UIT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
Nota No. 251 dd. 14 april 1964

# Resultaten van het meten van intreeweerstanden van plastiek drainbuizen

F. Homma en J. Wessling



## 1. Inleiding

Het toenemende gebruik van plastiek drainbuizen doet steeds meer de behoefte gevoelen naar een beter inzicht in de hydrologische eigenschappen van dit materiaal. De tot nu toe bij verschillende diensten en instellingen uitgevoerde onderzoekingen gaven resultaten die nogal sterk uiteenlopen, vooral als gevolg van de zeer verschillende proefomstandigheden.

Plastiek drainbuizen worden doorgaans voorzien van een bepaalde perforatie en bij installatie al of niet voorzien van een of andere vorm van omhulling. Uit de tot nu toe verkregen onderzoeksresultaten is het niet mogelijk een eensluidend voorschrift vast te stellen over de eisen waaraan diameter, perforatie en omhulling van de buizen moeten voldoen. De beschikbare resultaten hebben zowel betrekking op veld- als op laboratoriumproeven. Bij de eerste soort doet zich veelal een zo grote variatie van omstandigheden voor, dat hieruit moeilijk algemene conclusies zijn te trekken. Bovendien is dit onderzoek sterk afhankelijk van klimatologische factoren en daardoor zal het veelal vrij lang duren alvorens resultaten ter beschikking komen. Bij laboratorium onderzoek kan men werken onder beter geconditionneerde omstandigheden, waarbij relatief snel een inzicht in het effect van bepaalde factoren kan worden verkregen, mits de resultaten overdraagbaar zijn naar praktische omstandigheden. Hier staat tegenover dat met name verouderingsverschijnselen zich niet lenen voor dit soort onderzoek.

Teneinde een duidelijker inzicht te krijgen in de invloed van diameter perforatie en omhulling op de drainerende werking van plastiek drainbuizen werd door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst voor een beperkt aantal combinaties van bovengenoemde factoren de intreeweerstand gemeten in een daartoe ontworpen proefopstelling.

Een beschrijving van deze opstelling alsmede de hiermee verkregen resultaten zijn weergegeven in dit rapport.

De onderzochte buizen werden op verzoek van de Cultuurtechnische

[illegible]

Dienst geperforeerd en geleverd door de N.V. Wavin te Hardenberg en bestonden uit normaal voor drainage gefabriceerde buizen. Als omhullingsmateriaal werd naast glasvlies ook glaswol (zogenaamd Mefi-filter) onderzocht.

## 2. Intreeweerstand; definitie en invloed op de drainage

De afvoer van grondwater door een stelsel van evenwijdige drainreeksen in een homogeen grondpakket kan volgens ERNST 1962 worden weergegeven door:

$$\Delta h = \frac{NL^2}{8KD} + NL\, w_r + NL\, w_i + N\circ \qquad (1)$$

waarin: $\Delta h$ drukhoogte van het water midden tussen de drains
- $N$ afvoer van overtollige neerslag
- $L$ afstand tussen de reeksen
- $K$ doorlaatfactor van de grond
- $D$ dikte van de watervoerende laag
- $w_r$ radiale weerstand van de buis
- $w_i$ intreeweerstand van de buis
- $\circ$ verticale weerstand van het grondpakket

In de vergelijking stelt het eerste deel de drukhoogte voor die nodig is voor de horizontale stroming door de grond. Het tweede deel beschrijft de drukhoogte, benodigd voor de radiale toestroming naar een zogenaamde 'ideale drain', dat wil zeggen een drain waarvan de wand volledig doorlatend is. Deze weerstand zal behalve van de ligging van de drain ten opzichte van de ondoorlatende laag afhangen van de doorlaatfactor van de grond en van de natte omtrek van de drain u.

Voor een homogeen grondpakket geeft ERNST:

$$w_r = \frac{1}{\pi K} \ln \frac{D}{u} \qquad (2)$$

In de praktijk zal men altijd te doen hebben met een niet-ideale drain. Bij gebakken buizen treedt het water niet toe deer de gehele omtrek van de reeks doch slechts door de stootvoegen tussen de afzonderlijke drains. Bij plastiek buizen treedt alleen water naar binnen door de aangebrachte perforaties. In beide gevallen zal het water een langere weg af moeten leggen in de nabijheid van de drain waardoor een extra drukhoogteverlies

op zal treden dat niet alleen deze langere weg doch tevens de stromingsweerstand in de openingen zelf zal moeten bevatten. Deze extra weerstand $w_i$ zal niet alleen afhangen van vorm en grootte van de perforatie, doch eveneens van de diameter van de buis, alsmede van de doorlaatfactor van het omringende materiaal. Het aanbrengen van een omhulling, die doorgaans een grotere doorlaatfactor heeft dan de omringende grond, zal dus kunnen resulteren in een verkleining van deze intreeweerstand.

Bij het ontwerpen van een drainage-object wordt doorgaans geen rekening gehouden met de intreeweerstand. Volgens ERNST kan deze weerstand voor gebakken buizen worden weergegeven door:

$$w_i = \frac{a}{K}$$

waarin $a \approx 2$ à 3. DE JAGER (1960) meent echter dat voor dit soort buizen een a-waarde van 0,9 dient te gelden, terwijl hij deze waarde voor plastiek buizen met 900 $mm^2/m$ perforatie 1,9 stelt. Bij een afvoer van 7 mm/ /dag waarop vrijwel alle ontwerpen worden berekend, zou dit voor plastiek buizen neerkomen op een extra drukhoogte van 0,007 x 1,9 m of 1,33 cm.

Praktijkmetingen hebben uitgewezen dat de intreeweerstand een zodanige waarde aan kan nemen, dat hier terdege rekening mee moet worden gehouden. Een mogelijke verklaring voor deze hoge weerstanden zou kunnen zijn dat de toegepaste omhulling na enige tijd minder doorlatend wordt of doordat zich bij grotere afvoeren zodanige stroomsnelheden in de nabijheid van de drain voordoen, dat turbulente stroming optreedt, waardoor veel grotere drukverliezen op zullen kunnen treden.

Uit het voorgaande blijkt, dat intreeweerstanden niet alleen dienen te worden gemeten aan verschillende combinaties van diameter, perforatie en omhulling, doch tevens in media met verschillende doorlaatfactoren.

De metingen zijn dan ook verricht in drie soorten materiaal, namelijk metselzand ($K \approx 80$ m/dag), stuifzand ($K \approx 10$ m/dag) en Blokzijlzand ($K \approx 0,2$ m/dag). De opgegeven K-waarden zijn gemiddelden, omdat de werkelijke doorlaatfactor sterk afhing van het vullen van de modelbakken. Voor elke proef is deze waarde dan ook apart berekend.

## 3. De meetmethode

### 3.1. Opzet van de metingen

In ons land zijn onder andere door WESSELING (1960), DE JAGER (1960),

HOMMA (1962) en BOUMANS (1963) diverse soorten plastiek drainbuizen in modelbakken onderzocht. De drie eerstgenoemde auteurs voerden hun metingen uit met een horizontale buis. Hierbij werd echter een niet volledig radiale stroming in de buurt van de drains verkregen. Bovendien is bij dit soort metingen de vulling van de buis afhankelijk van de afvoer en is de natte omtrek dus niet bekend en constant. Deze moeilijkheid werd echter overwonnen door de metingen te vergelijken met een volledig geperforeerde buis. Voor een dergelijke buis hoeft de natte omtrek in principe niet dezelfde te zijn als die bij een willekeurige perforatie. Indien echter de intreeweerstand van enige betekenis is, zal spoedig water boven de drains komen te staan en fungeert de hele omtrek als natte omtrek. Een groter nadeel bij dit soort metingen is echter het relatief grote model. Het bij het I.C.W. beschikbare model leende zich dan ook niet voor het gebruik in een groter aantal vanwege de hoge kosten van aanschaf en de eerdergenoemde grootte van het model. Gezocht is dan ook naar een kleiner model, waarbij als uitgangspunt het door BOUMANS (1963) toegepaste model is gekozen. Deze auteur maakte gebruik van een verticale opstelling van de proefbuis, waarbij boven- en onderkant van het model werden gevormd door een ondoorlatende laag. Een alzijdige radiale toestroming werd toegepast door een relatief klein zandlichaam. Metingen aan dit soort model leverden nogal wat bezwaren op wat betreft de afdichting van het zandlichaam aan de bovenzijde en het aanbrengen van voldoende nauwkeurige stijgbuizen, zodat uiteindelijk een enigszins afwijkend model werd gekozen.

Een schets van het gebruikte model is weergegeven in figuur 1. Het bestaat uit een oliedrum van 50 liter met een diameter van 36 cm en een hoogte van 60 cm. In deze bak is een binnenwand van geperforeerd messing aangebracht op een afstand van 0,5 cm van de wand. De aldus ontstane ruimte is aangesloten op een regelbaar overloopsysteem, waarmee een constante hoeveelheid water per tijdseenheid kan worden aangevoerd.

De te onderzoeken drainbuis wordt in het centrum van de bak verticaal opgesteld. Hiertoe is op de bodem van de bak een 1 cm hoge ring bevestigd om een lekdichte aansluiting mogelijk te maken. Na plaatsing van de peilfilters volgt vulling van de bak met het betreffende zand. Een hevel, aangesloten op een regelbare overloop zorgt voor de wateraf-voer. Met behulp van deze overloop kan de waterhoogte in de buis wor-

den geregeld.

Door een verandering van het peil in de buis en in de vrije opening aan de omtrek van het zandlichaam kunnen verschillende stroomsterkten worden ingesteld. Variatie is echter slechts mogelijk binnen bepaalde grenzen. De afgevoerde hoeveelheid water hangt namelijk direct samen met het drukverschil in en de doorlaatfactor van de grond. De druk wordt gemeten door de peilbuizen te verbinden met manometers, vervaardigd van zeer dunne (3 mm) glasbuizen, die naast elkaar op één paneel zijn bevestigd, samen met de manometers die de waterhoogte in de drainbuis en in de opening buiten het zandlichaam aangeven. Bij zeer grote doorlaatfactoren zoals in metselzand zal zelfs bij zeer kleine verhangen al een grote stroomsterkte optreden. Van de andere kant dient echter voor een nauwkeurige bepaling een zeker drukverschil aanwezig te zijn, zodat in dit soort zand niet met kleine stroomsterkten kon worden gemeten.

Bij kleine doorlaatfactoren kan de stroomsterkte niet groter worden genomen dan overeenkomt met de grens van het drukverschil waarvoor de berekening van de stroming geldt.

In totaal stonden 6 van dergelijke modellen ter beschikking. Na de vulling van de bakken werd een aanloopperiode van 3 dagen genomen, alvorens definitieve metingen werden uitgevoerd. Na deze periode werden afvoeren en drukhoogten gemeten te behoeve van de berekening, waarna direct een volgende afvoer werd ingesteld, die werd opgenomen zodra de peilbuizen geen verandering meer aangaven. De gemiddelde duur voor het onderzoek van elke buis kwam hierdoor te liggen op ongeveer 1 week met enkele uitzonderingen van 2 weken en langer voor de uitgevoerde oriënterende metingen. De in de bij dit rapport behorende figuren gegeven waarden voor de intreeweerstand zijn alle gemiddelde waarden verkregen uit 3 tot 5 waarnemingen.

Het inbrengen van de buizen in het vooraf gevulde model bleek niet mogelijk, zodat voor elke proef de gehele bak opnieuw moest worden gevuld. Hierdoor moest tevens voor elke vulling de doorlaatfactor worden bepaald.

### 3.2. Berekening van de intreeweerstand

De stroming die optreedt in het bovenomschreven model kan worden gekarakteriseerd als een vrije putstroming volgens de formule

$$Q = \frac{\pi K(h_1^2 - h_2^2)}{\ln r_1/r_2} \qquad (3)$$

waarin Q = afvoer

K doorlaatfactor van de grond

$h_1$ stijghoogte op een afstand $r_1$ van het centrum van de put

$h_2$ stijghoogte op een afstand $r_2$ van het centrum van de put

Hierbij dient te worden voldaan aan de voorwaarde dat:

$$(h_1 - h_2)/(r_1 - r_2) < \frac{1}{2}$$

Als stijghoogte kan niet het vrije wateroppervlak aan de buitenkant van de bak worden genomen, aangezien tussen open water en grond een nylondoek of een laag glasvlies moest worden gebruikt ter voorkoming van uitspoelen van de grond uit de bak in deze opening. Ook is het niet mogelijk het peil in de binnenbuis te gebruiken vanwege de optredende intreeweerstand. Zou deze afwezig zijn, zoals in het geval van een volledig geperforeerde buis, dan zal bij de geschematiseerde putstroming nog altijd een kweloppervlak aan de rand optreden. Van de door ons uitgevoerde metingen is getracht de hoogte van dit kweloppervlak te berekenen met behulp van daarvoor door PETERSEN, ISRAELSEN EN HANSEN (1952) gegeven formules. Behalve bij zeer grote stroomsterkten in metselzand gaven deze formules echter steeds een kweloppervlak groter dan het gemeten drukhoogteverschil binnen en direct buiten de buis. Dit zou betekenen dat volgens de bedoelde formules alle buizen, ongeacht hun perforatie, omhulling of diameter, een negatieve intreeweerstand hebben in fijner materiaal, hetgeen onmogelijk is. Er is dan ook afgezien van een verdere berekening van dit kweloppervlak. Een oplossing is gezocht in het gebruik van meer peilbuizen en een bepaalde bewerkingsmethode voor de metingen. Zolang namelijk wordt voldaan aan de bovengestelde voorwaarde voor de drukverschillen, blijkt dat de hoogte van het freatisch oppervlak logaritmisch verloopt met de afstand. Door nu de gemeten stijghoogten uit te zetten tegen de logarithme van de afstand tot het midden van de put werd een directe vereffening van de waarnemingen verkregen (fig 2). Voor de berekening van de doorlaatfactor konden uit de verkregen lijnen twee willekeurige hoogten met de daarbij behorende afstanden worden genomen. Deze methode werkt vlugger en nauwkeuriger dan wanneer uit het verschil van elk tweetal peilbuizen een waarde voor K wordt berekend en de ver-

kregen K-waarden achteraf worden gemiddeld.

De intreeweerstand van een bepaalde buis kan worden berekend uit de hoogte van het water binnen de buis $h_i$, de drukhoogte vlak buiten de buis $h_u$ en de per eenheid van lengte toegestroomde hoeveelheid $\frac{Q}{h_i}$, waarbij de totaal gemeten afvoer intensiteit wordt voorgesteld door Q. Dan geldt dus voor de zuivere intreeweerstand:

$$w_i = \frac{h_u - h_i}{Q/h_i} \qquad (4)$$

Hierbij kan $h_u$ worden bepaald uit de vereffening van alle gemeten stijghoogten, namelijk door het snijpunt van de gevonden lijn met de rand van de onderzochte buis (fig 2).

Vlak bij de drain zal de stroming steeds zijn gericht naar de perforaties en is er dus geensprake meer van een radiale stroming. Voor de vereffening van de verkregen aflezingen is het echter noodzakelijk een punt zo dicht mogelijk bij de buitenkant van de buis te hebben. Het laatste gemeten punt lag op een afstand van 4 cm van het centrum van de buis, omdat de grootste onderzochte buisdiameter 7 cm was werd de intreeweerstand niet gedefinieerd door (4) doch werd hiervoor een andere grootheid ingevoerd door in plaats van $h_u$ de stijghoogte op een vaste afstand van 3,5 cm van het centrum van de buis te nemen , dus

$$w_i = \frac{h_{3,5} - h_i}{Q/h_i} \qquad (5)$$

Hiermede is tevens een betere vergelijkingsbasis voor de weerstand van verschillende buisdiameters verkregen. Immers de grootste onderzochte diameter bedroeg 7 cm. Zou men de zuivere intreeweerstand volgens vergelijking 4 van een 7 cm buis willen vergelijken met die van een 4 cm buis, dan zou men bij de laatste nog de weerstand door een grondlaag van 1,5 cm in rekening moeten brengen.

Wordt de weerstand berekend volgens (5) dan moet voor de vaststelling van de zuivere intreeweerstand de gevonden waarde worden verminderd met die van een volledig geperforeerde buis met dezelfde diameter.

Een enkele opmerking over de plaatsing van de peilbuizen is hier op zijn plaats. Aangezien bij de gevolgde werkwijze de stroming niet zuiver

horizontaal is, zal de gemeten stijghoogte niet alleen afhangen van de afstand tot het midden van de buis, doch ook van de hoogte van het peilfilter tot de bodem van de bak. Uit een groot aantal oriënterende metingen is gebleken dat vooral vlak bij de drain grote verschillen in peilbuiswaarnemingen optreden voor buizen met hun filter op verschillende diepten. Uit deze metingen bleek voorts, dat peilbuizen met hun filter op de bodem van de bak onevenredig grote waarden voor de doorlaatfactor en de intreeweerstand opleverden. Dit is verklaarbaar doordat de drain tot op 1 cm boven de bodem ondoorlatend is waardoor vlak bij de drain een verticale stromingscomponent op gaat treden. Buizen op 40 cm of hoger boven de bodem daarentegen gaven onregelmatige aanwijzigingen als gevolg van luchtinsluiting in of tegen de perforatie van de stijgbuis.

Uit metingen aan peilbuizen op verschillende hoogten binnen genoemde grenzen van 0 tot 40 cm werd uiteindelijk een filterhoogte van 29 cm gekozen als zijnde de beste aanwijzing voor het gemiddelde van de waarnemingen op verschillende hoogten.

### 3.3. Tijdsinvloed op de intreeweerstand

Uit vrijwel alle metingen, doch speciaal die waarbij de buizen waren voorzien van een omhulling bleek, dat de intreeweerstand van de buizen toenam met de tijd. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 3. In grof zand werd deze toename van de weerstand hoofdzakelijk veroorzaakt door ijzerafzettingen in de omhulling en op de grens van de omhulling en het zand. Deze ijzerafzettingen zijn te wijten aan het sterk ijzerhoudend leidingwater dat werd gebruikt voor de proeven. Voor continue metingen bleek een gesloten watercircuit minder geschikt vanwege de noodzakelijkheid van filtratie van het gebruikte water, de mogelijkheid van storing (warm lopen motor en pomp) en de met deze factoren samenhangende hoge kosten van installatie. Daarom werd dan ook gebruik gemaakt van leidingwater, dat eerst door een grof filter werd geleid om grove verontreinigingen te verwijderen. Hiernaast werd een kleine hoeveelheid chloor toegevoegd om al te sterke groei van microben te voorkomen.

Bij het gebruikte fijne Blokzijlzand was het oplopen van de intreeweerstand te wijten aan het dichtslibben van het glasvlies. IJzerafzettingen deden zich hier vrijwel niet voor. Na drogen van het gebruikte glasvlies waren daarentegen slibdeeltjes als stof uit te kloppen. Hoewel dit zand voor gebruik zo goed mogelijk werd uitgewassen bleken vol-

doende slib- en andere fijne delen aanwezig te blijven om dichtslibben van het glasvlies mogelijk te maken. Het gebruikte stuifzand bekleedde een tussenpositie en hierbij kan het verschijnsel aan beide genoemde factoren worden toegeschreven.

In de praktijk zal het oplopen van de weerstand waarschijnlijk niet die vorm aannemen welke werd gevonden in de modelproeven, omdat bij de laatste met relatief grote hoeveelheden en vaak nogal forse stroomsterkten werd gemeten, terwijl bij de proeven van langere duur de buizen niet de gelegenheid hadden op te drogen, welke omstandigheid in de praktijk zelden voor zal komen. Men dient echter wel ernstig rekening te houden met een toename van de weerstand met de tijd.

Teneinde een vergelijkingsbasis tussen de verschillende soorten buizen te krijgen werden in dit rapport alle weerstanden berekend na een vaste periode van werking. Hiervoor is een periode van drie dagen gekozen. Zoals boven reeds uiteengezet was een langere periode om praktische redenen niet mogelijk omdat anders de metingen een te lange tijd in beslag zouden nemen.

## 4. Resultaten van de metingen

### 4.1. De invloed van de perforatie

De invloed van de perforatie werd nagegaan aan een serie buizen met een doorsnede van 4 cm, met de gebruikelijke wanddikte van 0,8 mm. Onderzocht werden buizen met 2, 4 en 8 rijen perforaties. Elke rij had 15 perforaties per strekkende meter. Bij een lengte van elke perforatie van 25 mm en een breedte van 0,6 mm werd dus een perforatiegraad van respectievelijk 450, 900 en 1800 $mm^2$ per meter verkregen. Hiernaast werd nog een meting met een geheel geperforeerde buis uitgevoerd. Alle buizen werden gemeten met één laag glasvlies als omhulling. De metingen geschiedden in alle drie de soorten zand. Voor elke meting werd de doorlaatfactor van het zand afzonderlijk bepaald.

Het resultaat is weergegeven in figuur 4. In deze figuur is de intreeweerstand weergegeven als functie van de doorlaatfactor van het medium waarin de buis was geplaatst. Verschillen in doorlaatfactor voor elke soort vulling hangen samen met dichtheidsverschillen van de vulling per proef. De gegeven waarden zijn intreeweerstanden volgens vergelijking 5.

De gemeten intreeweerstand neemt af bij toenemende perforatie en wel meer naarmate de doorlaatfactor van de grond groter is. De relatief grotere intreeweerstanden die werden gemeten bij hoge doorlaatfactoren (meer horizontaal lopen van de lijnen in dit gebied) zijn waarschijnlijk te wijten aan het feit dat hier in de nabijheid van de buis , turbulente stroming is opgetreden, te meer omdat dit verschijnsel zich niet voordoet bij een geheel geperforeerde buis. Zoals boven reeds is uiteengezet moet om een afleesbaar potentiaal verschil in de grond te krijgen in dit geval een grote stroomsterkte worden gebruikt; waardoor het getal van Reynolds in en nabij de perforaties wordt overschreden, hetgeen resulteert in een groter potentiaalverlies. Voor het in de praktijk belangrijke traject van doorlaatfactoren zal dit verschijnsel zich niet of althans in slechts zeer geringe mate voor kunnen doen.

Bij Blokzijlzand bedraagt het verschil in intreeweerstand tussen een geheel geperforeerde buis en een buis met 2 rijen perforaties een factor 2.

In de figuur is de intreeweerstand om praktische redenen weergegeven in de eenheid dagen/meter. Drukt men hem echter uit in sec/cm dan kan de invloed van de doorlaatfactor op de intreeweerstand worden weergegeven als:

$$w_{3,5} = \frac{1}{K(p+5)} e^{(7,3-p)K^{\frac{p}{p-1}}} \qquad (6)$$

waarin $w_{3,5}$ de intreeweerstand volgens vergelijking (5) in sec/cm
$K$ doorlaatfactor in cm/sec
$p$ $^2\log$ (aantal rijen perforaties)

Voor 2 rijen is p = 1, voor 4 rijen p = 2, voor 8 rijen is p = 3. Een geheel geperforeerde buis is gelijkgesteld met 64 rijen. Deze vergelijking is niet alleen afgeleid om een kwantitatieve beschrijving van de invloed van de perforatie te hebben, doch vooral om een betere aanpassing van de lijnen door de gemeten punten te krijgen.

Hoewel een vrij grote invloed van de perforatie op de intreeweerstand kan worden opgemerkt, moet men zich geen overdreven voorstelling maken van deze intreeweerstand. Immers bij een doorlaatfactor K = 0,1 m/dag is de intreeweerstand van een buis met 2 rijen perforaties 1,25 dagen/m. Voor een geheel geperforeerde buis is dit 0,64 dagen per meter. De zui-

vere intreeweerstand van de eerstgenoemde buis is dus 1,25 - 0,64=0,61 dagen/m.

Zet men deze verschillen, dus de zuivere intreeweerstand afzonderlijk af, dan ontstaat figuur 5. Stelt men het voor de praktijk belangrijke gebied op het traject met een doorlaatfactor van 0,1 tot 10 m/etm, dan kunnen de lijnen met goede benadering worden vervangen door rechte lijnen waarvoor geldt:

$$w_i = a\ K^{-b}$$

De waarde van b ligt bij de gegeven lijnen tussen 0,9 en 1,1, dus rondweg 1, terwijl a de waarden 0,08 tot 0,0025 heeft. Deze waarden liggen dus aanzienlijk lager dan die welke door DE JAGER (1960) werden gevonden. Dit ligt, zoals BOUMANS (1963) reeds verklaarde daaraan dat de hier gevonden waarden niet op deze wijze met de vergelijking op bladzijde 3 mogen worden vergeleken door het verschil in proefopzet. Deze onderzoeker geeft enkele waarden voor een 4 cm buis met 4 rijen perforaties die vergelijkbaar zijn met de hier verkregen resultaten. Bij een doorlaatfactor van gemiddeld 7,5 m/etm komt hij op een intreeweerstand van 0,004. Uit figuur 5 kan voor deze K-waarde een intreeweerstand van 0,008 worden afgelezen. Bij een doorlaatfactor van 2,5 m/etm vindt BOUMANS $w_i = 0{,}8.10^{-3}$, terwijl hier wordt gevonden $2 \cdot 10^{-2}$.

In de praktijk worden intreeweerstanden van drainreeksen bepaald door meting van de drukhoogte in de reeks en aan de rand van de drainsleuf. De gevonden waarden zullen dus altijd een aanzienlijk deel van de weerstand bevatten dat moet worden toegeschreven aan de radiale weerstand. De aldus gevonden waarden mogen dan ook niet zonder meer worden vergeleken met de hier vermelde.

Men kan zich nu afvragen wat de praktische betekenis van de gevonden waarden is. Stelt men hiertoe een drainafstand van 15 meter als gemiddelde afstand in ons land en een afvoer van 7 mm/etm dan is NL $\approx$ 0,1 en geeft onderstaande tabel de drukhoogteverliezen bij verschillende doorlaatfactoren in de sleuf.

Tabel 1. Drukhoogteverliezen in cm tengevolge van de zuivere intreeweerstand van 4 cm buizen met verschillende perforaties.

| K-sleuf | Perforaties 2 rijen | 4 rijen | 8 rijen |
|---|---|---|---|
| 10 cm/dag | 6,1 | 4,1 | 3,4 |
| 50 cm/dag | 1,5 | 0,9 | 0,5 |
| 1 m/dag | 0,5 | 0,25 | 0,1 |

Uitgaande van een maximaal toelaatbaar extra drukhoogteverlies van 5 cm blijkt uit bovenstaande tabel dat aan deze voorwaarde wordt voldaan door een perforatie met 2 rijen. Bovendien blijkt dat er weinig verschil bestaat tussen een perforatie van 2 en 4 rijen, zodat in praktische gevallen een perforatie van 2 rijen (450 $mm^2$/meter) voldoende zal zijn, mits de doorlaatfactor van de drainsleuf groter is dan 10 cm/dag. Alleen indien zeer slechte doorlatendheden in de sleuf mogen worden verwacht zal tot dubbele perforatie moeten worden overgegaan, om zonder noemenswaardig drukverlies de afvoer te verwerken.

Het effect van het aantal perforaties bij 5 en 7 cm buizen kwam veel minder duidelijk naar voren. Alleen in grof zand trad bij 5 cm buizen nog een meetbare verlaging van de intreeweerstand op bij overgang van 4 naar 5 rijen perforaties. Hier werden echter slechts 4 en 5 rijen perforaties onderzocht. Voor een 7 cm buis werd deze afname echter juist in fijn zand geconstateerd bij overgang van 4 naar 7 rijen perforaties, doch alleen bij zeer hoge waarden van Q die voor de praktijk niet belangrijk zijn. Tussen 6 en 7 rijen trad geen verschil meer op.

Het niet optreden van een invloed van de perforatie bij deze grotere buizen zal deels moeten worden toegeschreven aan de onregelmatigheden in de stroming die vlak rondom de buis optreden in verband met de stroming naar de perforaties, waardoor zeer onregelmatige aflezingen van de stijgbuis op een afstand van 4 cm werden gemeten. Hiermee is dus tevens een deel van de grote spreiding in de gevonden waarden verklaard. Zoals boven opgemerkt diende, speciaal bij grotere buizen een peilbuis zo dicht mogelijk bij de wand van de drainbuis te worden opgesteld om een nauwkeurige vereffening mogelijk te maken.

Om technische redenen werd in alle gevallen gewerkt met één laag glasvlies. Bij het interpreteren van de gegevens zal men er dus op be-

dacht moeten zijn dat de invloed van de perforatie zelf in werkelijkheid groter zal kunnen zijn omdat een deel van de invloed door de gebruikte omhulling kan zijn opgeheven.

4.2. De invloed van de diameter

Zoals in de vorige paragraaf reeds werd opgemerkt kon bij de 5 en en 7 rijen perforaties in de grotere buizen geen of weinig invloed van de perforaties worden waargenomen. Het effect van de perforatie zal bij deze buizen echter in zoverre dezelfde moeten zijn als bij kleinere buizen. Om dat effect vast te stellen zal echter met grotere modellen moeten worden gewerkt. De gegevens van deze metingen zijn samengevoegd met de metingen aan 4 cm buizen met 4 rijen perforaties. Het resultaat is weergegeven in figuur 6. In deze figuur staat voor een 7 cm buis de zuivere intreeweerstand omdat de intreeweerstand van een geheel geperforeerde buis met deze diameter inderdaad als nul werd gemeten . Ondanks de vrij grote spreiding van de meetpunten zijn een drietal gemiddelde lijnen getrokken. Uit deze lijnen blijktdat de intreeweerstand van een 5 cm buis ongeveer en factor 1,$\frac{1}{3}$ en die van een 7 cm buis ongeveer een factor 2 lager ligt dan die van een 4 cm buis met 4 rijen perforaties. Voor een 7 cm buis moet de perforatiegraad hoger zijn om dezelfde zuivere intreeweerstand te krijgen. De gemiddelde zuivere intreeweerstand van de onderzochte 7 cm buizen komt overeen met die van een 4 cm buis met 4 rijen perforaties.

Neemt men voor de toepassing van de resultaten op een praktisch geval wederom een drainafstand van 15 meter en een afvoer van 7 mm per etmaal dan krijgt men de drukhoogteverliezen weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Drukhoogteverliezen in cm tussen 3,5 cm uit het centrum van de drain en in de drain tengevelge van de intreeweerstand bij drainreeksen van verschillende diameter en 4 rijen perforaties, voor een drainafstand van 15 meter en een afvoer van 7 mm/dag

| K-sleuf | Diameter buis 4 cm | 5 cm | 7 cm |
|---|---|---|---|
| 10 cm/etm | 9,8 (5,5) | 5,6 | 4,9 |
| 50 cm/etm | 2,0 (1,1) | 1,2 | 1,0 |
| 1 m/etm | 1,1 (0,3) | 0,6 | 0,5 |

Deze tabel is niet zonder meer vergelijkbaar met tabel 1, omdat hier de intreeweerstand is genomen als het verschil tussen 3,5 cm van het centrum van de drain en de drain zelf. Dit is gedaan om een betere vergelijking tussen de verschillende buis diameters te krijgen. Uit tabel 2 blijkt duidelijk, dat het bij slecht doorlatende gronden is gewenst een buis van een grotere diameter te nemen. Bij grotere doorlaatfactoren zijn de waarden van zodanige grootte, dat het nemen van een grotere buis van weinig belang is.

Teneinde een betere vergelijking mogelijk te maken is dat deel van de weerstand, dat is toe te schrijven aan de radiale weerstand over de laatste 3,5 cm bij de 4 cm buizen tussen haakjes aangegeven. Hoewel aan de aldus verkregen cijfers geen absolute betekenis mag worden toegeschreven vanwege de grote spreiding in de waarnemingen blijkt toch wel, dat het voordeel van een grotere buis hoofdzakelijk zal moeten worden toegeschreven aan de gunstiger radiale weerstand en niet aan een verkleining van de intreeweerstand, te meer omdat een geheel geperforeerde 7 cm buis inderdaad een intreeweerstand nul aangaf.

4.3. Invloed van de omhulling

Als illustratie voor de invloed van de omhulling kan figuur 7 dienen. In deze figuur zijn metingen aan 4 cm buizen met 4 rijen perforaties en met verschillende omhullingen samengebracht. Deze omhulling betreft respectievelijk 0, 1, 2 en 5 lagen glasvlies en een laag van 1 cm glaswol, samengehouden met één laag glasvlies. Het gebruikte glasvlies was zogenaamd Mefi-filter. De bij dit filter aanwezige laag papier werd voor het onderzoek verwijderd. Om technische redenen kon geen buis zonder omhulling worden gemeten in Blokzijlzand.

Allereerst valt op, dat buizen zonder omhulling een aanzienlijk hogere weerstand vertonen dan buizen met omhulling. In de tweede plaats kan worden opgemerkt dat het effect van de omhulling in grof zand van weinig of geen invloed is. Het sterk oplopen van de gevonden lijnen is te verklaren uit het feit dat de doorlaatfactor van het gebruikte omhullingsmateriaal nagenoeg dezelfde waarde heeft als die van het grove metselzand.

Bij stuifzand laat een toename van de omhullingsdikte de sterkste daling van de intreeweerstand zien. Dit zal moeten worden toegeschreven aan de relatief kleine toename van de intreeweerstand met de tijd.

Vergelijken we figuur 7 met figuur 6 dan blijkt dat omhulling met 5 lagen glasvlies ongeveer neerkomt op eenzelfde radiale weerstand als die voor een buis van 5 cm. Omhulling met 1 cm glaswol in fijn zand valt zelfs beter uit dan een buis van 7 cm.

Omhulling blijkt dus een zeer gunstig effect te hebben op de verlaging van de intreeweerstand. Men dient echter te bedenken dat bij deze omhullingen steeds een zeer groot tijdseffect optreedt (fig 3), zodat het voordeel van een omhulling in de praktijk nooit tot zijn volle recht zal komen.

4.4. Invloed van de afvoer

Bij de verrichte proeven diende de vraag te worden beantwoord of de grootte van de afvoer invloed heeft op de intreeweerstand. Bij de tot nu toe verrichte metingen kon een dergelijk effect, althans in Blokzijlzand en stuifzand, niet worden vastgesteld. De in dit rapport gegeven resultaten werden verkregen uit metingen met een gemiddelde tijdsduur van ongeveer een week. De toename van de intreeweerstand met de tijd tussen de eerste en de laatste meting kon niet worden geëlimineerd.

In de beide fijnere zandsoorten werd gewerkt met afvoerhoeveelheden van 0,04 - 0,2 cc/sec en 3 - 10 cc/sec, hetgeen neerkomt op een gemiddelde toestroming per eenheid van lengte van 0,001 - 0,005 cc/sec en van 0,075 - 0,25 cc/sec. In vergelijking met praktijkdrainages zou dit bij een drainafstand van 20 meter neerkomen op een afvoer van 0,4 - 2 mm per dag en van 30 - 100 mm/dag.

Zoals reeds eerder opgemerkt, werd in grof zand een relatieve toename van de intreeweerstanden gevonden. Als mogelijke verklaring hiervoor werd aangevoerd, dat hierbij turbulente stroming op zou treden. Hier zou men dus de situatie kunnen hebben dat bij grotere afvoeren een hogere intreeweerstand optreedt. In dit zand werd echter gewerkt met een afvoer in de orde van grootte van 15 - 50 cc/sec, hetgeen neer zou komen op een afvoer van 150 - 500 mm/etm.

De gebruikte stroomsterkten geven afgezien van die in grof zand, geen aanleiding te veronderstellen dat turbulente stroming is opgetreden.

## 5. Conclusies

1. Er bestaat een direct verband tussen intreeweerstand en doorlaatfactor van de grond in de drainsleuf. In het voor de praktijk belangrijke gebied kan worden gesteld dat de intreeweerstand omgekeerd evenredig is met de doorlaatfactor van de grond.

2. De invloed van de perforatie (bij gelijkblijvende diameter van de buis) op de intreeweerstand bleek duidelijk bij de 4 cm buis en in mindere mate bij de 7 cm buis (figuren 4 en 6). Bij de laatstgenoemde buis is dit te wijten aan de gebruikte proefopstelling en een te klein aantal metingen.

3. Bij een grotere diameter van de buis moet de perforatie toenemen wil dezelfde zuivere intreeweerstand worden bereikt als die bij kleinere buizen. Uit de figuren 5 en 6 blijkt dat de gemiddelde gevonden zuivere intreeweerstand van 7 cm buizen(4 en 7 rijen perforaties) overeen komt met die van een 4 cm buis met 4 rijen perforaties.

4. De omhulling van de buis blijkt van grote betekenis te zijn voor de grootte van de intreeweerstand. (fig 7). Globaal genomen is de invloed zodanig dat de som van buis diameter en omhulling minstens gelijkgesteld mag worden aan een met deze som overeenkomende diameter van een buis zonder omhulling.

5. In alle proeven werd een zeer sterk tijdeffect op de intreeweerstand waargenomen. Eensdeels is dit toe te schrijven aan slibafzetting in het omhullingsmateriaal, andersdeels is dit te wijten aan vrij sterke ijzerafzetting gedurende de proef. Voor praktische toepassing van omhullingsmateriaal zal rekening moeten worden gehouden met dit verschijnsel. Nagegaan zal moeten worden in hoeverre tijdelijk droog zijn van de reeksen van invloed is op dit verschijnsel en hoe lang dit effect zich doet gelden.

6. Voor een 4 cm buis kan worden volstaan met een perforatie van 450 $mm^2$/meter. Alleen in slecht doorlatende gronden ($k \approx 10$ cm/dag) zal een intensievere perforatie enig merkbaar effect op de drainage kunnen hebben (tabel 1) Een verbeterde werking in dit soort gronden

zal overigens beter mogelijk zijn door toepassing van meer omhullingsmateriaal (zie 4) of door het gebruik van een grotere buis dan door toepassing van een groter aantal perforaties.

7. Voor een 7 cm buis zal een perforatie van 900 $mm^2$/meter nodig zijn, wil de zuivere intreeweerstand vergelijkbaar zijn met die voor 4 cm buizen. Voor 5 cm buizen zou een tussenwaarde van bijvoorbeeld 6 $mm^2$/meter kunnen worden voorgesteld.

8. Combineert men de invloed van diameter en perforatie dan zal een 7 cm buis met 900 $mm^2$ perforatie gunstiger zijn dan een 4 cm buis met 450 $mm^2$ en wel op grond van de lagere radiale weerstand in het eerste geval.

## 6. Literatuur

BOUMANS, J.H., 1963 - Over de instroming en doorstroming bij drainbuizen zonder en met afdekking Cultuurtechnisch Tijdschrift 3.

ERNST, L.F., 1962 - Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Verslag Landbouwkundig Onderzoek 67 - 15.

HOMMA, F.H., 1961-Metingen van de intreeweerstand van buizen welke met in water oplosbare zouten zijn geïmpregneerd. Rapport Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding oktober 1961.

JAGER, A.W., DE 1961-Diameter en perforatie van plastic drainbuizen De Ingenieur 72 B : 167-171

PETERSON, D.F., O.W. ISRAELSEN and V.E. HANSEN 1952-Hydraulics of wells Techn. Bull. 351 Agr. Expt. Station Logan Utah.

WESSELING, J., 1959-Enige resultaten van het onderzoek van de perforatie van plastiek drainbuizen. Rapport Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding november 1959.