

Nota № 2 dd Februari 1958 van het  
INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

Ontwatering van laaggelegen polders met sterke kwel door diepe putten in  
directe verbinding met open water.

door

Drs. L. F. Ernst

Intensiteit van de kwel in afhankelijkheid van de eigenschappen van het bodem-  
profiel en de afstand tot de rand van de polder.

In het Zuid-Hollands-Utrechtse veengebied, waar in sommige droogmakerijen  
een zeer sterke kwel variërend van enkele millimeters per dag tot 10 en zelfs  
20 mm/dag gevonden wordt, kan men drie oorzaken voor deze sterke kwel aanwijzen:  
het grote verschil in polderpeil met het omliggende gebied, de hoge  $kD$ -waarde  
en de lage verticale weerstanden.

De plaats, waar de sterkste kwel gevonden wordt, kan niet zonder meer aan-  
gegeven worden. Bij een bekende stijghoogte van het diepe grondwater en bij een  
bekende verticale weerstand kan de kwel direct berekend worden uit  $S = \Delta h/c$ .  
Hierbij betekent  $S$  de intensiteit van de kwel;  $\Delta h$  is het verschil in stijghoogte  
tussen het diepe water en het landbouwwater;  $c$  is de verticale weerstand. Daar  $\Delta h$   
langs de rand van de polder ongeveer 0,5 tot 2 m kan bedragen, volgt hieruit dat  
de verticale weerstand in grootte-orde gelijk is aan 30 tot 200 dagen. Als laag-  
ste verticale weerstand in een homogene laag lijkt  $c = 30$  dagen nog wel mogelijk;  
een stijghoogteverschil van 50 cm geeft dan als kwel 17 mm/dag. Een dergelijke  
vertikale weerstand komt reeds voor in een 5 meter dik pakket met als verticale  
doorlatendheid 0,2 mm/dag (b.v. een gelaagd complex bestaande uit zand en dunne  
kleilagen).

Bij een dunne afdekkende kleilaag wordt de gemiddelde verticale weerstand  
in het algemeen sterk verlaagd door diep insnijdende leidingen. In een dergelijk  
geval kan de grondwaterstandshoogte behalve aan de rand van de polder nauwelijks  
ongunstig beïnvloed worden, daar de kwel via een kleine weerstand in de afvoer-  
leiding komt. Bij de zogenaamde kwelplekken, die meestal van kleine afmetingen  
zijn, moet men de oorzaak zoeken in een plaatselijk verlaging van het maaiveld  
of in het ontbreken van de afdekkende kleilaag. In het laatste geval is de  
toestand natuurlijk ongunstiger, naarmate de perforatie verder verwijderd is  
van een drainerende leiding.

26/0258/1



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS  
0000 0672 0953

Bij een homogene afdekkende laag moet de kwel vooral langs de rand van de polder voorkomen (zie fig.1). Dit volgt uit de vergelijking voor de diepe grondwaterstand, welke vergelijking bij een polderpeil (slootpeil) = 0 er als volgt uitziet:

$$h = h(o) e^{-\frac{x}{\sqrt{KDc}}} \quad (1)$$

In deze vergelijking is  $x$  de afstand tot de rand van de polder en  $h(o)$  dus de stijghoogte van het diepe water onder deze rand. Nemen we in grootte-orde aan, dat  $KD = 5\ 000\ m^2/dag$  en  $c = 100$  dagen, dan volgt uit vergelijking (1), dat de kwel op een 500 meter afstand van de rand van de polder al tot de helft vermindert is.

Mogelijkheden tot verbetering van bestaande toestand.

De bestaande toestand laat het meeste te wensen over op de venige gronden, waar de slappe bovengrond voortdurend in de sloten afglijdt, de diepte van de sloten daardoor meestal erg klein is en ook de aanleg van een buizendrainage in vele gevallen geen goede resultaten opgeleverd heeft. Het verzakken van een enkele buis kan de verstopping van een lange reeks veroorzaken: vooral de eindbuizen in het sloottalud verzakken gemakkelijk. Een principieel andere drainagemethode kan men vinden in verticale putten die tot in het diepe grove pakket reiken. Op enkele meters afstand van de sloot is de kans op verzakking waarschijnlijk voldoende klein. Om het sloottalud zo min mogelijk te beschadigen is een horizontaal buisstuk tot boven de slootwaterspiegel wel aan te bevelen. Uitmonding onder slootpeil is van voordeel wegens de sterker drainerende werking: een vrije uitstroomopening moet zo laag mogelijk liggen. Een mechanische pomp is niet nodig, daar de stijghoogte van het diepe grondwater onder de beschouwde omstandigheden zover boven slootpeil ligt, dat een aanzienlijke afvoer  $Q_0$  verzekerd is bij redelijke afmetingen van het putfilter. De kans op verstoppingen door oxydatie van ijzerverbindingen is gering wegens de sterke afvoer.

Berekening van de grondwaterstandsverlaging door een enkele diepe put met vrije afvoer.

Onafhankelijk van de dikte mag gesteld worden, dat de opbolling van de grondwaterspiegel evenredig is met het verschil in hoogte tussen slootpeil en stijghoogte van het diepe water. Er is dus ook evenredigheid tussen opbolling en kwelsterkte. Indien het alleen gaat om de relatieve grootte van een mogelijke verbe-

tering (bijvoorbeeld de voorwaarden te berekenen, waaraan voldaan moet worden om de bestaande opbolling tot de helft terug te brengen), dan behoeft men dus alleen het verschil tussen het slootpeil en de stijghoogte van het diepe water te kennen en vervolgens de verandering in de stijghoogte van het diepe water te berekenen. Deze stijghoogteverandering hangt af van de volgende omstandigheden: afmetingen en diepte van de put, dikte en doorlatendheid van de verschillende bodemlagen. Rondom het putfilter ontstaat een trechtervormige verlaging van de stijghoogte, die recht evenredig is met de stijghoogteverlaging op het putfilter.

De stijghoogteverlaging op het putfilter mag niet zonder meer gelijk worden gesteld aan het bestaande verschil tussen slootpeil en stijghoogte van het diepe water, daar de uitstromende hoeveelheid water in de verticale stijgbuis en eventueel in een horizontale afvoerbuis nog een zekere weerstand moet overwinnen. Het stijghoogte verschil, dat in deze buizen optreedt, hangt af van de buisdiameter en de stroomsterkte. Om dit verlies niet te groot te laten worden, zou men bijvoorbeeld als voorwaarde kunnen stellen, dat de potentiaalgradient in de stijgbuis niet groter mag zijn dan 0,01. Bij een opbrengst van 10 l/sec is, hiervoor echter al een inwendige buisdiameter nodig van 11 cm. Eenvoudigheidshalve wordt in de volgende berekeningen echter verondersteld, dat de stijghoogte op het putfilter gelijk is aan het slootpeil. Om dit goed te maken zou men bijvoorbeeld in vergelijking (2) een correctiefactor A kunnen opnemen, welke correctiefactor dan tenslotte ook aan vergelijking (9) moet worden toegevoegd.

De opbrengst van een putfilter, waarvan de lengte H veel groter is dan de diameter  $2r_0$ , terwijl de bovenkant van het putfilter samenvalt met de bovenkant van het grove pakket en deze laag homogeen is met zeer grote dikte D, kan afgeleid worden uit:

$$h_0 = \frac{Q_0}{2\pi kH} \ln \frac{\pi H}{r_0} \quad (2)$$

Hierbij wordt verondersteld, dat H klein is ten opzichte van D en dat in een cirkelvormig gebied met straal D de voeding vanuit de grondwaterspiegel klein is ten opzichte van de opbrengst van de put  $Q_0$ .

Onder  $h_0$  wordt verstaan de verlaging van de stijghoogte van het diepe water op de plaats van het putfilter. Neemt men b.v.:  $h_0 = 1,5$  m;  $k = 30$  m/dag;  $H = 20$  m;  $2r_0 = 15$  cm, dan volgt uit vergelijking (2):

$$Q_0 = 850 \text{ m}^3/\text{dag} = 10 \text{ l/sec}$$

Op kleine afstand van het putfilter krijgen de aequipotentiaalvlakken na spiegeling ten opzichte van de bovenkant van de grove laag de vorm van confocale

ellipsoïden. Voor  $3r_0 < r < D$  geldt dan:

$$h(r) = \frac{Q_0}{2\pi kH} \ln \frac{H + \sqrt{H^2 + r^2}}{r} \quad (3)$$

Om de vermindering van de kwel over een willekeurig gebied te berekenen, kan men de vergelijking (3) grafisch integreren. Vervangt men echter de halve ellipsoïden door halve bollen, dan wordt met zekere benadering vergelijking (4) geldig en is de integratie van vergelijking (5), waarmee de verandering in de verticale stroomsterkte binnen een straal  $r$  berekend wordt, gemakkelijk uitvoerbaar.

$$Q(\text{vert}) = \int 2\pi r \frac{h}{c} dr = \frac{Q_0 r}{kc} \left. \begin{array}{l} h(r) = \frac{Q_0}{2\pi kr} \\ \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\text{Uit (2) en (5) volgt: } Q(\text{vert}) = \frac{2\pi H k_0 r}{c \ln \frac{\pi H}{r_0}} \quad (6)$$

Veronderstelt men verder, dat het beschouwde gebied vrij klein is en de waarde van  $\Delta h$  dus vrijwel constant, dan mag men binnen een dergelijk gebied met straal  $r$  voor de totale kwel de volgende vergelijking gebruiken:

$$Q_s = \frac{\pi r^2 h_0}{c} \quad (7)$$

De vergelijkingen (6) en (7) geven respectievelijk de kwelvermindering door een diepe put en de bestaande kwel. Beide hoeveelheden zijn evenredig met  $h_0$ , hetgeen ook zonder afleiding van (6) en (7) duidelijk is. In vergelijking (6) komt  $r$  slecht tot de eerste graad voor; vergelijking (7) bevat  $r^2$ . Dit houdt in, dat voor grote  $r$  de kwel  $Q_s$  veel groter moet zijn dan de kwelvermindering  $Q(\text{vert})$ .

Definieert men nu een invloedssfeer van de put als een gebied waar binnen de totale kwelhoeveelheid en dus ook de gemiddelde opbolling van de grondwater-spiegel tot de helft verminderd wordt, dan kan de straal  $r_m$  van dit gebied verkregen worden uit vergelijking (9), welke vergelijking ontstaat door substitutie van (6) en (7) in (8):

$$2 Q(\text{vert}) = Q_s \quad (8)$$

$$r_m = \frac{\pi H}{\ln \frac{\pi H}{r_0}} \quad (9)$$

Uit vergelijking (9) volgt, dat  $r_m$  dezelfde grootteorde heeft als  $H$ . Om niet al te kleine  $r_m$  te krijgen moet men  $H$  zo groot mogelijk maken. Bij gebruik van

dezelfde waarden als bij (2) vindt men  $r_m = 12$  meter. Door vervanging van (3) door (4) is deze uitkomst iets te hoog. Hieruit volgt dus, dat de invloedssfeer van een put betrekkelijk klein is. Met ruwe benadering geldt voor de rand  $r_m$  van de invloedssfeer (zie fig.2), dat  $h(r_m) \approx \frac{1}{4} h_0$ .

Uit het voorgaande is het wel duidelijk geworden, dat vrij veel benaderingen zijn ingevoerd om het rekenwerk te vereenvoudigen. De invloed van de beperkte dikte  $D$  van het goed doorlatende pakket is onder meer verwaarloosd. Voor zover de verticale stroming door de slecht doorlatende laag zeer klein is ten opzichte van het stroomsterkte naar de put, mag deze laag als ondoorlatend beschouwd worden om de stijghoogte verdeling in de goed doorlatende laag te berekenen. Hierbij kan dan de spiegelmethode worden toegepast, hetgeen het gebruik van oneindige reeksen met zich meebrengt. Voor  $r > D$  behoeft echter geen ondoorlatende laag meer te worden aangenomen, daar dan de volgende vergelijking geldig is:

$$h = h(D) \frac{K_0 \left( \frac{r}{\sqrt{kDc}} \right)}{K_0 \left( \frac{D}{\sqrt{kc}} \right)} \quad (10)$$

Een iets nauwkeuriger rekenmethode is onmisbaar indien men bijvoorbeeld het verschil wil berekenen bestaande tussen putten met gelijke filterlengte maar verschillende filterdiepte. In een homogene grove laag heeft een zo hoog mogelijk gelegen filter op korte afstand (tot rond 20 m afstand) een ongeveer 10% hoger effect, op grotere afstand een ongeveer 15% lager effect dan een put met filter op halve hoogte in het grove pakket. Deze verschillen hebben dezelfde grootteorde als de fouten veroorzaakt door vervanging van vergelijking (3) door (4) of door verwaarlozing van de invloed van de laagdikte  $D$ . In een heterogene grove laag worden de verschillen groter. Indien een dergelijk pakket bovenin fijner zand bevat en onderin grover zand dan is een diepe plaatsing van het filter altijd gunstiger. Bij een verhouding  $k_1:k_2 = 1:2$  is het effect van het diepe filter ook op korte afstand al een 20% gunstiger dan van een ondiep filter. De lagere kosten van een ondiep filter zullen dan echter de doorslag geven. Bij grotere verschillen in doorlatendheid ( $k_1:k_2 \approx 1:5$ ) is het de vraag wat voordeliger is. Bij verhoudingen die liggen bij 1:10 of hoger, is een plaatsing van het filter in de grofste laag meestal wel aan te bevelen.

Kwilvermindering door een klein aantal putten op korte afstand van elkaar.

Meerdere putten op korte afstand ondersteunen elkaar, zodat dan de grondwaterstandsverlaging in het omliggende gebied iets gunstiger wordt, zoals tevoren reeds opgemerkt moet men er wel rekening mee houden, dat de benadering door bolvormige equipotentiaalvlakken (zie verg. 3, 4 en 5) voor  $Q(\text{vert})$  een te hoge uitkomst geeft en dus ook de waarde voor  $r_m$  uit (9) aan de hoge kant is. Bij meerdere putten zal een tussenruimte van rond 25 m wel goed zijn om de kwel daar ter plaatse tot de helft terug te brengen. Voor een kwelplek van  $20 \times 100 \text{ m}^2$  zou men reeds een rij met 4 van deze putten nodig hebben.

Is het aantal putten betrekkelijk klein, en wil men eenzelfde bewerkingsmethode als in de vorige paragraaf toepassen - wat zeker nauwkeuriger kan zijn dan de voorgaande schatting van 25 m afstand - dan moet men gebruik maken van het superpositie-principe. Hieronder verstaat men het optellen van de stijghoogte-veranderingen, welke door de verschillende putten veroorzaakt worden.

Nemen we  $n$  putten aan, dan geldt voor het filteroppervlak van elk van deze putten een nieuwe vergelijking, die gevonden wordt door het sommeren van vergelijking (2) en  $(n-1)$  vergelijkingen (3), waarmee de totale invloed van de  $n$  putten verantwoord is. In elk van deze  $n$  nieuwe vergelijkingen komen  $n$  onbekende opbrengsten  $Q_0$  voor. Door de wederzijdse beïnvloeding is voor elke put de opbrengst  $Q_0$  niet meer direct te berekenen uit (2). Dit is geen bezwaar, daar de grootte van de linkerleden bij elk van deze  $n$  vergelijkingen wel bekend is. Voor het filteroppervlak van elke put is immers de stijghoogteverlaging gelijk te stellen aan het verschil tussen polderpeil en stijghoogte van het diepe water in de ongestoorde toestand en dus als een gegeven te beschouwen.

Indien  $n \approx 10$  of kleiner, dan is deze oplossingsmethode nog wel aan te bevelen. Het oplossen van  $n$  lineaire vergelijkingen met  $n$  onbekenden is dan geen onoverkomelijk werk. Liggen de betrokken putten op grotere afstand van elkaar dan volgens het bij vergelijking (3) opgegeven traject is toegestaan, dan moet hiervoor nog een kleine correctie worden toegepast, waarvoor vergelijking (10) gebruikt kan worden.

Een ring van putten langs de rand van de polder.

Wil men de grondwaterstand over de gehele polder verlagen dan zou men op dezelfde manier voortgaande een ring van putten langs de rand van de polder moeten aanbrengen. Gevraagd wordt nu de afstand  $b$  tussen de regelmatig in een enkele rij geplaatste putten, waarbij de grondwaterstand ten opzichte van het polderpeil tot

de helft verlaagd wordt. Bij een dubbele rij mag het aantal putten iets kleiner zijn. De rij putten wordt gelegd op een afstand  $x = \frac{1}{2}b$  van de rand (zie fig 3a en 3b). Op de afstand  $x$  is de afpompings door de putten vrij constant en moet evenals op elke grotere afstand gelijk zijn aan de helft van de stijghoogte van het grondwater in de oorspronkelijke toestand. Deze laatste stijghoogte wordt voorgesteld door  $\alpha h_0$ , waarbij  $\alpha$  dus staat in de plaats van  $\exp(-x/\sqrt{kDc})$ . De afpompings veroorzaakt door de putten bedraagt hier  $\frac{1}{2}\alpha h_0$ , zodat wegens de toestroming van twee kanten het debiet van elke put mag worden gelijkgesteld aan  $\alpha b h_0 \sqrt{kD/c}$ . Nu is nog rondom elke put een gebiedje buiten beschouwing gelaten dat de vorm heeft van een rechthoekig parallellepipedum met als horizontaal oppervlak een vierkant met zijden  $b$ . Veronderstelt men verder, dat in dit parallellepipedum de stroming grotendeels volgens confocale ellipsoïdale aequipotentiaalvlakken loopt, maar dat op het binnenste oppervlak vergelijking (2) geldt en op het buitenste oppervlak vergelijking (4), dan is dit een benadering, daar elk parallellepipedum slechts door twee verticale vlakken een toestroming ontvangt. Men ziet direct dat volgens figuur 3b het verschil in stijghoogte op deze oppervlakken gelijk is aan  $(\beta - \frac{1}{2}\alpha)h_0$ . Daar de stijghoogte op het putfilter altijd iets boven polderpeil moet liggen en dus voor  $\beta h_0$  een kleinere waarde moet worden ingevoerd dan het verschil tussen slootpeil en stijghoogte van het diepe grondwater, mogen we verwachten dat  $\beta$  en  $\alpha$  ongeveer even groot zijn en mogelijk zelfs  $\beta$  iets kleiner dan  $\alpha$ . Het verschil  $(\beta - \frac{1}{2}\alpha)h_0$  mag daarom vervangen worden door  $\frac{1}{2}\alpha h_0$ . De waarde van de coëfficiënt  $\frac{1}{2}$  is dus niet geheel zeker, maar kan voor gegeven omstandigheden gemakkelijk gecontroleerd worden.

Voor de stroomsterkte naar 1 put volgt hieruit met zekere benadering (uitkomst 10 tot 20% te hoog):

$$Q = \frac{2\pi k \cdot \frac{1}{2}\alpha h_0}{\frac{1}{H} \ln \frac{\pi H}{r_0} - \frac{2}{b}} \quad (11)$$

Bovendien geldt:

$$Q = \alpha b h_0 \sqrt{\frac{kD}{c}} \quad (12)$$

Uit (11) en (12) volgt:

$$b \left( \frac{1}{H} \ln \frac{\pi H}{r_0} - \frac{2}{b} \right) = \pi \sqrt{\frac{kD}{c}} \quad (13)$$

Oplossing van (13)

$$b = \frac{H}{\ln \frac{\pi H}{r_0}} \left( 2 + \pi \sqrt{\frac{kD}{c}} \right) \quad (14)$$

Na substitutie van  $c = 30$  dagen;  $D = 60$  m en verder dezelfde waarden als gebruikt bij de vergelijkingen (2) en (9), volgt uit (14) na verlaging van de uitkomst voor de twee ingevoerde benaderingen:  $b \approx 35$  tot  $40$  m.

De vergroting van het totale waterbezwaar op de polder kan ook uit fig. 3b afgelezen worden. In de bestaande toestand is de hoeveelheid kwel per lengte-eenheid van de rand gelijk  $h_0 \sqrt{KD/c}$ . De afpompings onder de rand van de polder bedraagt  $\frac{1}{2} \alpha \gamma h_0$ , waarbij  $\gamma$  staat voor  $\exp\left(\frac{-x+b}{\sqrt{kDc}}\right)$ . Daar  $\alpha$  en  $\gamma$  altijd  $< 1$ , maar vaak weinig van 1 afwijken (dit gaat niet op in fig. 3b), kan voor de afpompings onder de rand gesteld worden, dat deze gelijk is aan  $0,45h_0$ . De toename in het totale waterbezwaar is dan dus 45%, namelijk  $0,45h_0 \sqrt{KD/c}$ .

Vergelijking van de zogenaamde kwelvermindering en het totale waterbezwaar.

Indien men over "kwelvermindering" door verticale putten spreekt, dient men wel voor ogen te houden, dat hierbij onder kwel wordt verstaan de stroming door de meer of minder slecht doorlatende afdekkende klei-veenlaag. De vermindering hierin wordt echter overtroffen door de waterstroom, die door het putfilter omhoog komt. Het totale waterbezwaar op de polder neemt hierdoor toe, in het meest ongunstige geval (put op de rand van de diepe polder) zelfs met een bedrag gelijk aan de kwelvermindering. Een aangrenzende hogere polder heeft dan altijd een gelijke vermindering in waterbezwaar.

Een berekening van de toename van de totale kwel gaat in principe zo, dat men binnen en buiten de polder een even hoge grondwaterspiegel veronderstelt. Men heeft dan dus met een radiaalsymmetrische putstroming te maken. De toename van het totale waterbezwaar mag gelijk gesteld worden aan de hoeveelheid water, die onder de gedachte omstandigheden door de put onttrokken wordt buiten de beschouwde lage polder, dus in het gebied met denkbeeldig verlaagd polderpeil.

Bij een verlaging van de grondwaterstand door vernauwing van greppel- of buisafstanden ontstaat eveneens een toename van het totale waterbezwaar. Deze toename is echter minder groot, daar het onttrekkingscentrum dan dicht bij de te verlagen grondwaterspiegel ligt. Dit gunstigere rendement door "oppervlakkige" drainage zal men vooral vinden bij een dikke afdekkende laag. Bij een zeer dunne afdekkende laag (bijvoorbeeld tot 1 meter beneden de grondwaterspiegel) is het verschil kleiner. Men zou dan in het geheel geen verschil meer verwachten. Daarbij is echter te bedenken, dat een vernauwing van de drainageafstand geheel anders werkt, n.l. dicht langs de dijk een relatief klein effect en in het midden van de polder een groot effect. Om dan eenzelfde effect te bereiken als met diepe putten langs de rand van de polder, zou men op de zelfde percelen een zeer nauwe buisafstand



fig1. SCHEMATISCHE AFBEELDING VAN EEN DIEPE POLDER MET AFDEKKENDE KLEILAAG

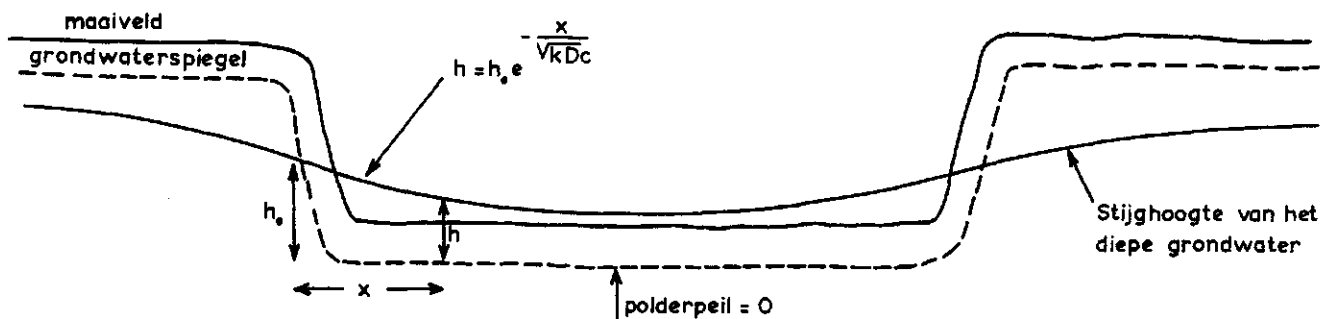


fig2. VERLAGING VAN DE STIJGHOOGTE VAN HET DIEPE WATER DOOR EEN DRAINERENDE PUT ; PUTFILTER IN OPEN VERBINDING MET EEN POLDERSLOOT MET PEIL = 0

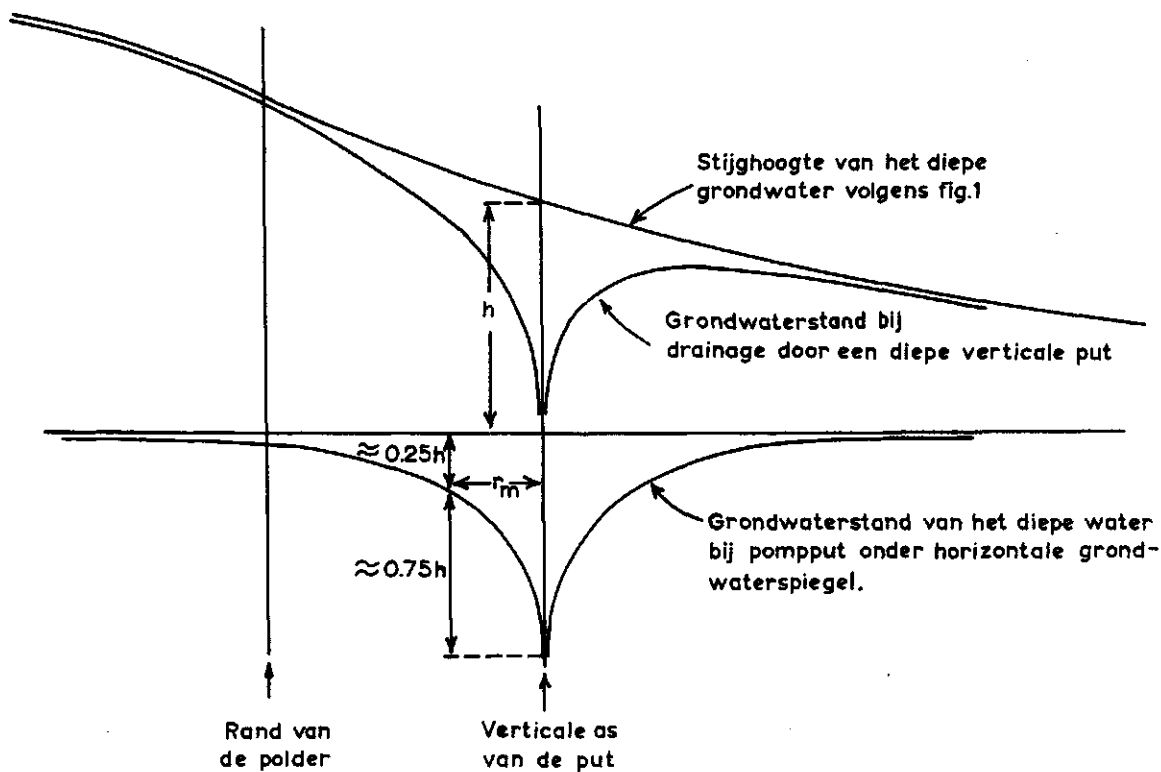


fig.3a GRONDWATERSTANDSVERLAGING DOOR EEN RING VAN DIEPE PUTTEN LANGS DE RAND VAN DE POLDER

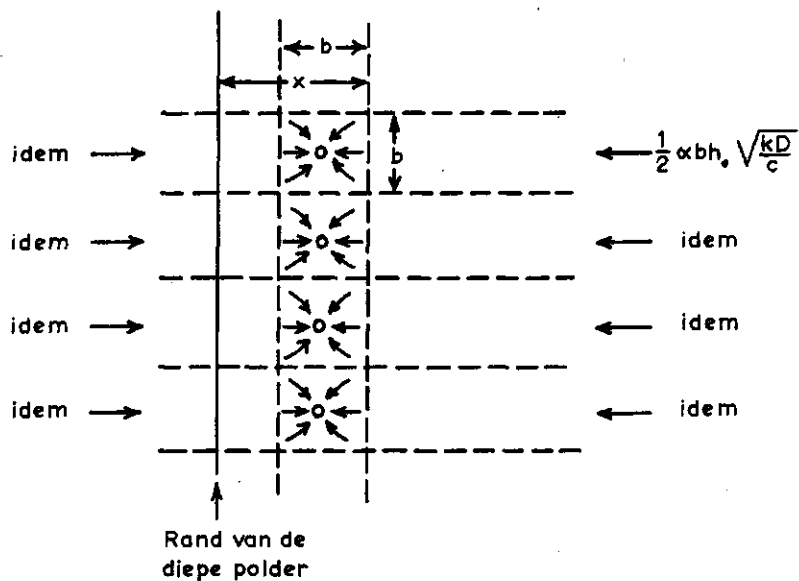


fig.3b

