

r Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

NN31545.0814

INFILTRATIE VANUIT EEN ONDIEPE DRAIN IN EEN  
GROFZANDIG PAKKET MET ZEER DIEPE GRONDWATERSTANDEN

DEEL 1: RESULTATEN INFILTRATIEPROEF TE EPE

ir. D. Boels

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.



## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. PROEFOPZET	3
3. RESULTATEN	5
3.1. Infiltratiecapaciteit en stijghoogte in de drain	5
3.2. Verloop van de vochtspanningen	7
4. BEPALING VAN DE CONSTANTEN $K_0$ EN $\alpha$ UIT DE MEETGEGEVENS	11
4.1. De keuze van de maaswijdte voor de berekening van $K_0$ en $\alpha$	14
4.1.1. De maaswijdte in de onverzadigde zone	14
4.1.2. De maaswijdte in de verzadigde zone	17
4.2. Een rekenvoorbeeld en de waarden van $K_0$ en $\alpha$	19
5. CONCLUSIES	22
6. SAMENVATTING	23
LITERATUUR	25
LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN	26

## 1. INLEIDING

Rekening houdend met een hoger drinkwaterverbruik in het jaar 2000 dan ca. 4 miljard m<sup>3</sup> per jaar heeft het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening een concept technisch plan opgesteld, gebaseerd op een 20% hoger verbruik in het jaar 2000. Dit plan voorziet onder meer in de aanleg van nieuwe infiltratiegebieden op de Veluwe. Bij de Veluwe infiltratie gaan de gedachten uit naar een winning van totaal 500-1000 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, te leveren door winningseenheden met een capaciteit van + 100 miljoen m<sup>3</sup> per jaar (VERKERK, 1974).

Om de mogelijkheden van die infiltratie te bestuderen heeft minister Stuyt in 1972 de Commissie Infiltratie Veluwe geïnstalleerd. Deze commissie heeft als taak voor 1975 een advies uit te brengen of infiltratie in beginsel mogelijk is en zo ja waar en onder welke voorwaarden (RID, 1973).

Door het RID en VEWIN is de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe opgericht, die bijdraagt tot uitvoering van de onderzoeksprogramma's van de Commissie Infiltratie Veluwe. Onder deze technische werkgroep ressorteren een viertal ad-hoc groepen, waarvan de ad-hoc groep geohydrologie belast is met het doen van geohydrologisch onderzoek.

Om alle ter zake doende problemen te leren kennen wordt een ontwerp gemaakt voor een infiltratie-eenheid van 100 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, gesitueerd in het kroondomein bij Apeldoorn. Bij het ontwerp wordt aangenomen dat het infiltratiewater vergaand gezuiverd is (VERKERK, 1974), terwijl een systeem van infiltratie en onttrekking ontworpen is, waarbij de verdeling van de verblijftijd in de bodem van het opgepompte water vrijwel lineair is om aldus water van constante kwaliteit te verkrijgen (VERMEER, 1973). Bij dit systeem is het nodig dat het oppervlak van het infiltratiegebied verwaarloosbaar klein is ten opzichte van het oppervlak van het onttrekkingsgebied. Voorts dient

het infiltratiesysteem zodanig te zijn, dat een aerobe toestand in de bodem gehandhaafd blijft om eventuele organische verontreiniging te oxideren, zodat een nazuivering achterwege kan blijven (HRUBEC, 1973).

Voor een zuurstoftoevoer is een onverzadigde stroming gewenst. Uit berekeningen van BAKKER en WIND (1974) is gebleken, dat van een zuurstoftoevoer van betekenis slechts sprake kan zijn bij geringe infiltratiesnelheden (0,1-0,2 keer de doorlaatfaktor) en geringe breedten van de infiltratiesloten (0,5-6,7 m), terwijl de zuurstofbehoefte gering moet zijn (1-3 mg O<sub>2</sub> per liter water).

Bij een zuurstofbehoefte van 3 mg O<sub>2</sub> per 1 water, een doorlaatfaktor van 10 m.etm<sup>-1</sup> en een afstand van 12 m tussen de infiltratiesloten kan de infiltratiecapaciteit niet groter zijn dan 1 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.etm<sup>-1</sup>. Het infiltratie-oppervlak zou in dat geval minstens 27 ha moeten zijn bij een capaciteit van 100 miljoen m<sup>3</sup> per jaar, waarmee niet meer wordt voldaan aan de voorwaarde dat het oppervlak van het infiltratiegebied relatief gering is. Van een zuurstofvoorziening tijdens de infiltratie moet derhalve weinig verwacht worden.

Daar er de vrees bestaat dat door 'grootscheepse infiltraties op de Veluwe de oorzaak van het relatief ongestoord karakter van de Veluwe, watergebrek, zou worden weggenomen', waardoor 'grote oppervlakten aan ongerepte natuurgebieden zouden verdwijnen', waarmee dan 'het laatste en grootste bolwerk tot overleven valt in de botsing produktie/consumptie enerzijds en ecologische waarden anderzijds' (DE SOET, 1973), is het nodig na te gaan in hoeverre ondiep gelegen infiltratiebronnen invloed uitoefenen op de vochthuishouding van de bovenste bodemlagen.

Een infiltratieproef werd uitgevoerd op het terrein van de W.M.G. te Epe in opdracht van het RID voor de ad hoc groep geohydrologie van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe om enerzijds de geohydrologische eigenschappen te meten, die de grootte van de infiltratiesnelheid bepalen en om anderzijds de invloed op de vochthuishouding van de bodem in de omgeving van de infiltratiebron vast te stellen.

In het hierna volgend verslag worden de resultaten van de infiltratieproef behandeld.

## 2. PROEFOPZET

Een geperforeerde plastic drain met een diameter van 0,05 m en een lengte van 20 m werd op een diepte van 0,50 m -mv gelegd. De watertoevoer, die continu gemeten werd, vond plaats via de twee uiteinden van de drain. Een peilbuis was halverwege de drain aangebracht om het niveau in de drain continu te kunnen meten. De watertoevoer werd zoveel mogelijk constant gehouden. Op diepten van 0,25-4,5 m -mv en afstanden van de drain van 0,15-4,5 m werden in totaal een 40-tal tensiometers aangebracht. De tensiometers waren verbonden met kwikmanometers, die dagelijks, behalve de zaterdagen en zondagen, werden afgelezen.

In fig. 1 is de tensiometeropstelling schematisch weergegeven en in fig. 2 de situering van de tensiometers ten opzichte van de infiltratiedrain.

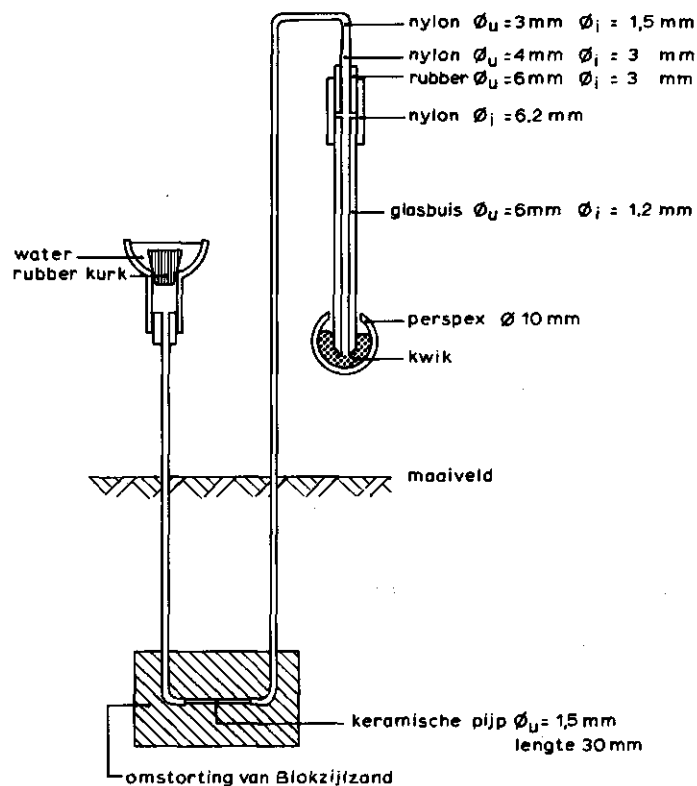


Fig. 1. Schema tensiometeropstelling

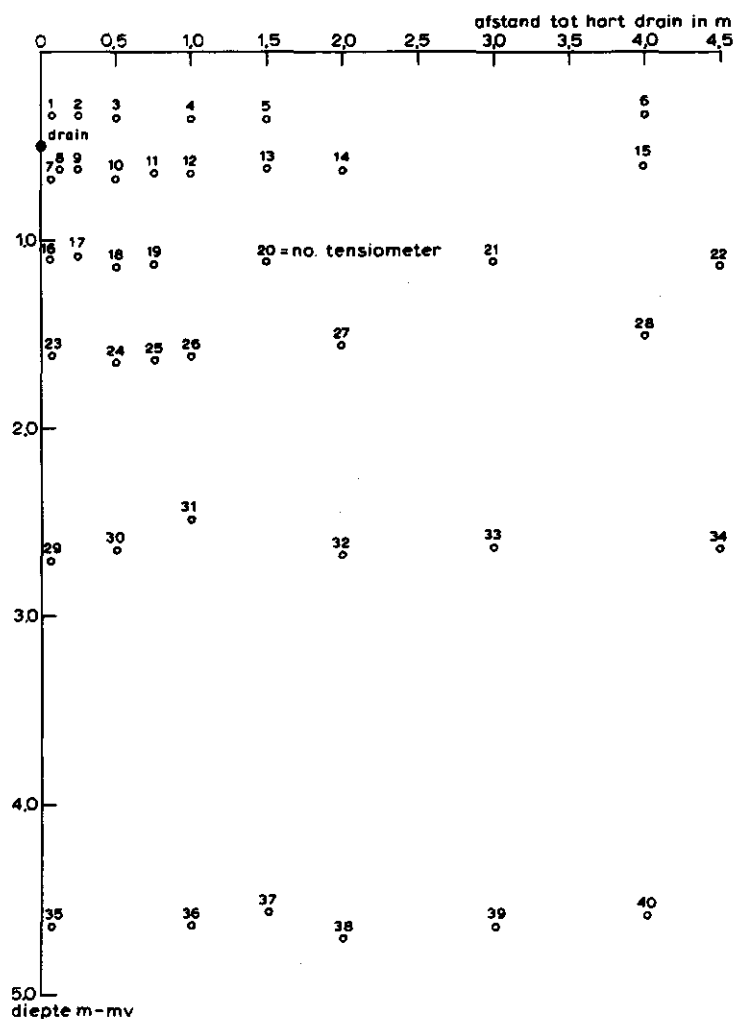


Fig. 2. Situering van de tensiometers

In een raai loodrecht op de lengterichting van de drain werden grondwaterstandsbuizen geplaatst op diepten van 2,70 m en 4,5 m -mv op afstanden van de drains van 1, 2 en 4 m. Incidenteel werden hierin peilingen verricht.

Met behulp van een potentiaalsonde werden potentialen gemeten op verschillende diepten en afstanden ten opzichte van de drain. Een gedetailleerd inzicht in het verloop van de potentialen rond de drain en in de luchtintredewaarde van de bodem werd hiermee verkregen. De luchtintredewaarde is die onderdruk in het bodemvocht, waar-

bij de grootste poriën leeglopen en er juist lucht in de bodem dringt.

De proef werd uitgevoerd op het terrein van de W.M.G. te Epe. De grondsoort daar is grofzandig met ondiep in het profiel voorkomende grintlagen (stuwwal). De aanvoerleidingen, debietsregulatie en debietmeting werden aangelegd respectievelijk verzorgd door de W.M.G. Tensiometeraflezingen werden verzorgd door medewerkers van het pompstation te Epe.

### 3. RESULTATEN

#### 3.1. Infiltratie capaciteit en stijghoogte in de drain

Er werd met een infiltratiecapaciteit van  $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{etm}^{-1}$  per m'

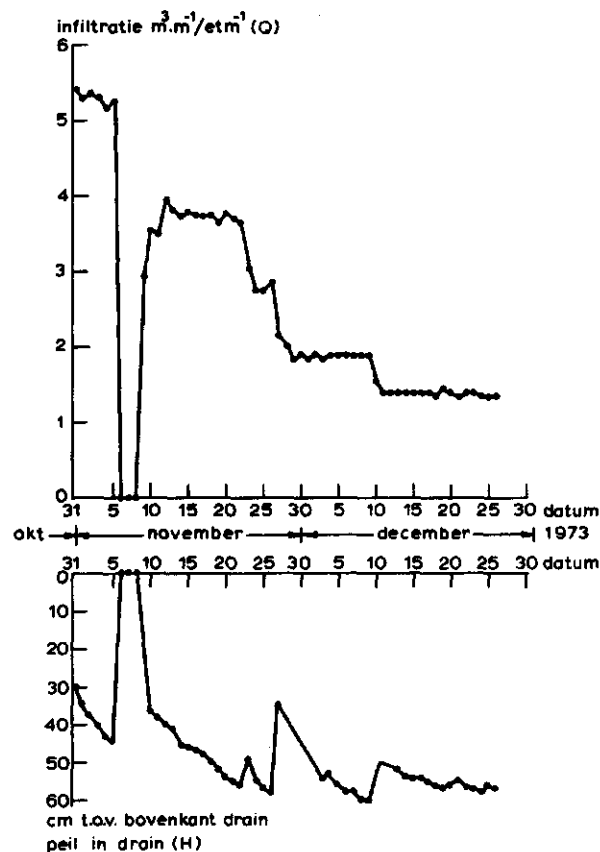


Fig. 3. Verloop van de infiltratiecapaciteit  $Q$  en de stijghoogte  $H$  in de drain

drain begonnen. De daarbij behorende stijghoogte in de drain was 0,30 m ten opzichte van de bovenkant van de drain. Het viel op, dat de stijghoogte toenam en wel tot 0,44 m na 6 dagen infiltreren (fig. 3). Tengevolge van lekkages in de aanvoerleiding was het noodzakelijk de infiltratie 3 dagen te onderbreken, waarna de infiltratiecapaciteit op  $3,75 \text{ m}^3 \cdot \text{etm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  werd gefixeerd gedurende 2 weken. De stijghoogte in de drain liep in die periode op van 0,36 m tot 0,58 m. De capaciteit werd daarna op  $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{etm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  ingesteld om te voorkomen, dat het water vanuit de drainsleuf over het oppervlak zou wegvloeien.

De stijghoogte in de drain bleef toenemen en 40 dagen na het begin van de infiltratie werd de capaciteit teruggebracht op  $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{etm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . De stijghoogte in de drain liep toen nog op van 0,50 m tot 0,68 m.

De infiltratie werd 57 dagen na het begin gestopt. De toenemende

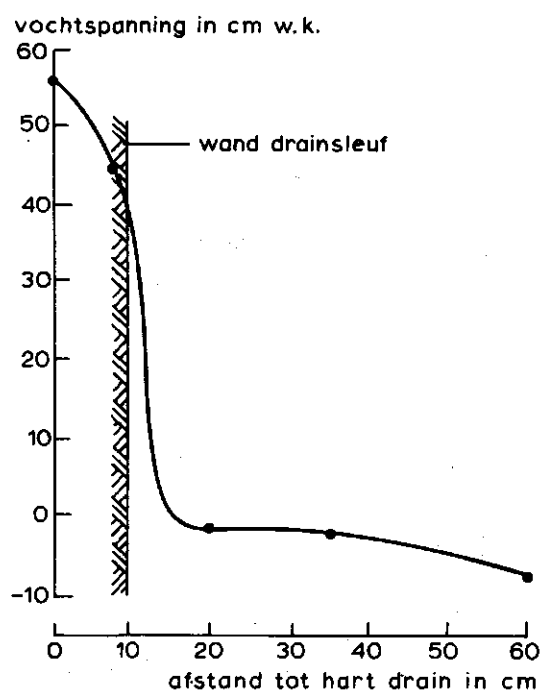


Fig. 4. Verloop van de vochtspanning in de omgeving van de wand van de drainsleuf op drainniveau



stijghoogte wordt veroorzaakt door verstoppingen in de bodem. Om de verstopping te lokaliseren werd met behulp van een potentiaalsonde potentialen in de directe omgeving van de drain gemeten (fig. 4). Uit de metingen blijkt, dat de potentiaal een duidelijke sprong toont in de nabijheid van de wand van de drainsleuf (potentiaalsprong is ongeveer 0,45 m). Hieruit kan gekonkludeerd worden, dat de verstopping van de bodem in of in de nabijheid van de wand van de drainsleuf optreedt.

Een nader onderzoek naar de oorzaak van de verstopping is niet gedaan. Wel gebeurt dit in een proefopstelling van het RID te Leiduin, waar soortgelijke verschijnselen zijn waargenomen (HRUBEC, 1973).

### 3.2. Verloop van de vochtspanningen

Het verloop van de vochtspanning op enkele plekken is weergegeven in fig. 5. De vochtspanning wordt bepaald door de stroomsnelheid en de gradiënt van de totale potentiaal. Daar geldt:

$$v_z = -K \left( \frac{d\Psi}{dz} + 1 \right) \quad \text{en}$$

$$K = K_0 e^{\alpha(\Psi-E)} \quad (\text{RIJTEMA, 1965})$$

is, indien op diepte  $z$  geldt:  $\frac{d\Psi}{dz} = c(z)$  en  $v_z \neq 0$

$$\Psi(z) = E + \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{-v_z}{(c(z)+1)K_0} \right\} \quad (1)$$

Bij geringe stroomsnelheden wordt de term  $\frac{-v_z}{(c(z)+1)K_0}$  zeer klein, zodat de logaritme negatief wordt en de vochtspanning laag is (negatief), terwijl bij hoge stroomsnelheden deze term  $>1$  kan worden, waardoor de vochtspanning hoger wordt (minder negatief). Een voorbeeld van het verband tussen vochtspanning en stroomsnelheid is in tabel 1 gegeven voor:  $E = 8 \text{ cm w.k.}$ ,  $\alpha = 0,3 \text{ cm}^{-1}$ ,  $K_0 = 10 \text{ m.etm}^{-1}$  en  $c(z) = 0$ .

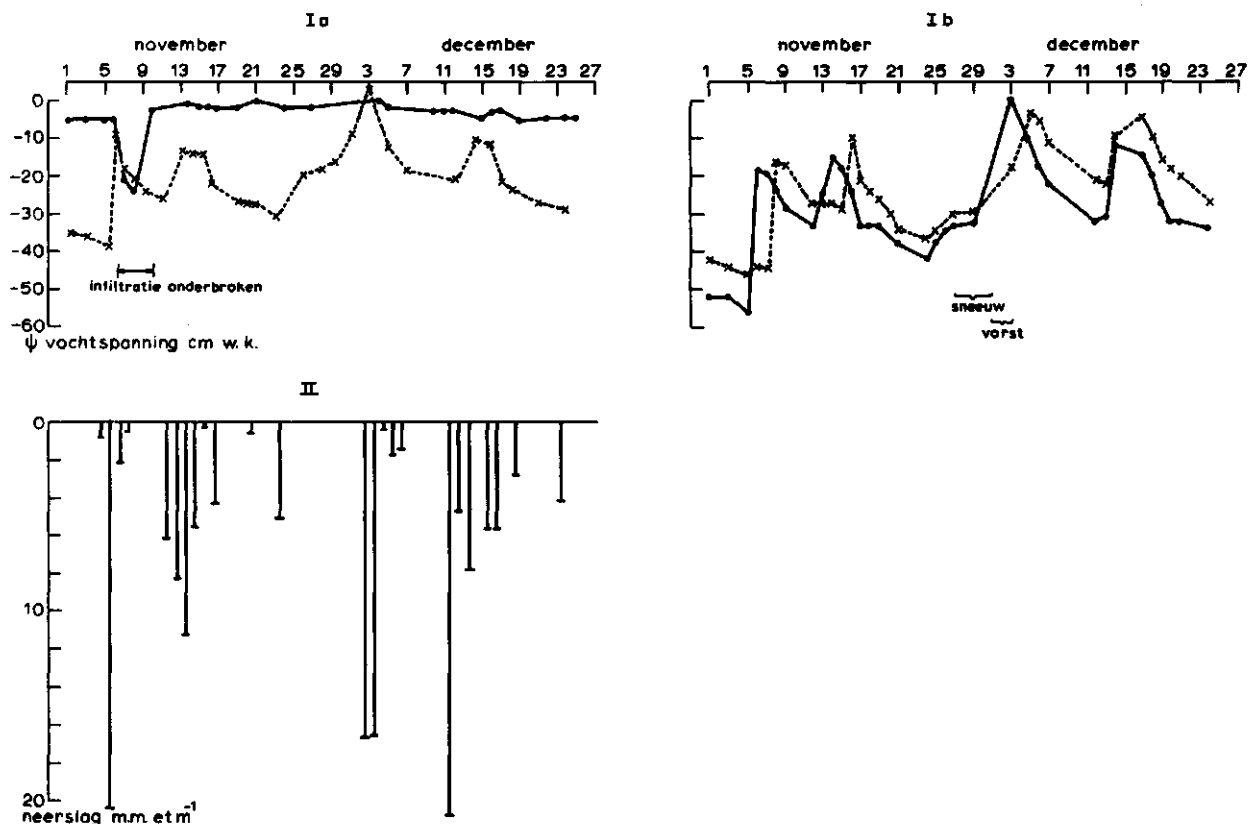


Fig. 5. I. Verloop van de vochtspanningen  $\Psi$

- a. op 0,35 m -mv en 0,15 m van de drain  
 op 0,35 m -mv en 1,5 m van de drain
- b. op 0,30 m -mv en 4 m van de drain  
 op 0,63 m -mv en 4 m van de drain

II. Verloop van de neerslag

Tabel 1. Vochtspanning in afhankelijkheid van stroomsnelheid voor  
 $\alpha = 0,3 \text{ cm}^{-1}$ ,  $E = -8 \text{ cm}$ ,  $K_0 = 10 \text{ m.etm}^{-1}$  en  $c(z) = 0$

$v(z)$ :	0,001	0,01	0,1	1,0	2,0	$\text{m.etm}^{-1}$
$\Psi(z)$ :	-46	-31	-23	-15	-13	$\text{cm w.k.}$
$ \frac{\Delta\Psi}{\Delta v} $	1660	89	9	2		$\text{cm.m}^{-1}.\text{etm}$

Uit tabel 1 blijkt dat de vochtspanningsverandering ( $\frac{\Delta\Psi}{\Delta v}$ ) zeer groot is ten gevolge van veranderingen in de stroomsnelheid bij lage stroomsnelheden en slechts zeer gering tot verwaarloosbaar bij hoge stroomsnelheden.

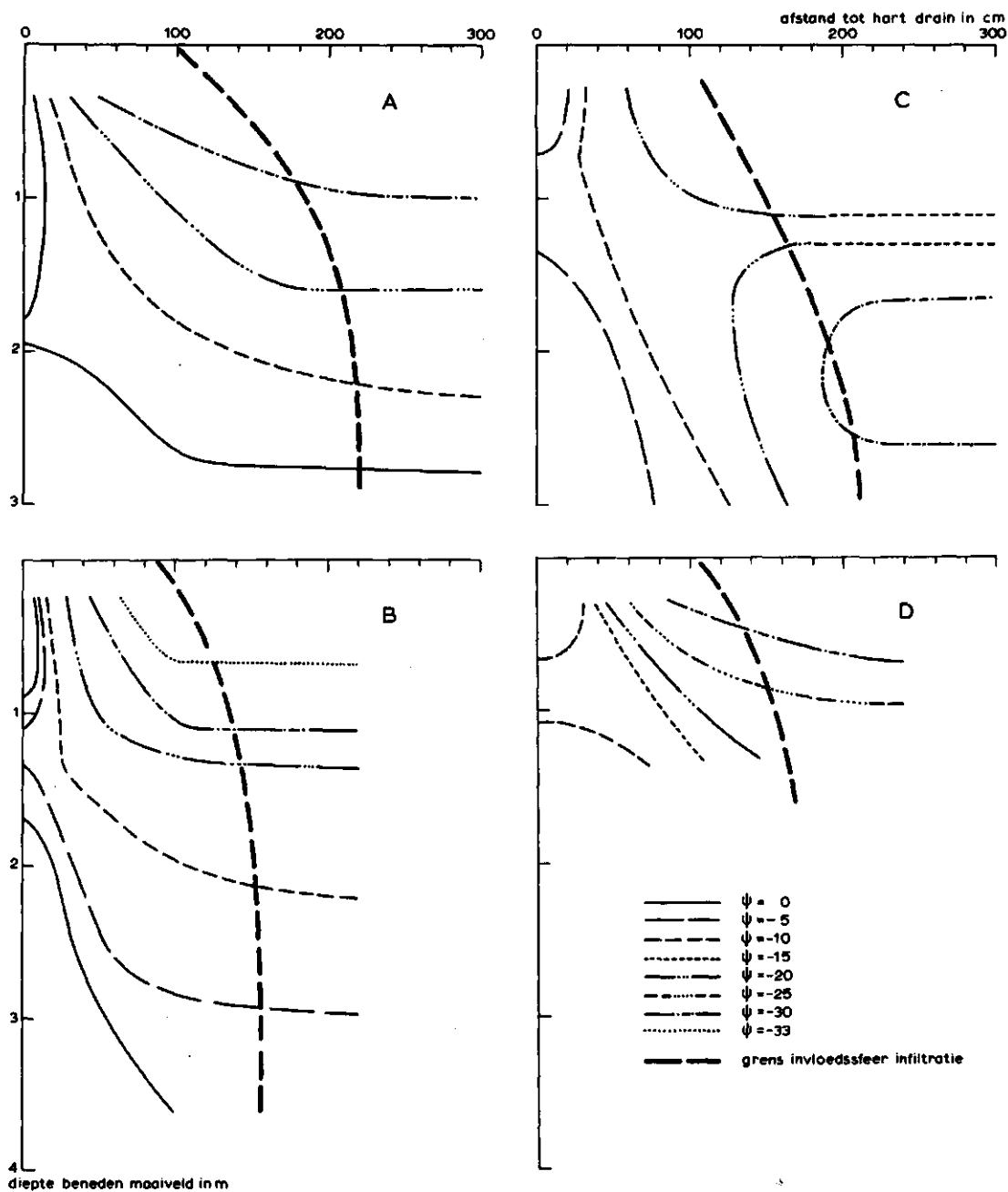


Fig. 6. Vochtspanningsverdeling onder de infiltratiedrain

a.	1/11-'73:	infiltratiecapaciteit	$5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$
b.	5/11-'73:	"	5,3 "
c.	19/11-'73:	"	3,75 "
d.	12/12-'73:	"	1,4 "

De praktische gevolgen hiervan zijn, dat de vochtspanning op die plekken, waar invloed van de infiltratie merkbaar is, niet of nauwelijks meetbaar beïnvloed zal worden door neerslag. De vochtspanning zal echter buiten de invloedssfeer van de infiltratie wel op de neerslag reageren.

Uit fig. 5 blijkt dat de vochtspanningen op 1,5 m en 4 m van de drain op diepten van respectievelijk 0,35, 0,30 en 0,63 m -mv duidelijk op de neerslag reageren, terwijl de vochtspanning op 0,15 m van de drain en 0,35 m diep niet door de neerslag wordt beïnvloed.

De invloedssfeer van de infiltratie is vast te stellen uit de vochtspanningsverdeling rond de drain. De grens van het beïnvloede gebied wordt bepaald door de lijn door punten waar geldt:  $\frac{d\psi}{dx} = 0$ . Immers er zal een horizontale stroming optreden indien deze gradiënt niet 0 is. In dat geval is er nog sprake van een beïnvloeding door de infiltratie.

In de figuren 6a t/m d is de vochtspanningsverdeling weergegeven. Globaal is de grens van het beïnvloede gebied weergegeven. Indien wordt aangenomen, dat de beïnvloeding van het vochtgehalte alleen van betekenis kan zijn in de laag 0-50 cm -mv, dan kan uit fig. 6 a t/m d afgelezen worden, dat het beïnvloed oppervlak per m' niet groter is dan  $\pm 2,50 \text{ m}^2$ . Voorts valt uit fig. 6 af te lezen, dat de lijnen van gelijke vochtspanning deels elliptisch rond de drains verlopen. Theoretische berekening van het verloop van deze lijnen tonen hetzelfde beeld (RAATS, 1970). Eveneens is uit fig. 6 af te leiden, dat het profiel droger wordt wanneer de infiltratiesnelheid afneemt (vochtspanningen rond de drain nemen duidelijk af, worden meer negatief, bij dalende infiltratiecapaciteit).

Het voorkomen van een lijn  $\psi = 0$  op een diepte van 2,80 m -mv (fig. 6a) moet toegeschreven worden aan een tijdelijke schijn grondwaterspiegel, veroorzaakt door een harde verkitte laag op een diepte van  $\pm 30 \text{ m}$  -mv en de aanvankelijk hoge infiltratiecapaciteiten ( $\pm 9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$ ).

#### 4. BEPALING VAN DE CONSTANTEN $K_0$ EN $\alpha$ UIT DE MEETGEGEVENS

In de stationaire toestand is het debiet door elke horizontale doorsnede onder de infiltratiedrain gelijk:

$$\int_{-\infty}^{\infty} v_z dx = \text{constant}$$

De infiltratiedrain ligt in  $x = 0$ .

Daar het gebied waardoorheen het infiltratiewater percoleert beperkte afmetingen heeft, terwijl in dat gebied het infiltratiedebiet aanzienlijk groter is dan het debiet tengevolge van de neerslag, geldt:

$$\int_{-L}^L v_z dx = q$$

Het debiet  $q$  door een willekeurige horizontale doorsnede wordt bepaald door stroming in de verzadigde en de onverzadigde stroming. Het debiet door de verzadigde zone is:

$$\int_{-x_s}^{x_s} -K_0 \left( \frac{d\psi}{dz} + 1 \right) dx$$

en door de onverzadigde zone:

$$\int_{-L}^{-(L-x_s)} K_0 e^{\alpha(\psi-E)} \left( \frac{d\psi}{dz} + 1 \right) dx + \int_{L-x_s}^L K_0 e^{\alpha\psi} \left( \frac{d\psi}{dz} + 1 \right) dx$$

Het capillair geleidingsvermogen is gedefinieerd als (RIJTEMA, 1965):

$$K = K_0 e^{\alpha(\psi-E)} \quad \text{voor } E > \psi$$

Daar de vochtspanningen slechts op een beperkt aantal punten gemeten zijn, is in een willekeurige horizontale doorsnede de gradiënt van de vochtspanning in verticale richting niet nauwkeurig bekend, zodat de integraal niet voldoende nauwkeurig bepaald kan worden uit de meetgegevens. Het is daarom beter om het gemiddeld debiet tussen

twee doorsneden te berekenen.

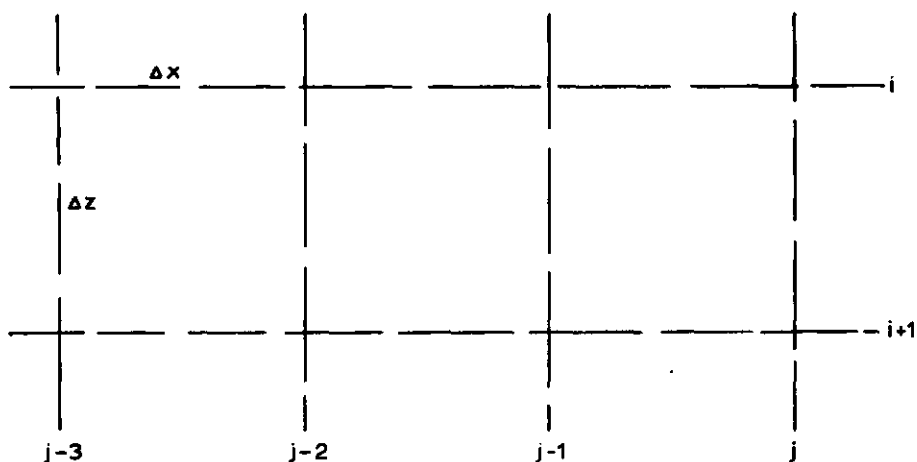


Fig. 7. Voorstelling van een verticale doorsnede door middel van een ruitennet

De gemiddelde stroomsnelheid tussen twee punten  $(i,j)$  en  $(i+1,j)$ , waar vochtspanningen heersen van respectievelijk  $\psi_{i,j}$  en  $\psi_{i+1,j}$  is, indien de grond verzadigd is:

$$\bar{v}_{z,s} = -K_o \left( \frac{\psi_{i,j} - \psi_{i+1,j}}{\Delta z} + 1 \right) \quad , \quad \psi \geq E$$

en indien de grond onverzadigd is (BOELS, 1973):

$$\bar{v}_{z,u} = \frac{e^{\alpha \Delta z} \cdot K_{i,j} - K_{i+1,j}}{1 - e^{\alpha \Delta z}} \quad , \quad \psi < E$$

Het gemiddeld debiet in verticale richting in een gebiedje begrensd door de horizontale vlakken  $i$  en  $(i+1)$  en de verticale vlakken  $j$  en  $(j+1)$  is in de verzadigde zone:

$$\bar{q}_{i,j,s} = -K_o \left( \frac{\psi_{i,j} + \psi_{i+1,j} + \psi_{i,j+1} + \psi_{i+1,j+1}}{2\Delta z} + 1 \right) \Delta x$$

indien  $\Delta x$  zodanig gekozen wordt, dat de vochtspanning in horizontale

richting tussen de punten (i,j) en (i,j+1) en de punten (i+1,j) en (i+1,j+1) vrijwel lineair verloopt.

De vochtspanning in een punt tussen (i,j) en (i,j+1) op afstand x van (i,j) is:

$$\psi_{i,x} = \psi_{i,j} + \frac{\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j}}{\Delta x} \cdot x$$

De verticale snelheid tussen de punten (i,x) en (i+1,x) in de onverzadigde zone is:

$$\bar{v}_{z,u} = \frac{e^{-\alpha E}}{1 - e^{-\alpha \Delta z}} \left\{ e^{\alpha(\Delta z + \psi_{i,j})} \cdot \frac{\alpha}{\Delta x} (\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j})^x - e^{\alpha \cdot \psi_{i+1,j}} \cdot \frac{\alpha}{\Delta x} (\psi_{i+1,j+1} - \psi_{i+1,j})^x \right\}$$

en het gemiddeld debiet in de onverzadigde zone voor:

$\{\bar{v}_{z,u} | x; 0 \leq x \leq \Delta x\}$  is:

$$\bar{q}_{i,j,u} = \frac{K_o \cdot e^{-\alpha E}}{(1 - e^{-\alpha \Delta z})} \cdot \Delta x \left\{ e^{\alpha \Delta z} \frac{e^{\alpha \cdot \psi_{i,j+1}} - e^{\alpha \cdot \psi_{i,j}}}{\alpha(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j})} - \frac{e^{\alpha \cdot \psi_{i+1,j+1}} - e^{\alpha \cdot \psi_{i+1,j}}}{\alpha(\psi_{i+1,j+1} - \psi_{i+1,j})} \right\} \quad (2)$$

De limiet van de term

$$\frac{e^{\alpha \cdot \psi_{i,j+1}} - e^{\alpha \cdot \psi_{i,j}}}{\alpha(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j})} = e^{\alpha \cdot \psi_{i,j}}$$

indien  $(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j}) \approx 0$

De grootheden  $K_o$  en  $\alpha$  kunnen uit de gemeten vochtspanningen en het infiltratiedebiet berekend worden mits E bekend is. De procedure is dan dat het gemiddeld debiet door minstens twee horizontale doorsneden berekend wordt voor verschillende waarden van  $\alpha$ . De waarde van  $K_o$  doet niet terzake, daar deze wegvalt in de gelijkstelling van  $\Sigma \bar{q}_{i,j} = \Sigma \bar{q}_{i+1,j}$ . Door  $\frac{1}{K_o} \Sigma \bar{q}_{i,j}$  en  $\frac{1}{K_o} \Sigma \bar{q}_{i+1,j}$  grafisch tegen  $\alpha$  uit te zetten wordt een snijpunt gevonden waar de debieten gelijk zijn. De

waarde van  $\alpha$  kan uit de grafiek worden afgelezen.

De waarde van  $K_0$  wordt bepaald uit de verhouding tussen het gemeten en het berekend infiltratiedebiet:

$$K_0 = \frac{q}{\frac{1}{K_0} \Sigma \bar{q}_{i,j}} \quad (3)$$

(N.B.  $\Sigma \bar{q}_{i,j} = \Sigma \bar{q}_{i,j,s} + \Sigma \bar{q}_{i,j,u}$ )

#### 4.1. De keuze van de maaswijdte voor de berekening van $K_0$ en $\alpha$

##### 4.1.1. De maaswijdte in de onverzadigde zone

Bij de berekening van het gemiddeld debiet door een horizontaal vlak in een gebiedje, begrensd door de horizontale vlakken  $i$  en  $(i+1)$  en de verticale vlakken  $j$  en  $(j+1)$  is er van uitgegaan, dat de vochtspanning tussen de knooppunten  $(i,j)$  en  $(i,j+1)$  en verder tussen  $(i+1,j)$  en  $(i+1,j+1)$  een lineaire functie was van  $x$ . Indien dit niet het geval is, wordt er een fout gemaakt in het berekend debiet.

Stel het vochtspanningsverloop tussen de punten  $x_1$  en  $x_3$  in het vlak  $i$  wordt benaderd door de curve AGC, terwijl het reël verloop volgens curve ABC is (fig. 8). Stel voorts, dat de benadering van de

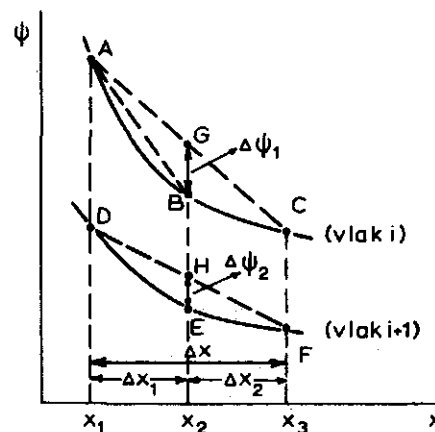


Fig. 8. Schematisch verband tussen vochtspanning  $\Psi$  en afstand tot drain ( $x$ ) op 2 verschillende diepten, resp.  $i$  en  $(i+1)$



curve ABC door de lijnstukken AB en BC voldoende nauwkeurig is.

De vochtspanning tussen de punten  $x_1$  en  $x_3$  in het vlak (i+1) verloopt volgens de curve DEF, terwijl deze curve door DHF benaderd wordt, terwijl een goede benadering door de lijnstukken DE en EF zou zijn.

Het gemiddeld benaderd vertikaal debiet in het gebied begrensd door de vlakken i en (i+1) en voorts door de vlakken  $x_1$  en  $x_3$  is:

$$\bar{q}_1 = -\frac{K_o e^{-\alpha E}}{1-e^{\alpha \Delta z}} \cdot \Delta x \left\{ e^{\alpha \Delta z} \cdot \frac{e^{\alpha \Psi_C} - e^{\alpha \Psi_A}}{\alpha(\Psi_C - \Psi_A)} - \frac{e^{\alpha \Psi_F} - e^{\alpha \Psi_D}}{\alpha(\Psi_F - \Psi_D)} \right\}$$

Nu is

$$\Psi_B = \Psi_A + \frac{\Psi_C - \Psi_A}{\Delta x} \cdot \Delta x_1 - \Delta \Psi_1$$

en

$$\Psi_E = \Psi_D + \frac{\Psi_F - \Psi_D}{\Delta x} \cdot \Delta x_1 - \Delta \Psi_2$$

Het reëel debiet door het gedefinieerd gebiedje is:

$$\bar{q}_r = \frac{-K_o e^{-\alpha E}}{1-e^{\alpha \Delta z}} \left[ \Delta x_1 \left\{ e^{\alpha \Delta z} \cdot \frac{e^{\alpha(\Psi_A + \frac{\Psi_C - \Psi_A}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_1)} - e^{\alpha \Psi_A}}{\alpha(\frac{\Psi_C - \Psi_A}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_1)} - \frac{e^{\alpha(\Psi_D + \frac{\Psi_F - \Psi_D}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_2)} - e^{\alpha \Psi_D}}{\alpha(\frac{\Psi_F - \Psi_D}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_2)} \right\} + \Delta x_2 \left\{ e^{\alpha \Delta z} \cdot \frac{e^{\alpha \Psi_C} - e^{\alpha(\Psi_A + \frac{\Psi_C - \Psi_A}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_1)}}{\alpha(\Psi_C - \Psi_A - \frac{\Psi_C - \Psi_A}{\Delta x} \Delta x_1 + \Delta \Psi_1)} - \frac{e^{\alpha \Psi_F} - e^{\alpha(\Psi_D + \frac{\Psi_F - \Psi_D}{\Delta x} \Delta x_1 - \Delta \Psi_2)}}{\alpha(\Psi_F - \Psi_D - \frac{\Psi_F - \Psi_D}{\Delta x} \Delta x_1 + \Delta \Psi_2)} \right\} \right]$$

Het verschil tussen het benaderd en het reëel debiet is, indien  
 $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \frac{1}{2} \Delta x$

$$\begin{aligned} \bar{q}_1 - \bar{q}_r = \frac{-K_o e^{-\alpha E} \cdot \Delta x}{1 - e^{-\alpha \Delta z}} & \left[ \frac{e^{\alpha \Delta z} \cdot e^{\alpha \psi_C}}{\alpha(\psi_C - \psi_A)} \left\{ 1 - \frac{(\psi_C - \psi_A)}{\psi_C - \psi_A + 2\Delta\psi_1} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\alpha}{2}(\psi_C - \psi_A + 2\Delta\psi_1)} \right) \right\} \right. \\ & - \frac{e^{\alpha \Delta z} \cdot e^{\alpha \psi_A}}{\alpha(\psi_C - \psi_A)} \left\{ 1 - \frac{\psi_C - \psi_A}{\psi_C - \psi_A - 2\Delta\psi_1} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\alpha}{2}(\psi_A - \psi_C - 2\Delta\psi_1)} \right) \right\} \\ & - \frac{e^{\alpha \psi_F}}{\alpha(\psi_F - \psi_D)} \left\{ 1 - \frac{\psi_F - \psi_D}{\psi_F - \psi_D + 2\Delta\psi_2} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\alpha}{2}(\psi_F - \psi_D + 2\Delta\psi_2)} \right) \right\} \\ & \left. + \frac{e^{\alpha \psi_D}}{\alpha(\psi_F - \psi_D)} \left\{ 1 - \frac{\psi_F - \psi_D}{\psi_F - \psi_D - 2\Delta\psi_2} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{\alpha}{2}(\psi_D - \psi_F + 2\Delta\psi_2)} \right) \right\} \right] \end{aligned}$$

Stel:  $\psi_A = \psi_{i,j}$                        $\psi_D = \psi_{i+1,j}$   
 $\Delta\psi_1 = \epsilon_i$                                $\Delta\psi_2 = \epsilon_{i+1}$   
 $|\psi_C - \psi_A| = n|\epsilon_i|$                $|\psi_F - \psi_D| = m|\epsilon_{i+1}|$

Daar nu bij waarden van  $\alpha > 0,02 \text{ m}^{-1}$  en waarden van  $\Delta z > 0,20 \text{ m}$  de term  $\frac{e^{\alpha \psi_F} - e^{\alpha \psi_D}}{\alpha(\psi_F - \psi_D)}$  verwaarloosbaar is ten opzichte van de term

$e^{\alpha \Delta z} \cdot \frac{e^{\alpha \psi_C} - e^{\alpha \psi_A}}{\alpha(\psi_C - \psi_A)}$  geldt bij benadering:

$$\frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_r}{q_1} \approx \frac{e^{\pm n \epsilon_i}}{e^{\pm n \epsilon_{i-1}}} \left\{ 1 - \frac{\pm n}{\pm n + 2} \left( 1 - e^{-\frac{\pm n + 2}{2} \cdot \alpha \cdot \epsilon_i} \right) \right\} - \left\{ 1 - \frac{\pm n}{\pm n - 2} \left( 1 - e^{-\frac{2 \pm n}{2} \cdot \alpha \cdot \epsilon_i} \right) \right\} \quad (4)$$

De keuze van de maasbreedte wordt dus bepaald door de verhouding tussen het verschil in de vochtspanningen in de bovenste knooppunten van het netwerk en het verschil in de benaderde en de gemeten vochtspanning tussen die knooppunten.

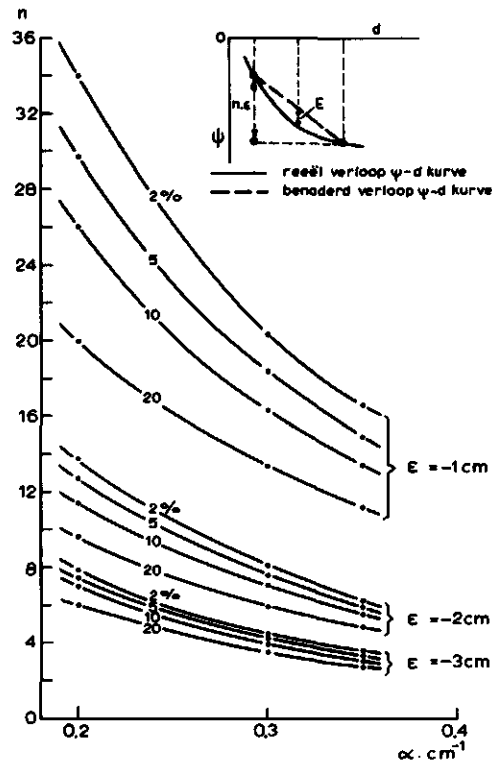


Fig. 9. De fout in het benaderd debiet, afhankelijk van de afwijking ( $\epsilon$ ) tussen reële en benaderde vochtspanning midden tussen twee knooppunten, de verhouding ( $n$ ) tussen  $\epsilon$  en het verschil in vochtspanning op de knooppunten en de constante  $\alpha$

In fig. 9 is de samenhang tussen de constante  $\alpha$ , het verschil tussen de reële en benaderde vochtspanning midden tussen twee knooppunten ( $\epsilon$ ) en het verschil tussen de vochtspanning op de twee knooppunten ( $n \cdot \epsilon$ ) weergegeven.

#### 4.1.2. De maaswijdte in de verzadigde zone

Het benaderd gemiddeld debiet door  $(x_3 - x_1)$  is (fig. 8):

$$\bar{q}_1 = -K_0 \left( \frac{\psi_A - \psi_D + \psi_C - \psi_F}{2\Delta z} + 1 \right) (x_3 - x_1)$$

onder aanname dat de vochtspanning tussen A en C en tussen D en F lineair verloopt:

$$\psi_{i,x} = \psi_A + \frac{\psi_C - \psi_A}{x_3 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

$$\psi_{i+1,x} = \psi_D + \frac{\psi_F - \psi_D}{x_3 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

Indien

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \frac{1}{2} \Delta x = \frac{1}{2} (x_3 - x_1) \text{ en}$$

$$\psi_B = \psi_G - \Delta \psi_1 = \psi_A + \frac{\psi_C - \psi_A}{2} - \Delta \psi_1$$

$$\psi_E = \psi_H - \Delta \psi_2 = \psi_D + \frac{\psi_F - \psi_D}{2} - \Delta \psi_2$$

is het reëel debiet door  $(x_3 - x_1)$  voldoende benaderd door

$$\bar{q}_r = -K_o \left\{ \frac{\psi_A - \psi_D + \psi_C - \psi_F + \Delta \psi_2 - \Delta \psi_1}{2\Delta z} + 1 \right\} \cdot \Delta x$$

Nu is:

$$\frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_r}{q_1} = \frac{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}{\psi_A - \psi_D + \psi_C - \psi_E + 2\Delta z}$$

Indien  $\Delta z$  niet al te groot genomen wordt (0,25 m) is  $(\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2)$  zeer klein, in de berekeningen van  $K_o$  en  $\alpha$  over het algemeen niet groter dan 0,01-0,02 m, zodat de fout in het benaderd gemiddeld verzadigd debiet, gebaseerd op de meetgegevens, <5% is. De grootste fout wordt echter gemaakt indien:  $\psi_A - \psi_D \approx \psi_i - \psi_E = 0$ , dan is:

$$\frac{\bar{q}_1 - \bar{q}_r}{q_1} \approx \frac{\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2}{2\Delta z} \cdot \gamma$$

De keuze van  $\Delta x$  wordt dan zodanig gedaan dat

$$(\Delta \psi_1 - \Delta \psi_2) \leq 2\gamma \Delta z$$

#### 4.2. Een rekenvoorbeeld en de waarden van $K_0$ en $\alpha$

In het navolgende wordt aan de hand van een voorbeeld gedemonstreerd hoe de waarden van  $K_0$  en  $\alpha$  berekend worden. Deze berekening is uitgevoerd voor de situatie waarin het infiltratiedebiet  $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{etm}^{-1}$  is.

Uit de metingen met de potentiaalsonde is gebleken dat de air

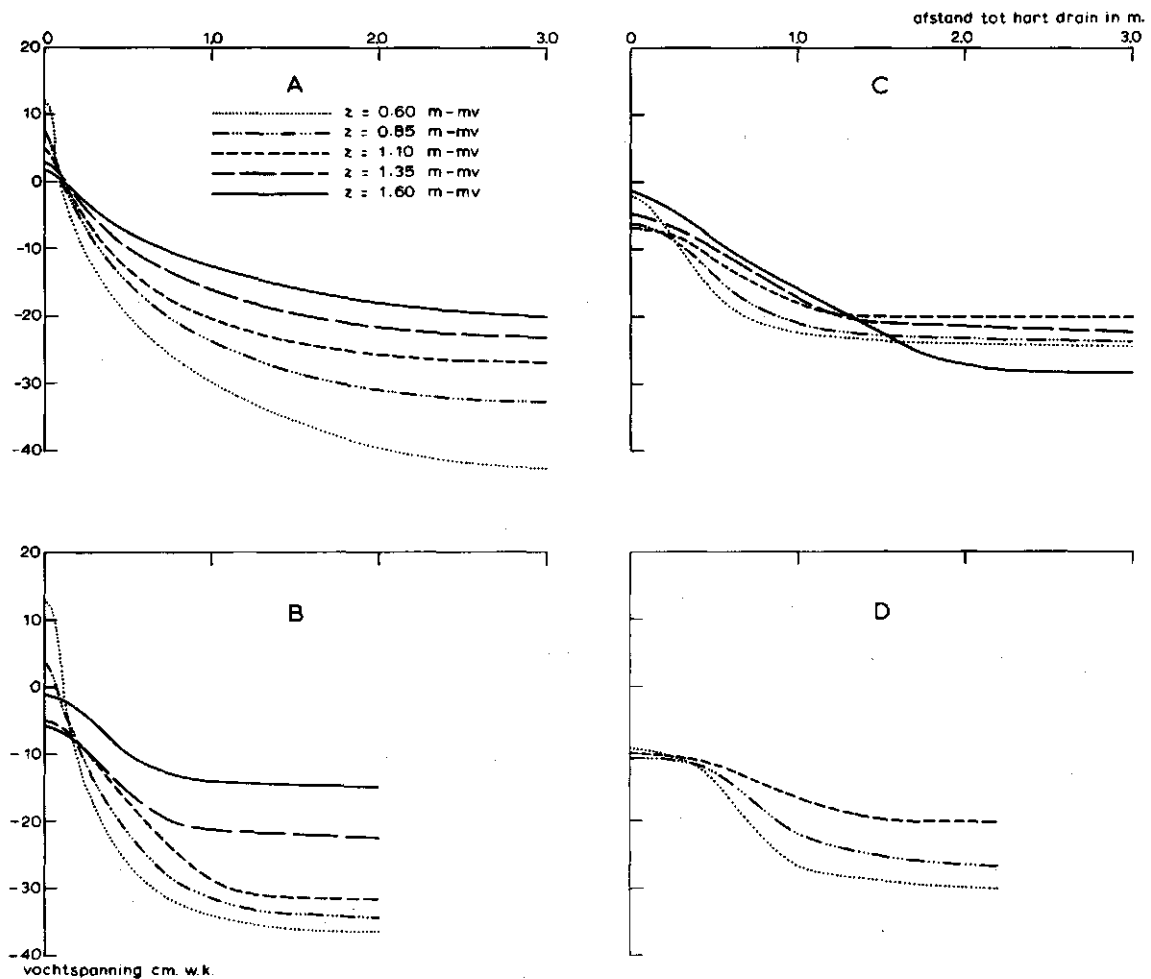


Fig. 10. Verloop van de vochtspanning op verschillende diepten:

a.	1/11-'73:	infiltratiecapaciteit	$5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$
b.	1/11-'73:	"	$5,3$ "
c.	19/11-'73:	"	$3,75$ "
d.	12/12-'73:	"	$1,4$ "

entry value, E,  $\pm$  -8 cm w.k. is.

Er is dus sprake van een verzadigde stroming in het gebied, begrensd door de lijn  $x = 0$  en de lijn  $\psi = -8$ . Gebaseerd op het verband tussen vochtspanning en afstand tot de drain voor verschillende diepten (fig. 10) is een netwerk gekozen, zodanig dat de fout in het berekend debiet zo klein mogelijk is. Daartoe werd eerst een waarde van  $\alpha$  geschat, waarna een maaswijdte van het netwerk gekozen werd. Hierop gebaseerd werd  $\alpha$  berekend, waarna weer een maaswijdte van het netwerk werd gekozen, gebaseerd op de juist berekende  $\alpha$ . Uiteindelijk werd met het netwerk uit tabel 2 gerekend:

Tabel 2. Matrix ten behoeve van berekening van  $\alpha$

j:	1	2	3	4	5					
i	$\Delta z$	$\psi_1$	$d_{i,1/2}$	$\psi_2$	$d_{i,2/3}$	$\psi_3$	$d_{i,3/4}$	$\psi_4$	$d_{i,4/5}$	$\psi_5$
1		+13	17	-8	33	-26	50	-35	50	-36
2	25	+ 3	17	-8	33	-22	50	-31	50	-32
3	25	- 5	18	-8	32	-17	50	-28	50	-30

De resultaten van de berekening van  $\frac{1}{2K_0} \cdot q$  voor verschillende waarden van  $\alpha$  zijn in tabel 3 weergegeven.

Tabel 3. Waarden van  $\frac{1}{2K_0} \cdot q$  voor waarden van  $\alpha$ : 0,25; 0,35 en 0,45  $\text{cm}^{-1}$

vlak (i)	$\alpha$	:	0,25	0,35	0,45	$\text{cm}^{-1}$
	$\frac{1}{2K_0} \cdot q$ (verzadigd)		-21,6	-21,6	-21,6	
	$\frac{1}{2K_0} \cdot q$ (onverz.)		- 7,5	- 5,3	- 4,1	
2	$\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma(q_2)$		-29,1	-26,9	-25,7	cm
	$\frac{1}{2K_0} \cdot q$ (verzadigd)		-20,0	-20,0	-20,0	
	$\frac{1}{2K_0} \cdot q$ (onverz.)		- 9,8	- 6,6	- 5,3	
3	$\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma(q_3)$		-29,8	-26,6	-25,3	cm

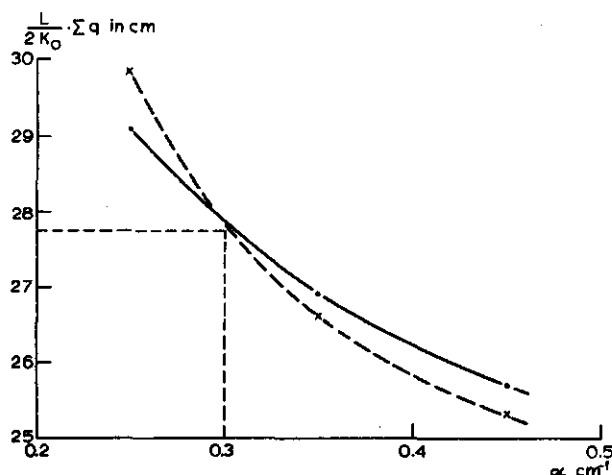


Fig. 11. Grafische oplossing van  $\alpha$  en  $\frac{1}{2K_0} \Sigma q$

De waarde van  $\frac{1}{2K_0} \cdot q$  stelt een halve breedte van een equivalent stromingsgebied voor waarin de gradiënt van de totale potentiaal  $(\frac{d\psi}{dz} + 1) = 1$  en waarin een verzadigde stroming heerst, terwijl het debiet gelijk is aan de som van het infiltratiedebiet in de verzadigde en onverzadigde zone. De waarde van  $\alpha$  wordt gevonden door  $\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q_2$  en  $\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q_3$  in een grafiek uit te zetten tegen  $\alpha$  (fig. 11). In het snijpunt van deze curven wordt  $\alpha$  en  $\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q$  bepaald. De waarde van  $\alpha$  is  $0,3 \text{ cm}^{-1}$  en die van  $\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q$  is  $27,8 \text{ cm}$ .

Daar het halve infiltratiedebiet  $2,65 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$  is, is

$$K_0 = \frac{\frac{1}{2}q}{\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q} = \frac{2,65}{0,278} = 9,5 \text{ m} \cdot \text{etm}^{-1}$$

Voor een aantal situaties is  $K_0$  en  $\alpha$  berekend; de resultaten zijn in tabel 4 weergegeven.

Hoewel de indruk gevestigd zou kunnen worden, dat  $K_0$  in de tijd afneemt, moet toch aangenomen worden dat  $K_0$  constant blijft. De oorzaak van het schijnbaar afnemen is hierin gelegen, dat de fout in de berekende waarde van  $\frac{1}{2K_0} \cdot \Sigma q$  sterk toeneemt naarmate de stroming meer verzadigd is.

Een betrouwbare waarde van  $K_0$  is dan ook  $10,5 \text{ m} \cdot \text{etm}^{-1}$ , indien de fout in het debiet in de onverzadigde zone gecorrigeerd wordt.

Tabel 4. Berekende waarden van  $K_0$  en  $\alpha$  op verschillende data

Datum	Infiltratiedebiet $m^3 \cdot m^{-1} \cdot etm^{-1}$	$K_0$ $m \cdot etm^{-1}$	$\alpha$ $cm^{-1}$
1-11-'73	5,3	7,0	0,36
5-11-'73	5,3	9,5	0,30
9-11-'73	3,75	5,1	0,33
12-12-'73	1,4	5,4	0,33

De hier gevonden waarde van  $K_0$  stemt overeen met de door RIJTEMA (1969) vermelde waarde voor grofzandige gronden ( $11,2 m \cdot etm^{-1}$ ) en met de door BOELS (1973) bepaalde waarde in een proefopstelling met cilinders gevuld met Veluwezand ( $10,1 m \cdot etm^{-1}$ ).

Uit een onderzoek van de Kon. Ned. Heidemij (KNHM, 1971) in de omgeving van Heerde is gebleken dat de gemiddelde doorlatendheid van het gehele profiel ter dikte van  $\pm 12 m$ ,  $10 m \cdot etm^{-1}$  is, terwijl gebaseerd op een pompproef (filter tot  $40 m$  -mv) een  $K_d$  van  $1800 m^2 \cdot etm^{-1}$  berekend werd en een dikte van het watervoerend pakket uit deze en andere metingen gevonden werd van  $\pm 125 m$ , zodat de doorlatendheid in horizontale richting  $\pm 14 m \cdot etm^{-1}$  is.

Rekening houdend met een gelaagde profielopbouw, waardoor een horizontale doorlatendheid in het algemeen groter is dan de verticale, kan gesteld worden dat de berekende  $K_0$  uit de infiltratieproef een grote mate van betrouwbaarheid heeft.

## 5. CONCLUSIES

Gebleken is uit de infiltratieproef dat de infiltratiecapaciteit in hoge mate bepaald wordt door de optredende verstopping, die in de directe omgeving van de wand van de drainsleuf gelokaliseerd is. De infiltratiecapaciteit daalde in 55 dagen tot 26% van de oorspronkelijke capaciteit, terwijl de benodigde drukhoogte in de drain vrijwel verdubbelde ( $0,30 m$  bij de aanvankelijke capaciteit van  $5,3 m^3 \cdot m^{-1} \cdot etm^{-1}$  tot  $0,58 m$  bij  $1,4 m^3 \cdot m^{-1} \cdot etm^{-1}$ ).



De geohydrologische grootheden, die de verdeling van de vochtspanning onder en naast de drain bepalen, zijn uit de vochtspanningsmetingen berekend en zijn:  $K_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{etm}^{-1}$ ,  $\alpha = 0,3 \text{ cm}^{-1}$  en  $E = -8 \text{ cm}$ .  $K_0$  is vrijwel de verzadigde doorlatendheid en de berekende waarde wijkt niet af van de grootte van  $K_0$ , die elders voor het Veluwemassief is bepaald (KNHM, 1971; BOELS, 1973).

Met behulp van form. 2 is berekend, dat slechts een relatief gering deel van het infiltratiedebiet door de onverzadigde zone gaat (op een diepte van 1,5 m -mv  $\pm 30\%$  bij een infiltratiecapaciteit van  $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$ ). Alleen daarom al moet van een van betekenis zijnde zuurstoftoevoer naar het infiltraat niets verwacht worden. Indien derhalve het infiltraat aeroob moet blijven, is het nodig te infiltreren met gezuiverd water (met geen tot verwaarloosbaar kleine organische verontreiniging) dat een hoog zuurstofgehalte heeft.

Gelet op de optredende verstopping tijdens de infiltratie en de doorlatendheid van het profiel moet, nog afgezien van de verstoppingsproblemen, zeer betwijfeld worden of een infiltratiecapaciteit van 100 mln  $\text{m}^3$  per jaar, zoals nodig is voor een infiltratie-eenheid, en dan nog in een relatief gering oppervlak, wat een voorwaarde is voor het ontworpen onttrekkingsstelsel, praktisch realiseerbaar zal zijn. In een vervolgnota zal hierop nader ingegaan worden.

## 6. SAMENVATTING

Om de behoefte aan drinkwater in het jaar 2000 te dekken zijn door het RID concept technische plannen opgesteld om aan de behoefte te kunnen voldoen. Een van de plannen voorziet in een drinkwaterwinning tot een totaal van 500-1000 mln  $\text{m}^3$  per jaar door middel van infiltratie en onttrekking op de Veluwe.

De aspecten, die hierbij nog nadere studie vergden, waren:

- a. de mogelijkheden om het infiltraat tijdens de infiltratie zuurstof te laten opnemen uit de bodemlucht;
- b. de invloed van de infiltratie op de vochthuishouding in de omgeving van het infiltratiepunt;

- c. de geohydrologische eigenschappen van het massief, die de infiltratiesnelheid bepalen;
- d. eventuele verstoppingsproblemen

In opdracht van het RID werd door het ICW een infiltratieproef opgezet en uitgevoerd op het terrein van het W.M.G. te Epe. De infiltratie werd uitgevoerd in een grofzandig, grindhoudend profiel (stuwwal), vanuit een drain ter lengte van 20 m met watertoevoer vanaf de beide uiteinden. Het water had de kwaliteit van drinkwater, zoals dit door het betreffende pompstation gedistribueerd wordt.

Waargenomen is, dat de infiltratiecapaciteit in 55 dagen daalde van 5,3 naar  $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$  (daling met  $\pm 75\%$ ), terwijl de drukhoogte in de drain steeg van 0,30 m tot 0,60 m. Uit detailmetingen met een potentiaalsonde is gebleken dat de afname van de infiltratiecapaciteit toegeschreven moet worden aan verstoppingen in of in de directe omgeving van de wand van de drainsleuf.

Uit de gemeten vochtspanningsverdeling werd de verzadigde doorlatendheid en het capillair geleidingsvermogen berekend. Deze zijn respectievelijk  $10 \text{ m} \cdot \text{etm}^{-1}$  en  $10 \cdot e^{0,3(\psi-8)} \text{ m} \cdot \text{etm}^{-1}$ . De hier berekende verzadigde doorlatendheid toonde grote overeenstemming met de elders bepaalde waarde van deze grootheid voor het Veluwe massief.

Voorts werd uit de gemeten vochtspanningen afgeleid, dat bij een ligging van de infiltratiedrain op een diepte van 0,5 m -mv de vocht-huishouding van de bodem over een oppervlak van maximaal  $3 \text{ m}^2$  per m' drain beïnvloed wordt.

Tevens is afgeleid uit de vochtspanningsverdeling, dat hooguit 30% van het infiltratiedebiet door de onverzadigde zone stroomt op een diepte van  $\pm 1,5 \text{ m}$  -mv bij een infiltratiecapaciteit van  $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{etm}^{-1}$ . Alleen daarom al mag van een verrijking van betekenis van het infiltraat met zuurstof tijdens de infiltratie niets verwacht worden.

Tot slot zij opgemerkt, dat vooruitlopend op nadere berekeningen, die in een vervolgnota gepresenteerd zullen worden, het betwijfeld moet worden of een infiltratiecapaciteit van 100 mln  $\text{m}^3$  per jaar per infiltratie-eenheid gerealiseerd kan worden, zodanig dat voldaan kan worden aan de eisen, die als voorwaarde geformuleerd zijn bij het ontworpen onttrekkingsplan.

## LITERATUUR

- BAKKER, J.W. en G.P. WIND. 1974. Zuurstoftoevoer naar uit een kanaal infiltrerend water (in druk).
- BOELS, D. 1973. Bepaling van het capillair geleidingsvermogen en een deel van de pF-curve in een proefopstelling van het RID. Nota ICW 742.
- HRUBEC, J. 1973. Proefinstallatie voor infiltratie in Veluwe en duinen te Leiduin. *H<sub>2</sub>O* 6,22: 589-591.
- KNHM. 1971. Recreatiegemeenschap Veluwe. Project Heerderstrand. Geohydrologisch onderzoek. Rapport 277 KNHM, Arnhem.
- RAATS, P.A.C. 1970. Steady infiltration from line source and furrows. *Soil Sci. Soc. Amer.* 34,5: 709-719.
- RIJTEMA, P.E. 1965. An analysis of actual evapotranspiration. *Agr. Res. Report 659*, Pudoc, Wageningen.
- RIJTEMA, P.E. 1969. Soil moisture forecasting. Nota ICW 513.
- RID. 1973. Mededeling RID. *H<sub>2</sub>O* 6,3: 229.
- SOET, F. DE. 1973. De Veluwe, functies en waarden in nationaal kader. *Natuur en Landschap* 27,4-5: 89-97.
- VERKERK, P.J. 1974. Activiteiten van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe ten behoeve van de Commissie Infiltratie Veluwe. *H<sub>2</sub>O* 7,4: 62-65.
- VERMEER, P.A. 1973. Situering van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen bij kunstmatige infiltratie. *H<sub>2</sub>O* 6,3: 58-65.

## LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

$\alpha$	- constante in de formule van Rijtema	$\text{cm}^{-1}$
$\gamma$	- relatieve fout in het benaderd verzadigd debiet	-
$E$	- luchtintrede waarde	$\text{cm.w.k.}$
$L$	- halve breedte van het infiltratiegebied	$\text{m}$
$\bar{v}_z$	- gemiddelde verticale snelheid	$\text{m.etm}^{-1}$
$\bar{v}_{z,s}$	- gemiddelde verticale snelheid in de verzadigde zone	$\text{m.etm}^{-1}$
$v_{z,u}$	- gemiddelde verticale snelheid in de onverzadigde zone	$\text{m.etm}^{-1}$
$q$	- infiltratiedebiet	$\text{m}^2.\text{etm}^{-1}$
$q_{i+1,j}$	- gemiddeld debiet in verticale richting in het gebiedje met hoekpunten $i, i+1$ en $j, j+1$	$\text{m}^2.\text{etm}^{-1}$
$x$	- afstand in horizontale richting	$\text{m}$
$x_s$	- halve breedte van de verzadigde zone	$\text{m}$
$\Delta x$	- lengte van een rechthoekje	$\text{m}$
$\Delta z$	- breedte van een rechthoekje	$\text{m}$
$K_o$	- verzadigde doorlatendheid	$\text{m.etm}^{-1}$
$K$	- onverzadigde doorlatendheid	$\text{m.etm}^{-1}$
$\psi_{i,j}$	- vochtspanning in het punt $(i,j)$	$\text{cm.w.k.}$