

# Toepassing van plastic bij drainage

*The use of plastics in drainage*

*Summary see page 364*

J. WESSELING,

*Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding*

## INLEIDING

Kunststoffen bieden op velerlei gebied vaak ongekennde mogelijkheden. Door hun grote corrosiebestendigheid en gering soortelijk gewicht zijn plastic buizen uitermate geschikt voor gebruik als grondleidingen. Als zodanig worden zij reeds een aantal jaren gebruikt bij waterleidingbedrijven. Bedenkt men, dat in vele landen de kwaliteit van gebakken aarden drainbuizen vaak slecht is en de prijs hoog, dan is het geen wonder, dat velen zijn overgegaan tot onderzoek naar de mogelijkheid van toepassing van plastic drainbuizen. Een andere niet minder belangrijke stoot tot dit onderzoek zijn de hoge aanlegkosten van de drainage geweest. Door de toepassing van plastic zijn nl. geheel andere systemen van aanleg mogelijk die sterk arbeidbesparend zijn.

Als materiaal voor drainbuizen komen in aanmerking polyethyleen en polyvinylchloride (P.V.C.). De oudste onderzoekingen in de U.S.A. (Schwab, 1955) hebben betrekking op polyethyleen. Dit materiaal wordt daar thans nog wel toegepast, doch in de Europese landen is men langzamerhand volledig overgegaan op het hier relatief veel goedkopere P.V.C.

In ons land komt de prijs van een plastic drainage thans vrijwel overeen met die van een conventioneel drainagesysteem. In het buitenland worden voor sommige systemen prijzen van 25 tot 50 % van die van een conventioneel systeem opgegeven. Hierbij moet men echter wel bedenken, dat in ons land de kosten van drainage relatief laag zijn. Bovendien worden in het buitenland vaak minder zware eisen gesteld aan de kwaliteit van de buizen en de zorgvuldigheid van het leggen. Bij de huidige ontwikkeling van de techniek van het leggen van plastic buizen raken de hydrologische eisen die aan een drainagesysteem gesteld moeten worden vaak op de achtergrond. In dit artikel zal dan ook worden nagegaan, welke mogelijkheden en moeilijkheden zich bij de tot nu toe bekende systemen voordoen en langs welke weg hiervoor een oplossing gezocht dient te worden.

## DE KEUZE VAN HET SYSTEEM VAN AANBRENGEN VAN DE BUIZEN

Bij de tot nu toe gevolgde werkwijzen bij het leggen van de buizen zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden en wel:

- a het in de grond brengen van de buizen door middel van een molploeg of soortgelijk werktuig;
- b het leggen van de buizen in een van te voren gegraven sleuf.

De eerste groep methoden is te beschouwen als een voortzetting van de reeds gedurende tientallen jaren ondernomen pogingen drainbuizen in de grond te trekken door middel van een molploeg. Bij deze methoden vervalt het grondverzet voor het graven van de sleuf. Het aanbrengen van de buis zelf kan nog op twee wijzen geschieden. Bij de eerste proeven in Nederland (nl. in de Bathpolder) werd een polyethyleenbuis vanuit de sloot door middel van een molploeg in de grond getrokken. Dat systeem is alleen mogelijk met dit materiaal, omdat deze soort buis zich leent om op haspels te worden opgerold. Door de relatief hoge prijs van polyethyleen zal dit systeem echter in de meeste landen weinig ingang vinden. Wil men gebruik maken van het goedkopere harde P.V.C., dan moet men overgaan tot het ter plaatse vormen van de buis. Dit soort buis wordt nl., omdat het niet flexibel is, geleverd in beperkte lengte (doorgaans 6 m). In het algemeen gaat men dan ook bij toepassing van P.V.C. uit van een strip die in opgerolde toestand op een trommel kan worden meegevoerd. De al of niet geperforeerde strip wordt dan via het mes van de molploeg in de grond gevoerd en door middel van een vormelement tot buis gevormd. Hierbij kunnen dan nog weer verschillende werkwijzen worden toegepast. Het verkregen resultaat is schematisch weergegeven in figuur 1. In het eenvoudigste geval (Busch, 1958) wordt de strip hoefijzervormig in de molgang aangebracht, waarbij dus de onderkant van de molgang onbeschermd blijft. Bij een door de Nederlandse Heide-maatschappij onderzocht systeem werd de niet geperforeerde strip geheel rond gevormd (De Jager, 1959). De overlapping doet dienst als toestroomopening voor het water. Dit systeem werd onlangs ook in Finland beproefd (Juusela

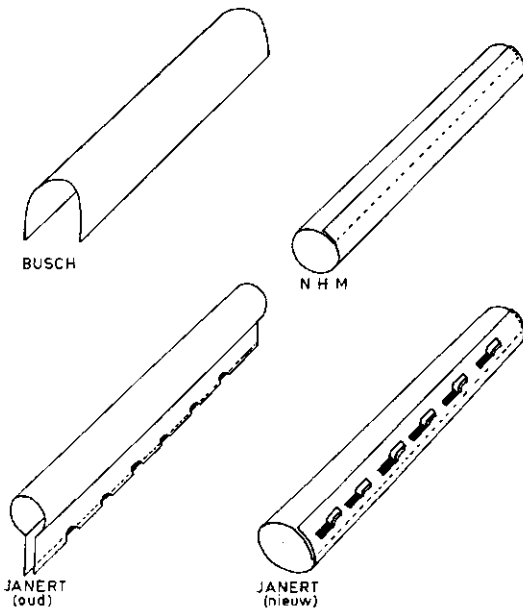


Fig. 1 Drainbuizen gevormd uit plastic strip

Fig. 1 Plastic tubes formed by a mole plough

Taneli, 1960). Het door Janert (1960) toegepaste systeem gaat uit van een strip, die aan een zijde is voorzien van halfcirkelvormige uitsparingen. De buis wordt in de weergegeven vorm gebracht door warmte aan het vormsysteem toe te voeren. Dit laatste heeft het voordeel dat met dikkere strip gewerkt kan worden. De grens van de mogelijkheid van koud vormen van zuiver P.V.C. ligt nl. bij een dikte van ca. 0,7 mm. Wil men dikkere strip gebruiken, dan zal men bij de vorming warmte moeten toepassen. Het systeem van Janert werd onlangs gewijzigd in die zin, dat de zijden van de strip door middel van een ponssysteem aan elkaar worden geklonken. Hierop zijn nog verschillende variaties mogelijk door de randen van de strip een bepaalde vorm te geven.

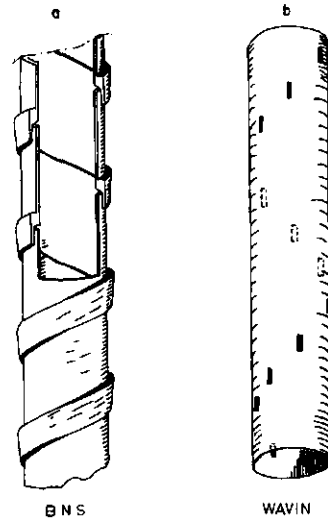


Fig. 2 In Nederland toegepaste plastic drainbuizen

Fig. 2 Preformed plastic tubes used in the Netherlands

Bij de tweede groep van werkwijzen wordt een van te voren gevormde (en eventueel geperforeerde buis) gelegd in een gegraven sleuf. Figuur 2 geeft een tweetal voorbeelden van in ons land toegepaste buizen.

Het inbrengen van een buis door middel van een molploeg heeft als groot voordeel, dat geen grondverzet nodig is. Het vroegere bezwaar dat bij het intrekken van buizen over grotere lengten de wrijving te groot werd, vervalt bij het gebruik van plastic strip geheel. Worden plastic buizen toegepast dan kunnen ook deze door het mes van de molploeg gevoerd worden. De benodigde trekkracht kan thans nauwelijks meer bezwaren opleveren. Alleen op stenige grond kunnen zich nog moeilijkheden voordoen, doch deze treden ook op bij de toepassing van smalle sleuven.

Eventuele storingen van een vormapparaat kunnen afwijkingen geven in de voor de watertoestroming benodigde opening. Aan de constructie van een dergelijk apparaat zal dan ook veel aandacht moeten worden geschonken evenals aan de storingsvrije werking.

Een vaak te weinig overdacht nadeel van het gebruik van een molploeg is het zogenaamde „moleffect”. Immers, de grond die verplaatst wordt bij de vorming van de molgang moet een plaats vinden in de omgeving. Dit heeft een verdichting van de grond rondom de gang tot gevolg. Dat dit van grote betekenis kan zijn voor de toevoer van het water laat figuur 3 zien (Wesseling, 1957). Hier is verondersteld dat een enkele gang zich bevindt in een grond met doorlaatfactor  $K_1$ . Door het moleffect is een bepaalde laag verdicht tot een doorlaatfactor  $K_2$ . Wanneer deze verdichting enige betekenis krijgt of de grond matig of slecht doorlatend is, wordt de toestroming aanzienlijk belemmerd. Dit verschijnsel kan ook de korte levensduur van een

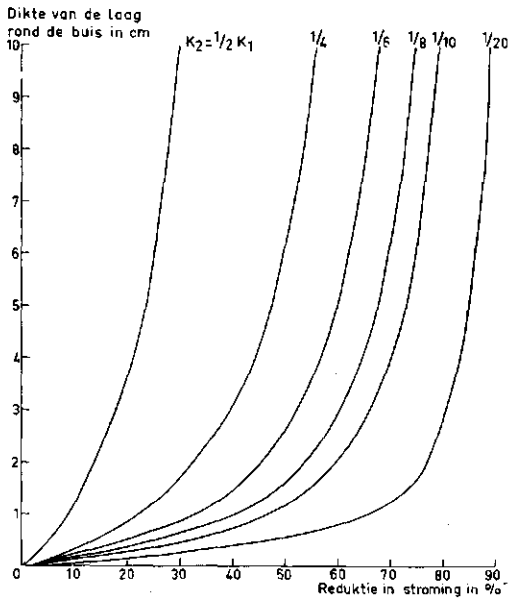


Fig. 3 Reductie van de stroming naar een molgang doordat in de verdichte laag rondom de gang de doorlaatfactor  $K_1$  van de oorspronkelijke grond is gereduceerd tot  $K_2$

Fig. 3 Relation of the percentage reduction of flow into a single mole drain (absciss) and the thickness in cm of the compressed layer around the drain (ordinate), when the hydraulic conductivity in that layer is reduced from  $K_1$  (undisturbed soil) to  $K_2$

moldrainage verklaren. Immers door de slechte toestroming naar de molgang zal vrijwel het gehele drainerende effect van een moldrainage moeten worden toegeschreven aan de stroming door de door het mes gevormde sleuf. Is deze sleuf weer dicht, dan is het systeem onwerkzaam. Het genoemde effect zal uiteraard sterk samenhangen met de vochttoestand van de grond tijdens de uitvoering, zodat het verklaarbaar is dat een goed werkende moldrainage slechts op bepaalde gunstige tijdstippen kan worden uitgevoerd (Van Someren, 1958).

Bij het systeem van Janert wordt geen gebruik gemaakt van een molploeg, doch van een ganzevoet („Hobel”). Dit is een schuin geplaatste staalplaat waarover bij het rijden van de machine de grond naar boven wordt opgelicht en na het passeren van het apparaat in de sleuf terugvalt. Hierbij wordt het volledige effect van een doorlatende sleuf verkregen, terwijl tevens de benodigde trekkracht aanzienlijk minder hoeft te zijn.

Legt men de buis in een van te voren gegraven sleuf, dan houdt men de drainerende werking van deze sleuf. De buis kan zeer uniform geperforeerd worden, waardoor het gevaar voor dichtslibbing aanzienlijk verkleind wordt. Waarschijnlijk kan dan ook een afdekking met turfstrooisel achterwege worden gelaten. Dat het systeem, waarbij de buis in een gegraven sleuf wordt gelegd, in Nederland vrijwel uitsluitend wordt toegepast heeft verscheidene oorzaken. In de eerste plaats wellicht het ter beschikking hebben van goedwerkende sleuvengravers, die in het buitenland vaak minder tot hun recht zouden komen door de daar veelvuldig voorkomende steenachtige bodem. In de tweede plaats het verkrijgbaar zijn van goedkope dunwandige P.V.C.-buizen (ca. f 0,50 per meter). Ook het feit dat hier te lande zeer hoge eisen gesteld worden aan de drainage zal aan het gebruik van deze methode wel niet vreemd zijn.

Er zij hier gewezen op het feit dat in een aantal gronden de drainerende werking van de sleuf zeker niet is te verwaarlozen. Bij de toepassing van zeer smalle sleuven dient dan ook, vooral op zwaardere gronden, de nodige voorzichtigheid in acht te worden genomen.

#### DIAMETER, WANDDIKTE EN PERFORATIE

Bij een conventioneel drainagesysteem treedt het water in de buizenreeks binnen door de stootvoegen tussen de afzonderlijke buizen. Om in een plastic buis water te laten toetreden, zal een bepaalde perforatie moeten worden aangebracht. Nu zijn wanddikte, diameter en perforatie ten nauwste met elkaar verbonden. De buis moet, wil hij de gronddruk kunnen weerstaan, een zekere stevigheid hebben. Bij een toenemende diameter zal over het algemeen een grotere wanddikte gewenst zijn. De stevigheid van de buis vermindert echter in niet onaanzienlijke mate door het aanbrengen van een perforatie. De drie factoren moeten zodanig met elkaar in evenwicht zijn dat geen al te groot vervormingsgevaar voor de buis optreedt.

In figuur 2 werd een tweetal voorbeelden van hier te lande gebruikte buizen gegeven. Bij de spiraalsgewijze gevormde BNS-buis treedt het water toe door de in die buis aanwezige stootvoegen. Bij de WAVIN-buis worden overlangse perforaties toegepast. Voor de sterkte van de buis is dit soort perforaties weliswaar ongunstiger dan een dwarsperforatie, maar in technisch opzicht zijn ze gunstiger. Bij het inbrengen van de buizen moeten deze nl. over een bepaalde hoek gebogen worden, wat bij dwarsperforatie aanleiding zou kunnen geven tot knik.

De vraag omtrent de diameter van de buis is het eenvoudigst op te lossen. Men kan immers als eis stellen, dat de transportcapaciteit van de buis zodanig moet zijn, dat een bepaalde hoeveelheid water wordt afgevoerd. Visser (1938, 1953) geeft voor het transport in geheel gevulde, goed gelegde en van goede kwaliteit zijnde drainbuizen de vergelijking

$$\frac{dh}{dl} = 6,8 \cdot 10^{-4} \frac{v^{1,818}}{d^{1,221}} \quad (1)$$

waarin

$\frac{dh}{dl}$  = het verhang in m/m

$v$  = de stroomsnelheid in m/sec

$d$  = de binnendiameter van de buis in m.

Bij ontwatering door een drainreeks neemt de toestromende hoeveelheid water vanaf het uiteinde van de drain tot de uitmonding bij elke stootvoeg sprongsgewijze toe. Stelt men de af te voeren hoeveelheid (mm/etm.) voor door  $m$ , de drainafstand door  $b$  en de lengte van de reeksen door  $l$ , dan wordt de af te voeren hoeveelheid voorgesteld door  $Q = mbl$ . Voorts geldt in de buis dat  $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ . Invullen van deze waarden in (1) geeft voor het verhang (Visser, 1953):

$$\frac{dh}{dl} = 6,8 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{4 mbl}{\pi d^2} \right)^{1,818} \cdot \frac{1}{d^{1,221}} \quad (2)$$

Neemt men aan dat de buis geheel is gevuld en de drukhoogte aan de uitmonding nul is ( $h = 0$ ), dan geeft integratie van (2)

$$h = \frac{6,8 \cdot 10^{-4}}{2,818} \left( \frac{4}{\pi} mb \right)^{1,818} d^{-4,857} l^{2,818} \quad (3)$$

Daar echter het verhang  $i = \frac{h}{l}$  en het op de reeks afwaterende oppervlak  $O = b \cdot l$  is, geeft (3) voor de op een buis af te wateren maximale oppervlakte  $O$  bij een specifieke afvoer  $m = 7$  mm/etm (0,810 l/sec. ha)

$$O = 94,64 \cdot 10^3 i^{0,55} d^{2,672} \quad (4)$$

Voor elke willekeurige diameter en elk willekeurig verhang kan uit deze vergelijking  $O$  worden bepaald.

Franke (1955) geeft een soortgelijke vergelijking, namelijk:

$$O = 839 C \cdot d^{2,5} i^{0,5} \quad (5)$$

waarin de waarde voor  $C$  kan worden berekend met de voor stroming geldende weerstandsvergelijking van Colebrook ( $C$  ligt, voor drainbuizen, tussen ongeveer 46 en 58 afhankelijk van de diameter en helling van de reeks).

Volgens opgave van de N.V. WAVIN te Hardenberg kan het drukverlies in plastic buizen worden weergegeven door de vergelijking

$$\frac{dh}{dl} = 5,8 \cdot 10^{-4} \frac{v^{1,76}}{d^{1,24}} \quad (6)$$

Integratie van deze vergelijking als boven beschreven geeft voor de af te wateren oppervlakte

$$O = 121 \cdot 10^3 d^{2,65} i^{0,57} \quad (7)$$

PLASTIC BIJ DRAINAGE

In tabel 1 zijn de waarden van  $O$  volgens vergelijking (5) en (6) weergegeven voor gewone drainbuizen van 4, 5, 6 en 8 cm en voor plastic buizen van dezelfde diameter volgens vergelijking (7).

Tabel 1 Maximaal toelaatbare oppervlakten in ha bij een specifieke afvoer van 7 mm/etm

d	i	Gewone drainbuizen		Plastic buizen	
		Clay tiles			Plastic tubes
		Visser	Franke		
0,04	0,0010	0,39	0,40	0,47	
	0,0015	0,49	0,48	0,56	
	0,0020	0,56	0,57	0,66	
0,05	0,0010	0,70	0,69	0,84	
	0,0015	0,89	0,87	1,03	
	0,0020	1,04	1,02	1,24	
0,06	0,0010	1,15	1,14	1,36	
	0,0015	1,43	1,43	1,67	
	0,0020	1,67	1,68	2,02	
0,08	0,0010	2,48	2,48	2,92	
	0,0015	3,09	3,11	3,58	
	0,0020	3,70	3,65	4,32	

Table 1 Maximal drainable area in ha for tubes of various diameters ( $d$ ) and gradient ( $i$ ) and a specific discharge of 7 mm/24 hours, according to eq (4) (Visser, 1953), eq (5) (Franke, 1955) and eq (7) (plastic tubes)

Het blijkt dat de drukverliezen in plastic buizen, vooral bij grotere diameter iets geringer zijn. In de praktijk neemt men doorgaans de helft van de berekende oppervlakten, om bij half dichtgeslibde buizen nog voldoende transportcapaciteit over te hebben. Door de meer regelmatige vorm van de openingen in plastic buizen zou men kunnen verwachten dat de kans op dichtslibben van een dergelijke buis geringer is, zodat hier geen overcapaciteit van 100 % nodig zou zijn. Stelt men eenvoudigheidshalve de capaciteit van de buis evenredig met het kwadraat van zijn diameter en heeft een buis van 5 cm diameter een overcapaciteit van 100 % dan zal bij 50 % overcapaciteit een buis van 4,35 cm nodig zijn terwijl bij 0 % overcapaciteit zou kunnen worden volstaan met een buis van 3,5 cm. Verkleining van de overcapaciteit geeft dus relatief weinig vermindering in diameter van de buis. De aanlegkosten van bijvoorbeeld een 5 cm buis en een 4 cm buis zullen vrijwel dezelfde zijn, zodat een uitverlaging van de overcapaciteit, op grond van een verminderde kans op dichtslibbing, geconcludeerde verkleining van de diameter van weinig of geen betekenis zal zijn. Omtrent de intreeweerstand van gewone drainbuizen zijn verschillende theoretische afleidingen bekend o.a. van Ernst (1954), Kirkham (1950) en Kozenv (1933). De resultaten van de betreffende vergelijkingen lopen slechts weinig uiteen. Volgens Ernst (1954) kan de drukhoogte nodig voor het overnemen van de weerstand in de stootvoegen bij een stootvoegwijdte van 0,5 mm worden weer-

gegeven door  $\frac{2,5 NL}{K}$  waarbij K de doorlaatfactor van de grond rondom de drain is, N de afgevoerde hoeveelheid en L de drainafstand. Daar stootvoegbreedten moeilijk zijn vast te stellen en in modelproeven vrijwel niet reproduceerbaar, zal men deze theoretische afleidingen als vergelijkingsbasis voor de perforatie van plastic buizen moeten benutten.

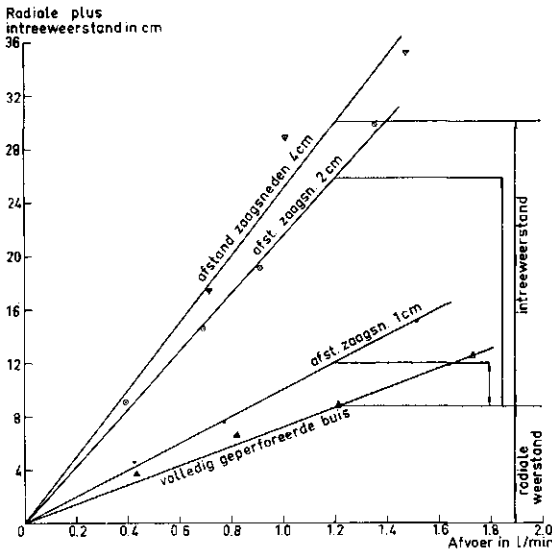


Fig. 4 Het verband tussen afvoer en som van radiale plus intree weerstand voor polyethyleenbuizen met dwarse zaagsneden op verschillende afstanden

Fig. 4 Relation between discharge in liter/min (absciss) and the sum of radial- and entrance resistance in cm (ordinate) for poly-aethylene tubes with various distances between cross-wise slits (from bottom to top: fully perforated; distance slits 1 cm; 2 cm; 4 cm)

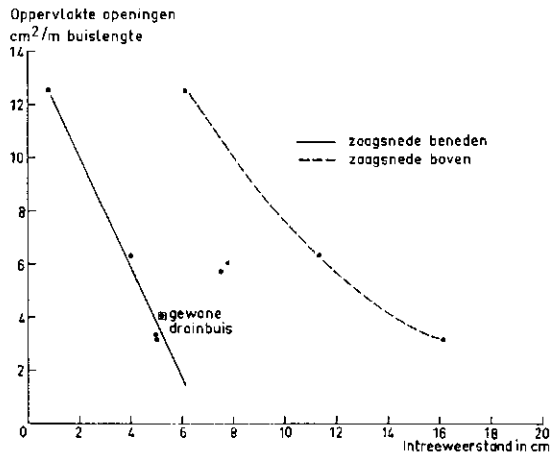
Een eerste onderzoek naar de benodigde perforatie is mogelijk in een modelbak gevuld met zand. Door hierin bij verschillende constante neerslag- en afvoerintensiteiten de vorm van het freatisch vlak na te gaan, kan de som van radiale en intree weerstand worden vastgesteld. Een bepaling van de radiale weerstand kan geschieden door eenzelfde meting te herhalen met een volledig geperforeerde buis, waarvan de intree weerstand is te verwaarlozen. De aldus verkregen intree weerstand kan dan worden vergeleken met die van een normale drainbuis. Een dergelijk onderzoek is beschreven door De Jager (1960 a en b) en Wesseling (1960). Figuur 4 geeft het resultaat van een dergelijk onderzoek aan polyethyleen buizen met dwarse zaagsneden. Hierbij bleek dat de som van radiale- en intree weerstand groter werd wanneer de zaagsneden aan de bovenkant van de buis werden aangebracht. Dit wordt ook door figuur 5 getoond, waarin de intree weerstand is uitgezet tegen het totaal oppervlak aan openingen in de buis. Hierin is tevens de intree weerstand van een gewone drainbuis met een stootvoegbreedte van 0,5 mm aangegeven. Het blijkt, dat deze overeenkomt met een totale perforatie van  $400 \text{ mm}^2/\text{m}$  voor de plastic buis. Proeven van De Jager (1960 a en b) met overlans geperforeerde P.V.C.-buizen wijzen uit, dat een perforatie van  $400 \text{ mm}^2/\text{m}$  aan



## PLASTIC BIJ DRAINAGE

Fig. 5 Verband tussen oppervlakte aan perforaties en intreeweerstand van polyethyleen drainbuizen

Fig. 5 Relation between the total perforated area in  $\text{cm}^2$  per m tube length (ordinate) and the entrance resistance in cm (absciss) for the polyethylene tubes of fig. 4. Full line: slits at bottom; broken line: slits at top. Dot in square: normal clay tile



de lage kant is. Hij stelt dan ook een perforatie van 600 tot 900  $\text{mm}^2/\text{m}$  voor. Hierbij worden de perforatiesleuven gesteld op 0,5 maal 25 mm.

De met modelproeven verkregen resultaten zijn niet zonder meer over te dragen op de praktijk, omdat met één bepaalde grondsoort is gewerkt. De breedte van de perforaties kan namelijk nog aanleiding geven tot een groter of kleiner dichtslibbingsgevaar in andere grondsoorten, terwijl de lengte van de sleuven de sterkte van de buis sterk beïnvloedt. Om dit vast te stellen zijn veldproeven nodig. Een aantal van deze proeven is reeds aangelegd en de eerste resultaten zijn verschenen (Fokkens, 1959).

Wanneer diameter en benodigde perforatie vaststaan, zal de wanddikte kunnen worden bepaald. De benodigde wanddikte kan afhangen van de grondsoort waarin de buis wordt gebracht, terwijl tevens de verdeling van de perforatie invloed uitoefent op de sterkte van de buis. Thans worden buizen met een wanddikte van ongeveer 0,7 mm gebruikt. In sommige gevallen zouden deze dan ook wel eens te dun kunnen zijn. Voor de vaststelling hiervan kan enerzijds een theoretische benadering worden gebruikt (Boumans, 1960), anderzijds zal de deformatie onder normale omstandigheden moeten worden gemeten. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek werd beschreven door Schwab (1955).

### SAMENVATTING

Door de grote arbeidsbesparing die kan worden verkregen bij het gebruik van plastic drainbuizen, kan een dergelijk systeem tot belangrijke kostenverlagingen leiden.

Bij de methoden waarbij de buis tijdens het leggen gevormd wordt uit een strip, dient bij voorkeur géén gebruik te worden gemaakt van een normale molploeg omdat hierbij het gevaar voor verdichting van de grond in de nabijheid van de buis optreedt. Het leggen van de buis in een van te voren gegraven sleuf geeft de zekerheid van een gelijkmatige vorm van de buis. Bij het stripsysteem zijn ongelijkheden in de uitvoering van de buis veroorzaakt door onregelmatigheden in de werking van het vormapparaat niet ondenkbaar. Aan dit apparaat moet dan ook de grootste zorg worden besteed indien dit systeem gebruikt wordt. Indien men geen rekening houdt met een geringer dichtslibbingsgevaar van plastic buizen,

mag de diameter van deze buizen niet kleiner worden genomen dan die van gebakken aarden buizen.

De benodigde perforatie van plastic drainbuizen werd reeds met behulp van modelproeven vastgelegd. Voor de vaststelling van de wanddikte zullen deformatiemetingen in veldproeven nodig zijn.

#### SUMMARY

Because the laying of plastic drain tubes needs only a small amount of labour in comparison with the conventional type of clay tiles, this material is now used in various countries. From the plastics, flexible poly-ethylene, and in European countries particularly, rigid PVC are used. The cost of PVC material is relatively low. In the present development of sub-surface drainage systems with plastic tubes, the hydrological aims of the systems are often neglected and attention has only been paid to the technical side of the problem.

A description has been given of the two systems of pipe laying. These systems can be divided into two groups:

- a The laying of pipes by means of a mole plough
- b The laying of pipes with the use of a trench digger

In the first group the tube is formed in the mole plough from plastic strip. Some examples are given in fig. 1. With the second method, preformed tubes are used (fig. 2).

Although the first group of methods has large advantages in heavier soils, the effect of the formation of a more or less impermeable layer around the mole drains may be a reason for failure of these systems (fig. 3). The second group of methods has the advantage of a good permeable trench.

Diameter, wall thickness and perforations of the tubes are discussed. These three properties are not independent of each other. The necessary diameter of the tubes may, in a simple way, be calculated from the equations giving the pressure-loss for flow in plastic tubes: eq. (1) for clay tiles and eq. (6) for plastic tubes. Integrating these equations with certain boundary conditions gives the maximum drainable area for each tube diameter: eqs. (4) and (5) for clay tiles, eq. (7) for plastic tubes. These calculated drainable areas are given in table 1.

Under drainage conditions prevailing in the Netherlands, the minimum tube diameter for plastic tubes will be 4 cm, unless the danger for silting-up can be taken to be smaller than that for clay tiles.

The entrance resistance of common clay tiles has been discussed by Kirkham (1950), Kozeny (1930) and Ernst (1954). According to the last mentioned author this resistance may be given as  $2.5 \text{ NL/K}$ , where N is the steady state discharge, L is the drain distance and K is the hydraulic conductivity of the soil. Some results of the measuring of the entrance resistance for plastic tubes in sand tank model tests have been described (fig. 4). The entrance resistance seems to be inversely proportional with the area of the perforations (fig. 5). Comparison of these results with the theoretical approximation mentioned above, shows that the total perforated area of plastic tubes must be at least  $400 \text{ mm}^2/\text{m}$ .

In order to judge the necessary wall thickness of the tubes, experiments on various soil profiles have been set up in the Netherlands. On these experiment field, the relation between discharge and depth of the water table, the silting-up and the deformation of the tubes will be determined.

#### LITERATUUR

- BOUMANS, J. H. 1960 Vereiste wanddikte van plastic draineerbuisen. Nota N.V. Grontmij.

PLASTIC BIJ DRAINAGE

- BUSCH, CH. D. 1958 Low cost subsurface drainage. *Agr. Eng.* 39, 92—93.
- ERNST, L. F. 1955 Het berekenen van stationaire grondwaterstromingen welke in een verticaal vlak afgebeeld kunnen worden. Rapport IV. Landb. Proefst. en Bodemk. Inst. T.N.O., Groningen.
- FOKKENS, B. 1959 Drainage met plastic buizen. *Flevo Berichten* B 11.
- FRANKE, A. 1955 Afvoer door drainageleidingen. Nota Ned. Heidemij.
- JAGER, A. DE 1959 Proeven met plastic strip in drainagebak. Rapporten I en II, Ned. Heidemij.
- 1960a Diameter en perforatie van plastic drainbuizen. Rapport Ned. Heidemij.
- 1960b Review of plastic drainage in the Netherlands. *Neth. J. Agric. Sci.* 8, 261—271.
- JANERT, H. 1960 Persoonlijke mededeling.
- KIRKHAM, D. 1950 Potential flow into circumferential openings in drain tubes. *J. of Applied Physics* 21, 655—660.
- KOZENY, J. 1933 Ueber den Wasserzudrang bei Dränfügen. *Wasserkräft und Wasserwirtschaft* 28, 13—17.
- SCHWAB, G. O. 1955 Plastic tubing for subsurface drainage. *Agr. Eng.* 36, 86—89.
- SOMEREN, C. L. VAN 1958 Overzicht van de belangrijkste inhoud van de literatuur over moldrainage. Rapport Cultuurtechnische Dienst.
- TANELI, JUUSELA 1960 Maulwurfdränung mit Kunststoffauskleidung. *Zeitschrift für Kulturtechnik* 1, 81—90.
- VISSER, W. C. 1938 Wasserbewegung in Dränrohren. *Der Kulturtechniker* 41, 131—136.
- 1953 De grondslag voor de keuze van de buiswijdte bij enkelvoudige en samengestelde drainage. Rapp. Cult. Dienst.
- WESSELING, J. 1957 Wanddikte, diameter en aantal perforaties van plastic drainbuizen. Nota Inst. voor Cult. en Waterhuishouding.
- 1960 Enige resultaten van het onderzoek naar de perforatie van plastic drainbuizen. Nota Inst. voor Cult. en Waterhuishouding.

