zout water een naar drinkwatermaatstaven sterke verzilting veroorzaakt. Immers 1% bijmenging van zeewater levert een chlorideverhoging van bijna 200 mg/l.

opwaartse stroomlijnen aan de buitenzijde van de winmiddelen het zout omhoog voeren. Hierdoor treedt op den duur buiten de winmiddelen een ernstige verzilting van het van oorsprong zoete pakket op. Door het infiltratiesurplus verspreidt deze verzilting zich op termijn over een aanzienlijke afstand buiten de infiltratiemiddelen, in dit geval met een snelheid van circa 18 m/a.

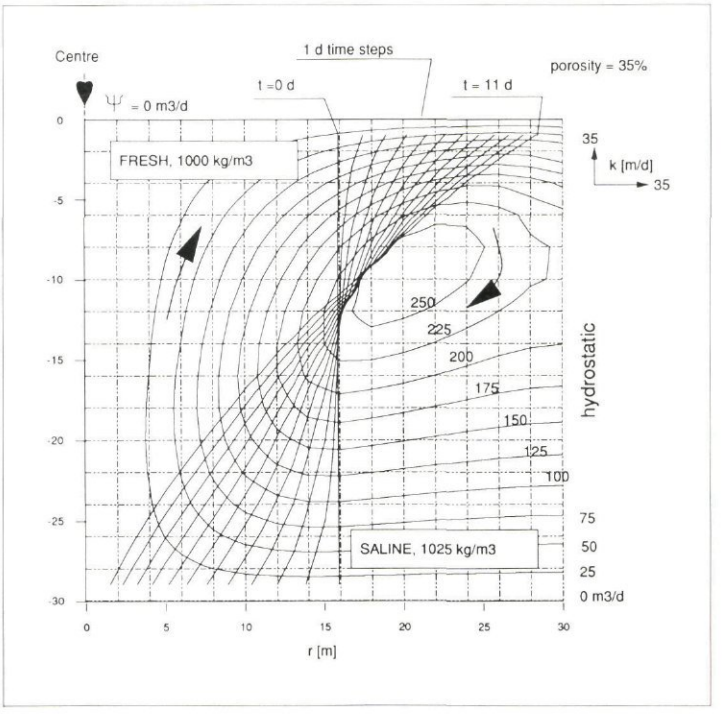
Bovenstaande voorbeelden laten zien dat er grenzen zijn aan het verantwoord opbouwen van een ondergrondse voorraad water door verdringing van zout water. Vooralsnog ben ik geneigd met anderen [zie bijvoorbeeld Huijboom, 1990] te stellen dat in de laag waarin de voorraadvorming plaats moet vinden binnen het gebied van de infiltratie- en winningsmiddelen geen zout water aanwezig mag zijn.

Radiaal-symmetrische situaties

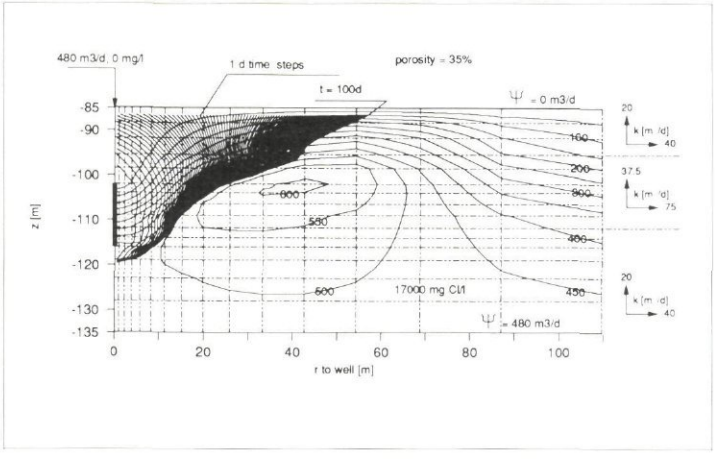
We stappen nu over van vlakke verticale doorsneden op radiaal-symmetrische verticale doorsneden. Afb. 11 toont de berekende rotatie van een grensvlak (de 50% isodichtheidslijn) gedurende 11 dagen voor de denkbeeldige situatie dat op t = 0 een verticale cilinder zoet water met een straal van 16 meter aanwezig was. Afb. 11 bevat tevens de stroomlijnen op t = 11d en de bijbehorende waarden van de stroomfunctie. Hieruit blijkt dat op dat moment de totale rotatiestroom iets meer bedraagt dan 250 m^3/d. Steeds opnieuw blijkt hoe sterk deze dichtheidsstroming kan zijn. Afb. 12 geeft met stappen van 1d gedurende 100 dagen het indringen van zoet water in een gelaagd pakket met zout water, vanuit een put met filter tussen -102 en -116 meter. De stroomlijnen die behoren bij t = 100d tonen hoe zeer de dichtheid het stroombeeld bepaalt en het zoete water met hoge snelheid langs het plafond van het pakket perst. Op grotere afstand van de put bevindt zich alleen zout water in het pakket. Hier is geen dichtheidsstroming meer aanwezig en verdelen de stroomlijnen zich over de gehele pakkethoogte in overeenstemming met de doorlatendheden en de anisotropie van de bodem.

Afb. 13 lijkt op afb. 12, maar de gelaagdheid is extremer en de verticale anisotropie een stuk sterker (zie gegevens bij de afbeeldingen). Het front van het oprukkende zoete water (getoond met tussenstappen van 10d) weerspiegelt de gelaagdheid van de bodem. Ondanks de sterke anisotropie, die de dichtheidsstroming tegenwerkt, blijkt de dichtheid ook nu het beeld te domineren.

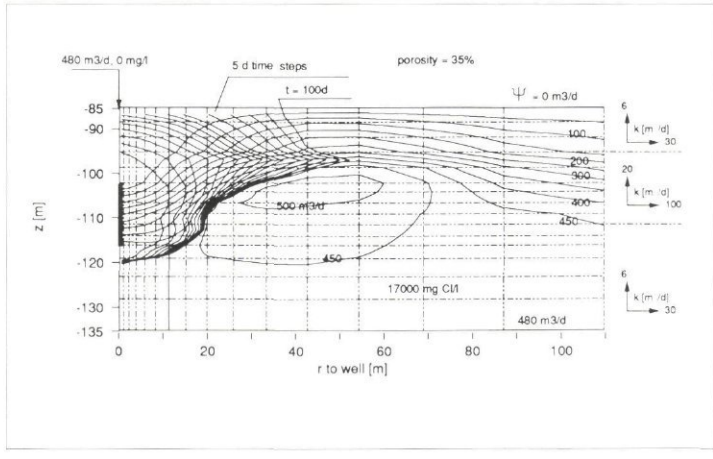
Afb. 14 tot en met 20 tonen de infiltratie en de terugwinning van zoet water in/uit een pakket met brak water (1.000 mg/l). Deze situatie kan als relevant beschouwd



Afb. 11 - Rotatie van een verticaal cilindrisch grensvlak.



Afb. 12 - Verdringing van zout grondwater met behulp van een onvolkomen infiltratieput gedurende 100 dagen getoond in stappen van 1 dag.



Afb. 13 - Als afb. 12, doch in stappen van 10 dagen bij een sterkere gelaagdheid en een significante anisotropie.

worden voor bijvoorbeeld ondergrondse regenwaterberging zoals die momenteel in de belangstelling staat bij veel tuinders in het westen van het land. Het zoutgehalte is weliswaar minder hoog dan in voorgaande voorbeelden, maar de snelheden en de infiltratiehoeveelheden zijn eveneens beduidend kleiner, waardoor de dichtheid ook hier een belangrijke rol speelt. (De basis grondwaterstroming die in de praktijk ook een belangrijke rol speelt blijft in dit artikel buiten beschouwing).

Afb. 14a toont tijdstappen van 10d hoe het zoete infiltratiewater met een capaciteit van 20 m^3/d gedurende 180d het brakke water (1.000 mg Cl/l) voor zich uitdrukt. Naast de lijnen voor 500 mg Cl/l (het 'grensvlak') is de stroomfunctie op t=180d weergegeven.

Afb. 14 b laat zien dat de voorraad beweegt; indien zij niet wordt teruggewonnen, zal het brakke water na circa 100d de onderkant van het putfilter bereiken. Elke terugwinning zou vanaf dat moment direct brak water leveren.

Afb. 14 c laat de verplaatsing van het 500 mg/l-vlak zien gedurende de terugwinning gedurende 180d direct aansluitend op de infiltratieperiode. Reeds na circa 40d arriveert het 'front' bij de onderzijde van de put en begint het zoutgehalte van het onttrokken water toe te nemen. De hoogte van het putfilter waarover brak water binnenstroomt wordt vanaf dat moment voortdurend groter. Het is duidelijk, dat op deze wijze geen zinvolle ondergrondse opslag mogelijk is.

Door dispersie zal het chloridegehalte in de praktijk reeds eerder gaan toenemen.

Afb. 14 d toont een alternatieve manier van onttrekken. Hierbij wordt aan de bovenste 10 meter van het putfilter méér onttrokken dan nodig is (30 m^3/d in plaats van 20 m^3/d). Dit overschot (10 m^3/d) wordt in de onderste 6 meter van het putfilter teruggebracht om het brakke water op afstand te houden.

Deze afbeelding laat zien dat in dit voorbeeld het zout na circa 95 dagen onttrekken op z=13 m het putfilter gaat instromen en dat de brakwaterstroming vanaf dat moment snel toeneemt.

Het terugwinrendement zou daarmee op globaal 50% komen. Door dispersie zal het in de praktijk nog kleiner kunnen zijn.

Afb. 14 e toont een tweede alternatief voor de wijze van terugwinning. Hierbij wordt de benodigde hoeveelheid water alleen aan de bovenste 10 meter van het putfilter onttrokken. Dit blijkt een effectieve manier te zijn om de verzilting van het onttrokken water uit te stellen. Het duurt nu circa 125 dagen alvorens het zout ter hoogte z=15 m de put begint binnen te stromen. Het rendement zou daarmee, afgezien van dispersie, op circa 70% uitkomen.

Het is duidelijk dat de filterlengte en het aandeel teruggevoerd water in de voorgaande voorbeelden niet zijn geoptimaliseerd. Bij het alternatief van afb. 14 d zou minder water moeten worden teruggebracht. Bij dat van afb. 14 e zou het onttrekkingsfilter wat langer moeten zijn.

Het voorgaande geldt uiteraard alleen onder de gemaakte veronderstellingen met betrekking tot de reeds genoemde dispersie en verder de doorlatendheid en de anisotropie van de watervoerende laag. De laatste twee factoren blijken altijd een belangrijke vorm van onzekerheid te zijn.

Afb. 15 a tot en met 15 c tonen berekeningen met een sterk gelaagd en anisotroop pakket. Hierbij is echter het totale horizontale doorlaatvermogen van het pakket gelijk gehouden aan dat van het vorige voorbeeld.

Afb. 15 a toont het opdringen van het zoete water in een gelaagd en anisotroop pakket gedurende 180d infiltratie, samen met de stroomlijnen op t=180d. Duidelijk blijkt dat de zones met de grootste doorlatendheid de sterkste grensvlakkanteling vertonen.

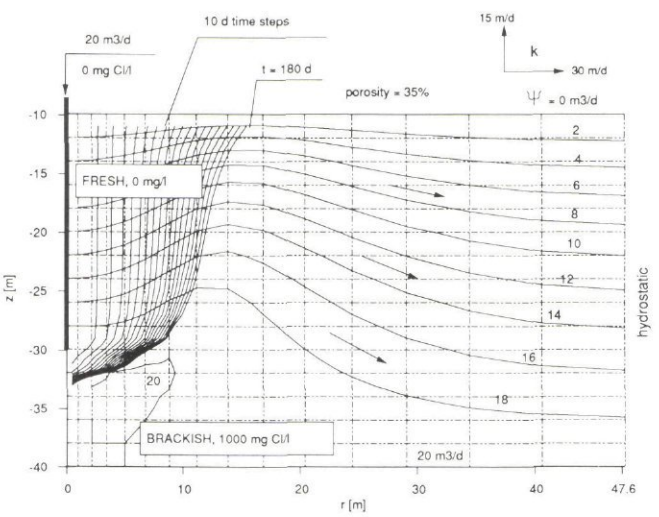
Afb. 15 b laat zien wat er met de voorraad in die gelaagde, anisotrope pakket gebeurt gedurende een daarop volgende rustperiode van 180d. Door de relatief grote doorlatendheid tussen z=-26 en z=-32 m, dringt het zout onder de put nog sneller omhoog dan in het voorgaande voorbeeld. De geringe doorlatendheid in het bovenste deel van het pakket remt daar de rotatie in sterke mate.

Afb. 15 c tenslotte, toont het front gedurende 180d terugwinning op de manier die in het vorige voorbeeld het meest effectief leek, namelijk onttrekking over een filterlengte van 10 meter.

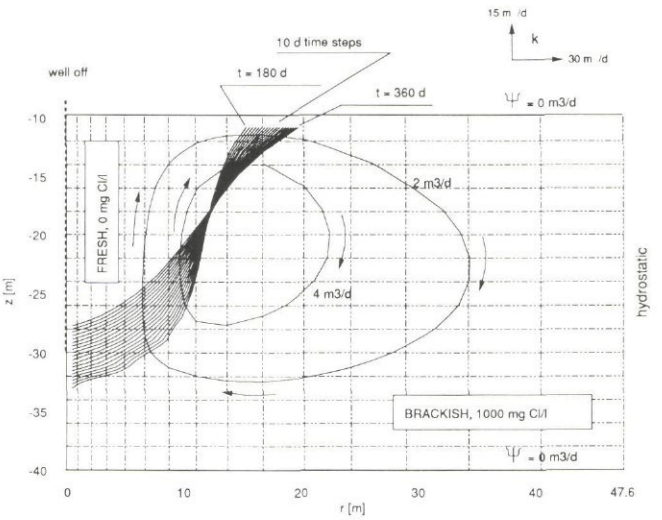
Het duurt nu ongeveer 115d voordat het water de put instroomt. In dit geval stroomt het eerste brakke water geheel bovenin het putfilter naar binnen (op z=-10 m).

Aan de stroomlijnen voor t=180d in afb. 15 a en 15 c is duidelijk de sterke stroming te zien in de laag met de relatief grote doorlatendheid. Toch blijkt de efficiëntie van de voorraadvorming in de gelaagde en anisotrope bodem (in dit voorbeeld) weinig te verschillen met die in de niet gelaagde en nauwelijks anisotrope bodem. Van veel groter belang is de wijze van terugwinning.

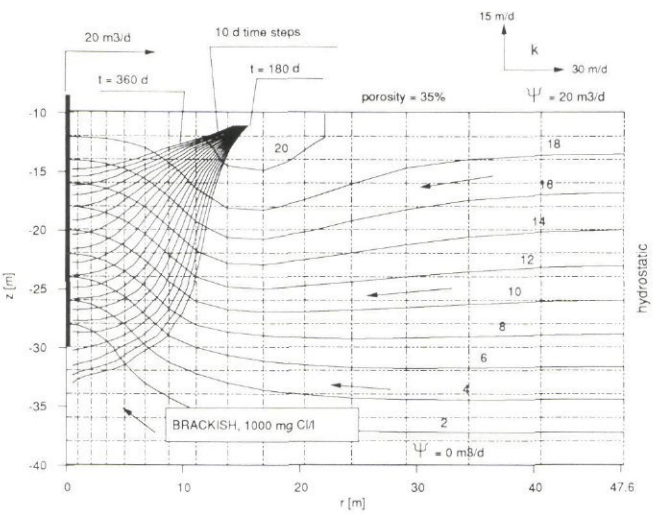
Terugwinning via een kort filter is waarschijnlijk de veiligste en meest effectieve manier. Van belang is dat zo'n filter ook niet te kort mag zijn. De geconcentreerde stroming die daarvan het gevolg zou zijn, zou het brakke water met grotere snelheid van opzij de put intrekken. Ook is met deze voorbeelden aangetoond dat het lang niet altijd zo is dat het zoute water van onderen de put instroomt. Met name bij onttrekking met behulp van putfilters die korter zijn dan die waarmee het water is



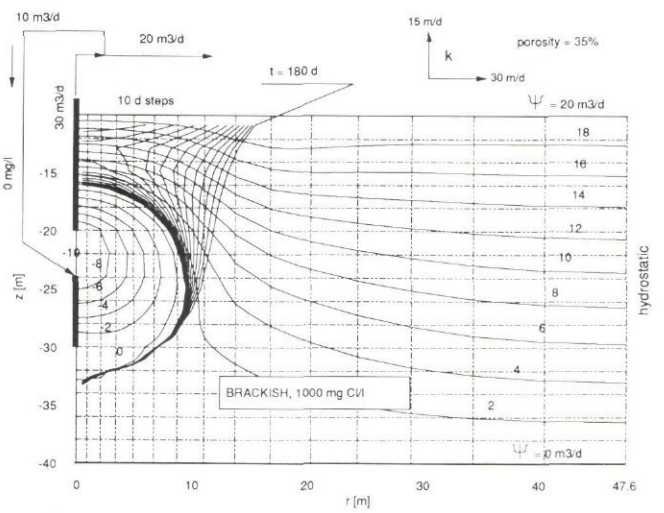
a. Verdringing van het brakke grondwater (1.000 mg Cl/l) gedurende 180 dagen infiltratie met 20 m3/d.



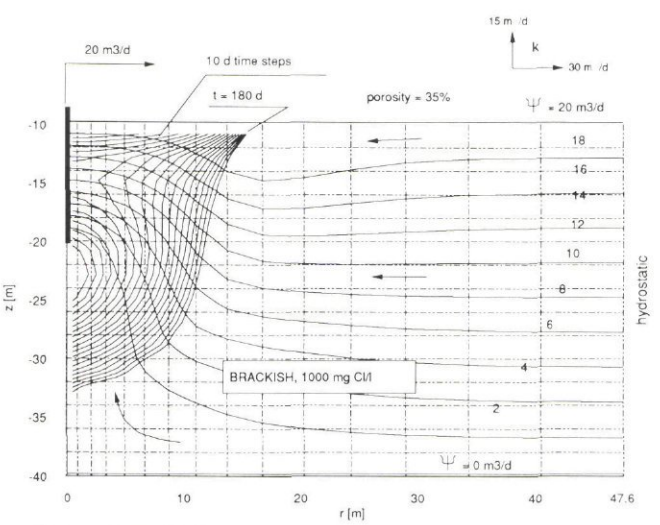
b. Rotatie van het grensvlak gedurende 180 dagen stilstand van de put.



c. Terugwinning van het gefiltreerde water met dezelfde put (20 m) en hetzelfde onttrekkingsdebiet (20 m3/d).



d. Terugwinning (30 m3/d) met een ondiepe put (10 m) bij gelijktijdige terugvoering van een deelstroom (10 m3/d, 0 mg/l) in de onderste 6 meter van het filter.



e. Terugwinning (20 m3/d) via een ondiepe put (10 m).

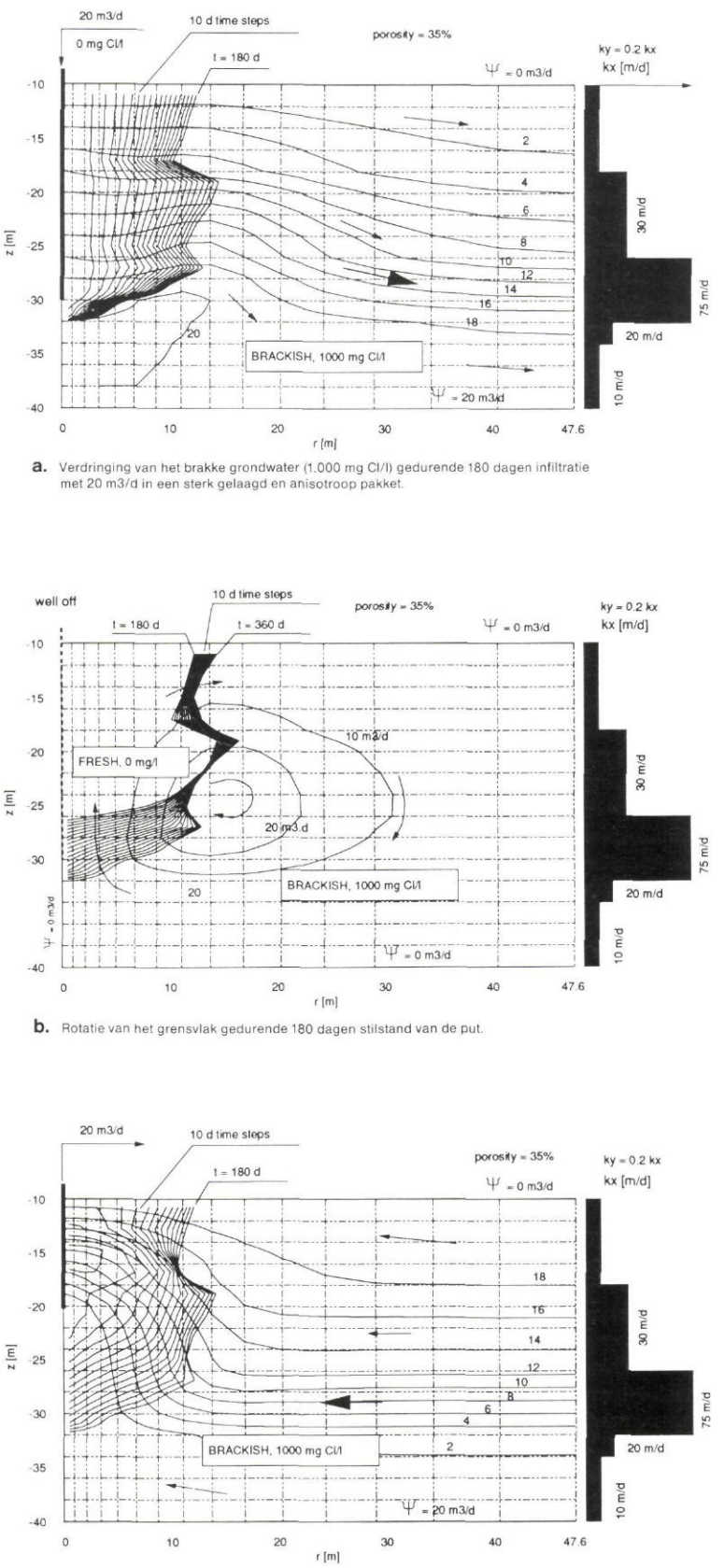
Afb. 14 - Radiaal symmetrische situatie met brak grondwater.

ingebracht, kan het brakke water op elke andere hoogte van opzij de put gaan binnenstromen. De precieze hoogte hangt af van de lengte van het onttrekkingsfilter, de gelaagdheid en de anisotropie van de bodem.

Zoals we in de laatste voorbeelden zagen, kan het rendement van de ondergrondse voorraadvorming van zoet water in een brakke of zoute aquifer door geëigende maatregelen behoorlijk worden opgevoerd. Ondergrondse voorraadvorming in brakke en zoute aquifers blijft echter een kritisch proces. De doorgaans slechts gedeeltelijk bekende heterogeniteit van het natuurlijke bodemmateriaal, de dispersie en een in grootte en richting onzekere natuurlijke grondwaterstroming zijn hieraan debet. Alleen wanneer het zoutgehalte in de aquifer van nature relatief lager is dan zeg enkele honderden mg Cl/l, zodat enkele tientallen procenten bijmenging niet cruciaal zijn, zal een dergelijke voorraadvorming in de ogen van de eigenaren succesvol kunnen zijn. Dit laatste is bijvoorbeeld bij ondergrondse regenwateropslag voor tuinderijen het geval, zolang de concentratie van het terug gewonnen water minder is dan 50 mg/l en op basis van dit criterium meer dan zeg 60% van het volume geïnfiltreerd water kan worden onttrokken. Is het zoutgehalte van het watervoerende pakket echter hoog, dan wordt het dichtheidseffect zo sterk, dat de voorraad bij onderbreking van infiltratie of winnen binnen dagen tot weken verdwijnt (onwinbaar tegen het plafond van de watervoerende laag wordt uitgespreid). Bovendien zal dan een praktisch niet te voorkomen kleine bijmenging van grondwater het gewonnen water onbruikbaar maken. Onder zulke omstandigheden kan het rendement van de ondergrondse voorraadvorming gemakkelijk tot ver onder de 50% zakken.

Conclusies

Een spreadsheet blijkt een effectief en goed hanteerbaar gereedschap voor het berekenen van stroomlijnen en verplaatsing van water met een variabele dichtheid in tweedimensionale vlakke, radiale, heterogene en anisotrope verticale doorsneden van de ondergrond.
Uit vergelijking met gepubliceerde voorbeelden en een analytische oplossing blijkt dat de rekenresultaten zeer nauwkeurig kunnen zijn. Andere voorbeelden geven inzicht in de snelheid waarmee grensvlakken zich ondergronds kunnen verplaatsen en in de verzilting van kostbare zoetwatervoorraden die op zal treden als gevolg van bepaalde op het eerste



Afb. 15 - Radiaal symmetrische gelaagde en sterk anisotrope situatie met brak grondwater.

gezicht plausibele voorraadvormingsmethoden.
De radiaal-symmetrische voorbeelden tonen het indringen van zoet water in een gelaagd pakket dat aanvankelijk met zout water gevuld is. Zij demonstreren de grote rol die de dichtheidsstroming daarbij speelt. Andere voorbeelden zijn geënt op de brakwater-situatie die kenmerkend is voor grote gebieden in het westen van ons land. Het blijkt dat ook bij brak water de dichtheidsstroming een belangrijke rol kan spelen. Tevens is gebleken dat terugwinning in alle gevallen veel aandacht verdient. De meest effectieve manier is waarschijnlijk terugwinning met een korter filter in het bovenste deel van het pakket. Dit geldt ook wanneer het pakket een zekere gelaagdheid en anisotropie heeft. Bij terugwinning met een kort filter kan het zoute water van opzij in plaats vanaf de onderzijde de put instromen.
De precieze hoogte en het moment waarop dat plaatsvindt hangen met name af van de gelaagdheid van de bodem, de anisotropie en lengte van het filter.
Ondanks deze mogelijkheden tot vergroting van het rendement van de voorraadvorming, blijft deze een onzekere zaak door de intensiteit van de dichtheidsstroming, het reeds sterk nadelige effect van een kleine bijmenging met zout grondwater en de inherente onzekerheid omtrent de precieze heterogeniteit van de ondergrond alsmede de richting en grootte van de natuurlijke grondwaterstroming. Voorlopig lijkt het essentieel dat diepinfiltratie plaats vindt in pakketten die althans binnen het gebied van de infiltratie- en winmiddelen geheel met zoet water zijn gevuld.
Ten slotte kan worden gesteld dat de rekenexercities op zichzelf het nodige kwantitatieve inzicht hebben verschaft en voor de praktijk relevante conclusies hebben opgeleverd.

Literatuur

Akker, C. van den (1982). *Numerical Analysis of the Stream Function in Plane Groundwater Flow.* Thesis, Delft, 130 p.
Josselin de Jong, G. de. (1977). *Review of vortex theory for multiple fluid flow.* Delft progress Report, 2, 225-236.
Huijboom, G. S. (1990). *Heeft diepinfiltratie de toekomst?* H_2O (23) 1990, nr. 9, 226-229.
Kooiman, J. W. en Emke, M. J. (1989). *Geo-hydrologische modellering van de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen Amsterdam.* H_2O (22), 1989, nr. 3, 81-85.
Maas, C. en Emke, M. J. (1989). *Het oplossen van regionale zoet/zout problemen met een gewoon grondwatermodel.* H_2O (22) 1989, nr. 3, 78-80.
Konikow, L. F. en Bredehoeft, J. D. (1978). *Computer model of two-dimensional solute transport and dispersion in ground water.* Techniques of Water-resources Investigations of the USGS, Chapter C2, Book 7, Automated Data Processing and Computations.
Olsthoorn, T. N. (1989). *Modellering met behulp van een spreadsheet . . . simulane stroming van zoet en zout grondwater.* H_2O (22) 1989, nr. 19 595-601.
Sanford, W. E. & Konikow, L. F. (1985). *A two-consitituent solute-transport model for ground water having variable denity.* Water-resources investigations report 85-4297. USGS.
Uffink, G. J. M. (1990). *Analysis of dispersion by the random walk method.* Thesis, Delft University, 150 pp.
Verruijt, A. (1980). *The rotation of a vertical interface in a porous medium.* Water Resources Research, Vol 16, No. 1, 239-240.

• • •

CRMH tegen verdere stijging grondwatergebruik voor drinkwater

Een verdere toename van de onttrekking van grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening is 'in zijn algemeenheid' ongewenst, zeker als dit leidt tot verdere verdroging. De Centrale Raad voor de Milieuhygiëne (CRMH) stelt dit in een ontwerp-advies over de nota Naar een glasheldere toekomst van milieuminister Alders, dat op 14 november werd behandeld.

De raad staat in meerderheid achter een door de Tweede Kamer aangenomen motie, die de regering verzoekt ervoor te zorgen dat het areaal verdroogde gebieden in het jaar tweeduizend met 25 procent vermindert ten opzichte van 1985.

De nota van Alders, die vooruitloopt op een beleidsplan voor de komende dertig jaar, stelt dat het verbruik van drink- en industriewater te veel stijgt. Daarom zal er een actieprogramma besparing worden opgezet. Dat zal mogelijk inhouden dat de tarieven voor drinkwater stijgen naarmate het verbruik toeneemt. De raad steunt dat, maar dringt aan op een duidelijke taakstelling, bijvoorbeeld stabilisatie van het waterverbruik in tien jaar.

De raad vindt verder dat de nota te veel gericht is op de zuiveringsmaatregelen en te weinig op het aanpakken van vervuiling bij de bron. Het maken van drinkwaterplannen is volgens de raad onmogelijk zonder te kijken naar andere sectoren als landbouw en industrie. (ANP)

Sandoz komt met Rotterdam vermindering lozingen overeen

Het Zwitserse chemieconcern Sandoz is met de gemeente Rotterdam overeengekomen de lozingen van koper en chroom in de Rijn door zijn fabrieken in Basel en Muttenz geleidelijk te verminderen. In de periode tot en met 1995 zal de chemiereus jaarlijks voor elk van beide stoffen de lozingen met tweeduizend kilo terugbrengen. Dat hebben Sandoz en het Gemeentelijk Havenbedrijf in Rotterdam begin november bekendgemaakt.
In 1994 wordt verder onderhandeld over mogelijke nieuwe afspraken. De overeenkomst leidt ertoe dat ten opzichte van de metingen van 1986 de nieuwe meetresultaten in de Rotterdamse haven voor beide stoffen met circa de helft afnemen.
De wethouder van milieuzaken, A. G. Verbeek-Ohr, beschouwt de overeenkomst als een stimulans voor het in 1984 door Rotterdam gestarte Project Schone Rijn (POR). Dat project moet er in 2002 toe leiden dat het havenslib schoon genoeg is om in zee te storten of op land op te slaan.
Jaarlijks wordt zo'n 23 miljoen kubieke meter zwaar verontreinigd slib uit de Rotterdamse haven en omringende vaarwegen gebaggerd. Dit slib wordt nu in een speciaal depot op de Maasvlakte gestort. Rotterdam streeft naar een vermindering van de lozingen van met name zware metalen met 70 à 80 procent om het havenslib schoon genoeg te krijgen. (ANP)

De Slufter op de Maasvlakte. (Foto Aeroview)