

1. Inleiding

De 'infiltratiewand' is een in Duitsland (1979) ontworpen middel om voorgezuiverd oppervlaktewater in een grondpakket te infiltreren [lit. 1].

Met deze eenvoudige methode kunnen nadelen die aan oppervlakte-infiltratiemethoden kleven worden omzeild.

Om de infiltratiecapaciteit van de infiltratiewand te bepalen en om mogelijke verstoppingsverschijnselen te onderkennen is meer inzicht nodig in het stromingspatroon van het grondwater rond de infiltratiewand.



IR. J. W. VERMEY
Tebodin
Raadgevende Ingenieurs
Den Haag

De methode 'der complexe variabele' is een elegante methode waarmee een analytische oplossing kan worden verkregen voor het stromingsprobleem.

2. De infiltratiewand

De 'Sickerschlitzgräben' waarmee Hantke in Duitsland experimenten heeft uitgevoerd waren 18 m lang, en hadden een breedte van 1 m en hoogten van 4 m en 6 m (afb. 1). Door geulen uit te graven en met grofzand ($d_{10} = 0,6 \text{ mm}$; $d_{60} = 1,2 \text{ mm}$) te vullen werd een infiltratielichaam verkregen met een doorlatendheidscoëfficiënt van 320 à 400 m/d, ongeveer een factor 10 groter dan de doorlatendheidscoëfficiënten van de watervoerende lagen waarin geïnfilteerd werd. Een afdekking voorkomt verontreiniging van het te infiltreren water en voorkomt tevens algengroei in het open water. Bovendien kan een afsluitende slechtdoorlatende laag doorsneden worden.

Een nadeel van deze methode is dat verontreinigingen die diep in de grofzandvulling dringen niet verwijderd kunnen worden.

Het te infiltreren water dient een goede kwaliteit te hebben [lit. 3].

3. Grondwaterstroming

Met de methode 'der complexe variabele' kan een analytische oplossing worden verkregen voor die stromingsproblemen waarbij de begrenzingen van het stroomgebied worden gevormd door een potentiaallijn, een stroomlijn, of een vrij oppervlak.

Het doel is om een relatie te krijgen tussen de complexe variabele $z (= x + i \cdot y)$ en de complexe potentiaal $\Omega (= \Phi + i \cdot \Psi)$, waarbij Φ de grondwaterpotentiaal is ($\Phi = k \cdot \varphi$), en Ψ de stroomfunctie.

De tweedimensionale grondwaterstroming rond een infiltratiewand is te schematiseren als in afb. 2.

De lijn AB, hartlijn van de infiltratiewand, is een potentiaallijn, de lijnen AD en BC uiterste stroomlijnen, waarbij BC het vrije oppervlak is.

Dit schema geldt onder de volgende voorwaarden:

1. De stroming is stationair.
2. De stroming is tweedimensionaal, de infiltratiewand oneindig lang.
3. Er treedt geen drukverlies op over de hoogte van de grofzandvulling.
4. Het grondpakket is homogeen en isotroop.
5. De rustgrondwaterstand ligt op oneindige diepte.
6. Er is geen capillaire werking, noch nuttige neerslag.

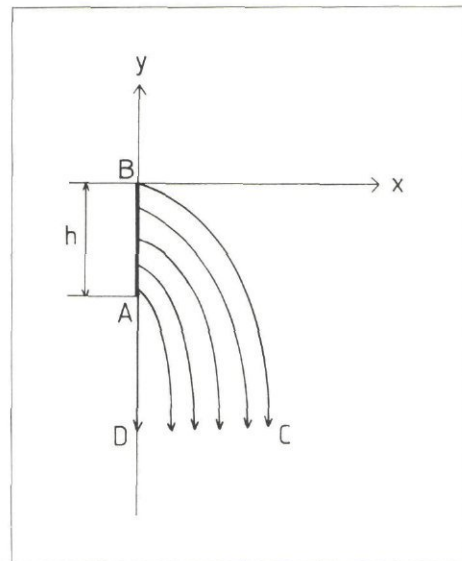
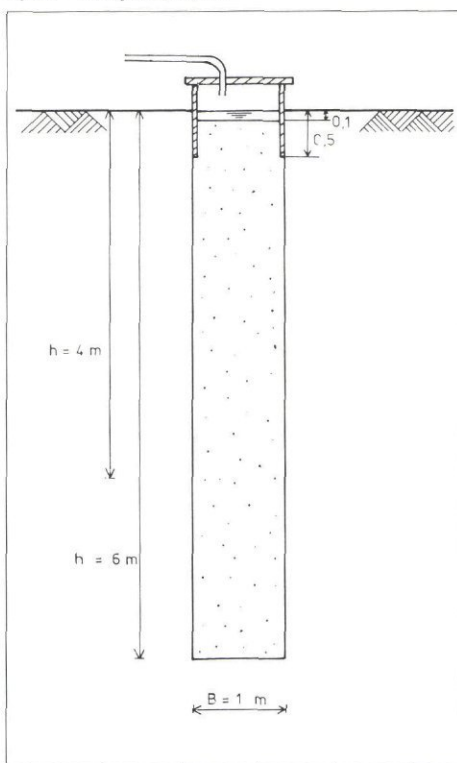
ad 1.

Indien de rustgrondwaterstand op grote diepte ligt, of indien er winmiddelen direct rond de infiltratiewand zijn geplaatst, dan kan na een korte 'opvolperiode' de stroming als stationair worden beschouwd.

ad 2.

Ten opzichte van de tweedimensionale benadering zal er bij een geïsoleerde infiltratiewand een extra uitstroming plaatsvinden aan de kopeinden. Als er een serie infiltratiewanden in elkaars verlengde worden gesitueerd, met aan weerszijden

Afb. 1 - De infiltratiewand.



Afb. 2.

winmiddelen, dan is een tweedimensionale benadering gerechtvaardigd.

ad 3.

Hantke heeft bij de infiltratiewanden waarin een verzadigde stroming optrad en verstoppingsverschijnselen geen rol speelden slechts geringe drukverliezen geconstateerd.

ad 4.

Door inhomogeniteiten en anisotropie zullen afwijkingen van het theoretische stromingspatroon optreden.

ad 5.

Indien de grondwaterstand op beperkte diepte ligt zal het vrije oppervlak geen parabolovorm hebben maar een S-vorm.

ad 6.

In groffe zanden is de capillaire werking gering. Het effect van neerslag kan door superpositie bij de stroming worden betrokken.

Voor de geschematiseerde stroming rond een infiltratiewand zijn de volgende complexe (hulp)vakken geconstrueerd.

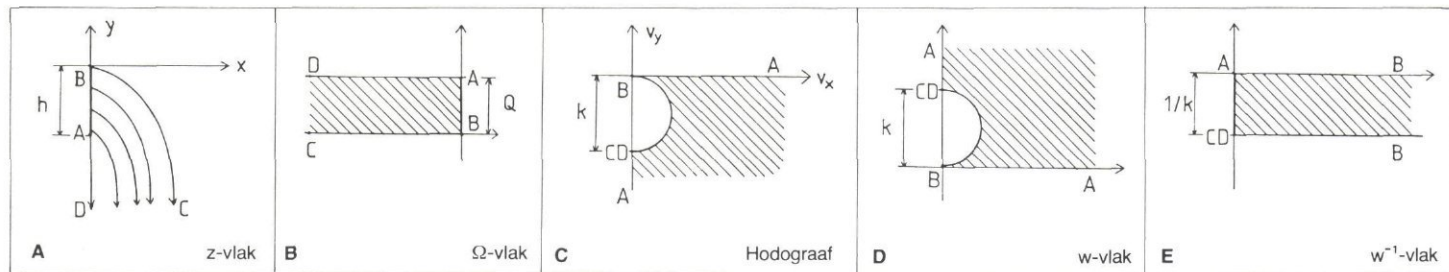
(Afb. 3a t/m 3e):

- het z -vlak ; $z = x + i \cdot y$
- het Ω -vlak ; $\Omega = \Phi + i \cdot \Psi$
- de hodograaf ; $v_x + i \cdot v_y$
- het w -vlak ; $w = v_x - i \cdot v_y$
- het w^{-1} -vlak ; $w^{-1} = 1/w = 1/(v_x - i \cdot v_y)$

De hodograaf is een complex hulpvak waarin op de assen de horizontale en verticale componenten van de filtersnelheden in een punt zijn uitgezet.

Daar er voor z geldt: $z = - \int w^{-1}(\Omega) d\Omega$

is het stromingspatroon opgelost indien de afbeelding van het Ω -vlak op het w^{-1} -vlak kan worden gevonden.



Afb. 3.

Hiervoor is een serie transformaties nodig van het Ω -vlak en het w^{-1} -vlak op een hulpvlak ξ .

Het resultaat na een aantal transformaties is:

$$\xi = \frac{1}{\cosh^2 \left(\frac{\pi k w^{-1}}{2} \right)} \quad (1)$$

$$\xi = -\sinh^2 \left(\frac{\pi \Omega}{2Q} \right) \quad (2)$$

Gebruikmakend van mathematische en goniometrische identiteiten zijn de vergelijkingen (1) en (2) om te schrijven in:

$$w^{-1} = -\frac{2}{\pi k} \ln \left(-i \cdot \tanh \left(\frac{\pi \Omega}{4Q} \right) \right) \quad (3)$$

zodat voor de relatie tussen z en Ω geldt:

$$z = \frac{2}{\pi k} \int \ln \left(-i \cdot \tanh \left(\frac{\pi \Omega}{4Q} \right) \right) d\Omega \quad (4)$$

Door nu van punt B naar punt A te integreren wordt vergelijking (5) verkregen.

$$-h = \frac{8Q}{\pi^2 k} \int_0^{\pi/4} \ln \tan x \, dx \quad (5)$$

De waarde van de begrensde integraal staat bekend als de Catalaanse constante, zodat geldt:

$$h = \frac{8}{\pi^2 k} \cdot 0,916 Q \quad (6)$$

$$Q = 1,347 \cdot k \cdot h \quad \begin{matrix} Q \text{ in m}^3/\text{m} \cdot \text{d} \\ k \text{ in m/d} \\ h \text{ in m} \end{matrix} \quad (7)$$

Met vergelijking (7) is nu de relatie gevonden tussen de halve infiltratiecapaciteit Q ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$) van de infiltratiewand, en de hoogte h (m) en de doorlatendheidscoëfficiënt k (m/d) van het natuurlijke grondpakket.

Door van B naar C te integreren wordt de vorm van het vrije oppervlak gevonden.

$$z = -\frac{A}{k} \cdot i - \frac{8Q}{\pi^2 k} \int_0^{\pi/4} \ln \tanh(p) \, dp \quad (8)$$

Scheiding in een reëel en een complex deel levert:

$$y = -\frac{A}{k}; \quad x = \frac{-8Q}{\pi^2 k} \int_0^{\pi/4} \ln \tanh(p) \, dp \quad (9)$$

Voor een bepaalde waarde van y is de bijbehorende x -coördinaat te verkrijgen door numerieke integratie.

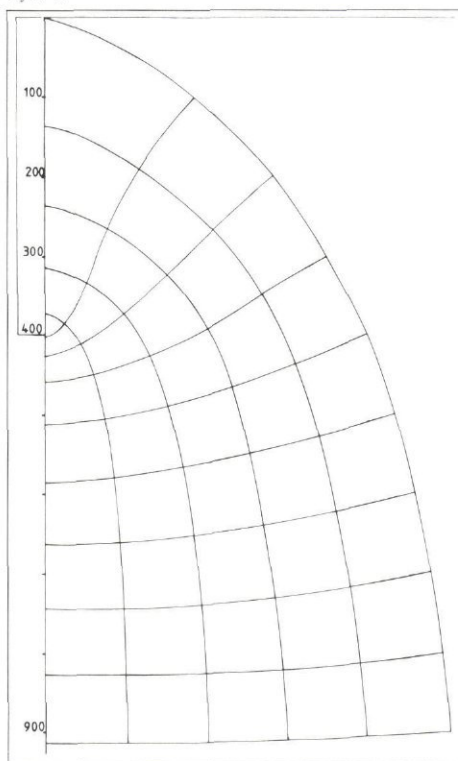
De vorm van het vrije oppervlak is hiermee bepaald (afb. 4).

Met behulp van een vierkantennet kunnen stroombanen bepaald worden. In afb. 4 is het stroomlijnen- en potentiaallijnenpatroon van een 4 m hoge infiltratiewand geschetst. Voor 4 m en 6 m hoge infiltratiewanden zijn infiltratiecapaciteiten bepaald (tabel I).

TABEL I – Infiltratiecapaciteit ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$).

	$k = 10 \text{ m/d}$	$k = 40 \text{ m/d}$
$h = 4 \text{ m}$	54	216
$h = 6 \text{ m}$	81	323

Afb. 4.



4. Conclusies

De infiltratiewand is een eenvoudig infiltratiemiddel met een aantal goede voordelen boven oppervlakte-infiltratiemethoden. Met behulp van formule (7) kan de infiltratiecapaciteit van een infiltratiewand worden bepaald, afhankelijk van de wandhoogte en de doorlatendheidscoëfficiënt van het natuurlijke grondpakket, bij een diepe grondwaterstand. Daar de infiltratiewand niet goed mechanisch regenererbaar is, dient grote aandacht te worden besteed aan de mogelijkheid van verstopping van de wandvulling.

Dankwoord

Gaarne spreek ik mijn dank uit aan prof. dr. ir. A. Verruijt voor zijn hulp bij het oplossen van het stromingsprobleem.

Literatuur

1. Hantke, Hartmut (1981). *Vergleichende Bewertung von Anlagen zur Grundwasseranreicherung*. Darmstadt: Hrsg. Verein zur Förderung des Institutes WAR.
2. Verruijt, A. (1970). *Theory of Groundwater Flow*. Delft University of Technology. Macmillan and Co, London.
3. Vermey, J. W. (1985). *Kunstmatige Infiltratie met de Infiltratiewand*. Afstudeer-deelontwerp, vakgroep Civiele Gezondheidstechniek, afdeling Civiele Techniek, TH Delft, juni 1985.

Zegwaard Delft voert rioolrenovatie-project uit in Rusland

Zegwaard Delft heeft van de Russische autoriteiten opdracht gekregen een rioolrenovatie-project uit te voeren in de stad Volgodonsk. Het gaat om de renovatie van 10 kilometer riool, dat met gebruikmaking van de Insituformtechniek moet worden hersteld. Deze techniek voorziet in het aanbrengen van een kunststof binnenbekleding in de bestaande rioolbuis. Het nu te renoveren gedeelte is onderdeel van een 120 kilometer lang rioolstelsel. Vervolgopdrachten behoren dan ook zeker tot de mogelijkheden.

Het renovatie-project in de Sowjetunie levert 15 manjaren werk op. Met de uitvoering zijn enige miljoenen guldens gemoeid. Vóór de opdracht werd verstrekt, is begin dit jaar een demonstratieproject in Volgodonsk uitgevoerd.