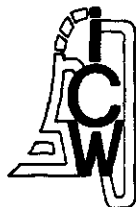


NN31545.1798

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

ICW nota 1798

augustus 1987



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

WATER- EN LUCHTDOORLATENDHEID VAN KUNSTSTOPSLANGEN

G.J. Veerman

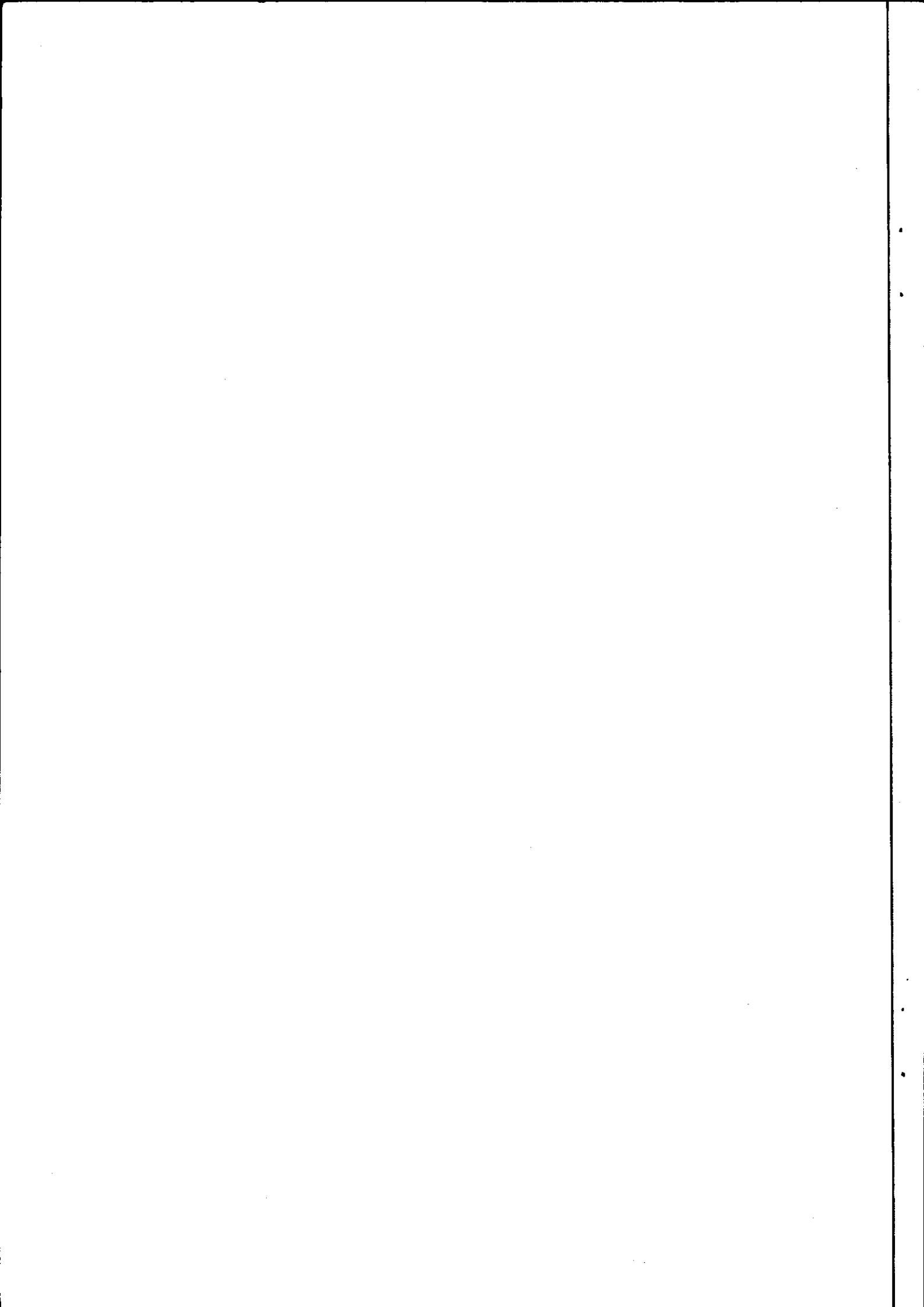
Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

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

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

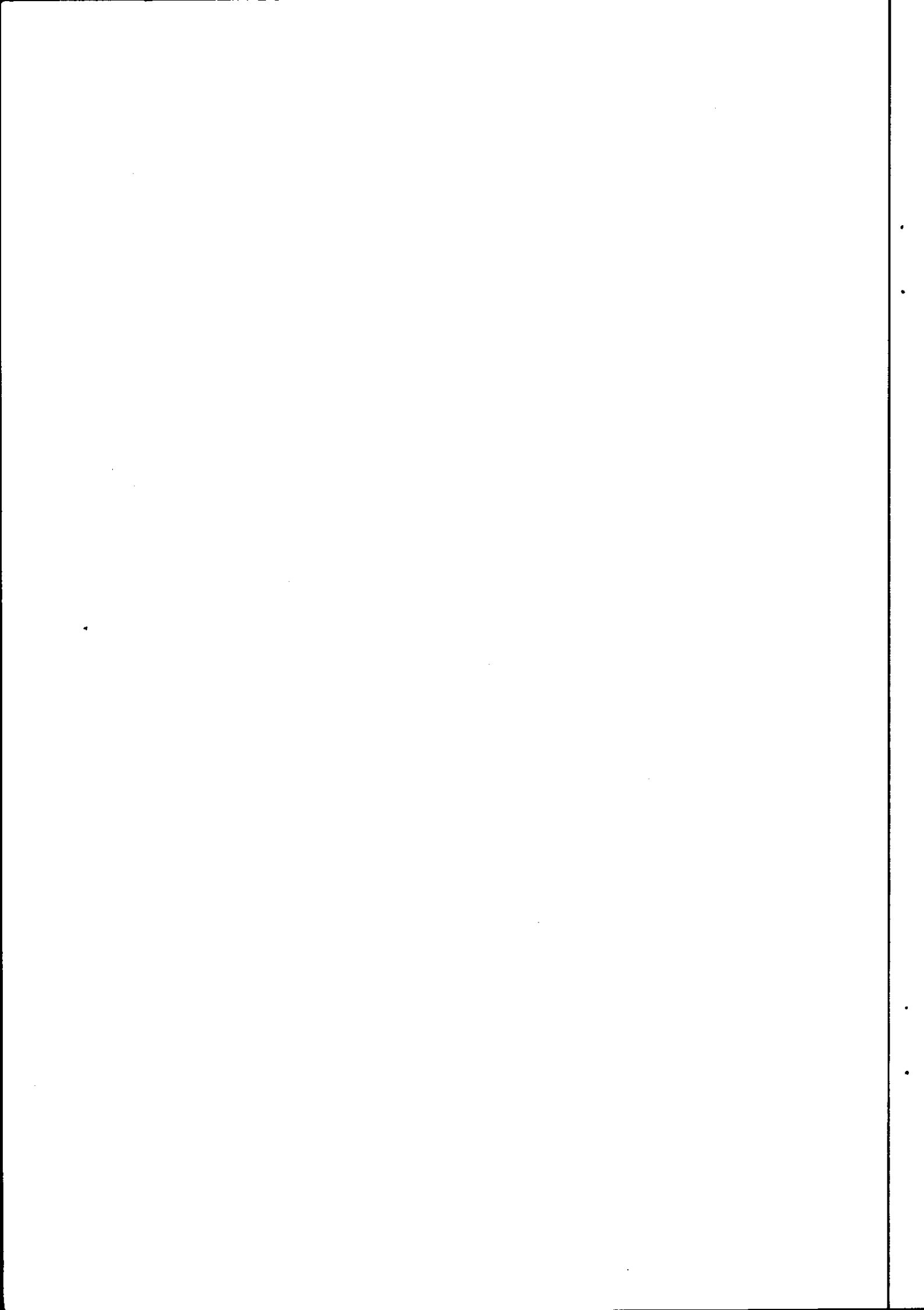
9 NOV 1987

1798 = 263204 *



I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. WATERDOORLATENDHEID	2
2.1. Materiaal en methode	2
2.2. Resultaten	3
3. LUCHTDOORLATENDHEID	12
3.1. Materiaal en methode	12
3.2. Resultaten	12
4. CONCLUSIE	16
LITERATUUR	17



1. INLEIDING

De energietoestand van het water in de bodem wordt bepaald door de zuigspanning in de bodem te meten met behulp van b.v. tensiometers. Een tensiometer bestaat uit een poreuze keramische cup, die met een buis of slang in verbinding staat met een elektronische drukopnemer. De tensiometer is gevuld met water. Via de poreuze cup kan water worden uitgewisseld tussen de bodem en de tensiometer. Er hoeft maar weinig water verplaatst te worden om veranderingen in de energietoestand van het bodemwater te kunnen waarnemen. Het is van belang dat de zuigspanning op een nauwkeurige manier wordt gemeten. De verbinding tussen meetpunt en drukopnemer mag geen invloed hebben op de waarneming. Waterverlies of luchttoevoer in de verbindingsleiding moet daarom zo veel mogelijk worden voorkomen.

Bij metingen, wanneer de verbindingen gemakkelijk verbroken moeten kunnen worden, is het eveneens van belang dat de verbindingen van flexibel materiaal zijn. Als bovendien metingen worden verricht in grondmonsters die tegelijkertijd worden gewogen, moet de invloed van de verbindingen op het gewicht minimaal zijn. In het veld spelen deze aspecten nauwelijks of geen rol en wordt vaak koperen leiding als verbinding toegepast. Het tot dusver gebruikte nylon slang blijkt water te verliezen door de wand (VEERMAN, 1978) waardoor de slang een bijdrage levert aan de afgelezen druk (BAKKER, 1975). Daarom is gezocht naar een andere kunststofslang zonder deze diffusiteit, maar met verder ongeveer dezelfde stijfheid en flexibiliteit als nylon.

2. WATERDOORLATENDHEID

2.1. Materiaal en methode

Het onderzoek is uitgevoerd met diverse soorten slang van verschillende afmetingen.

Slang nr.	1	nylon	1,5x3	mm
	2	"	1,5x2,5	mm
	3	"	1,5x2	mm
	4	"	1 x1,5	mm
	5	"	3 x4	mm
	6	" (zwart)	2 x3	mm
	7	"	2 x4	mm
	8	tygon	2,3x4	mm
	9	"	1,5x4,8	mm
	10	"	3,2x6,3	mm
	11	p.v.c.	2 x4	mm
	12	"	1 x2	mm
	13	teflon	1,5 x3	mm
	14	polytheen	1,5 x2,7	mm
	15	"	2 x3	mm
	16	polyurethaan	1,6 x3,2	mm
	17	bev-a-line X	4,3 x6,4	mm
	18	" V	3,2 x4,8	mm
	19	nylon	1,5 x2,5	mm
		met watermantel in tygon	3,2 x6,3	mm
	20	nylon	1 x1,5	mm
		met watermantel in polytheen	3 x6	mm

De afmetingen betreffen de inwendige en uitwendige diameter.

Slang nrs. 5, 6 en 7 zijn nylontype 11; de overige nylonsoorten zijn van type 6. Type 11 is alleen leverbaar in een technische kwaliteit en is in tegenstelling tot type 6 niet te verkrijgen met een inwendige diameter kleiner dan 2 mm.

De p.v.c.-slangen zijn helder transparant (medische kwaliteit). Tygon is de handelsnaam van een zachte p.v.c.soort (Norton Company, Akron, Ohio).

Bev-a-line X is polypropyleen met een bekleding van etheenvinylacetaat.

Bev-a-line V is polytheen met een bekleding van etheenvinylacetaat.

De slangen worden volledig gevuld met water. De uiteinden van de slang worden zonder tussenruimte met elkaar verbonden door er een kort stukje slang goed sluitend over heen te schuiven. Bij de verbinding mag geen lekkage optreden. Het waterverlies uit de slangen is vastgesteld door de slangen regelmatig te wegen. Er is meestal uitgegaan van slangen van 1 meter lengte; waar nodig zijn de uitkomsten omgerekend naar 1 meter slanglengte.

2.2. Resultaten

De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 1 t/m 4 en voor een aantal slangen ook in fig. 1.

Het waterverlies uit nylonslangen van type 11 (nrs. 5, 6 en 7) is minder dan uit slangen van type 6. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in de chemische opbouw van het materiaal.

Teflon en polytheen blijken tijdens het onderzoek vrijwel geen water te verliezen (polytheen iets meer dan teflon). De resultaten met bev-a-line X en bev-a-line V lijken gunstig; de procentuele waterafname is erg goed, omdat de verhouding volume:wandoppervlak groter is dan bij slangen met kleinere diameter. Een nadeel is dat de diameter van beide materialen relatief groot is, waardoor aansluiting op het meetsysteem van het waterretentie-onderzoek wordt bemoeilijkt en om praktische redenen niet is aan te bevelen.

Bij het onderzoek van materiaal van eenzelfde kwaliteit maar met verschillende afmetingen blijkt dat slangen met een dunne wand sneller water verliezen dan dikwandige slangen.

Dit resultaat is ook direct af te leiden uit de formule voor de berekening van de stofstroom door de wand van een cilindrische slang.

$$Q = D \frac{2\pi l}{\ln(r_2/r_1)} (c_1 - c_2) t \quad (\text{kg}) \quad (1)$$

Hierin is: Q = stofstroom (kg)

t = tijd (s)

D = diffusiecoëfficiënt (m^2/s)

l = lengte van de slang (m)

r_2 = uitwendige straal van de slang (mm)

r_1 = inwendige straal van de slang (mm)

c_1 = waterdampconcentratie in de slang (kg/m^3)

c_2 = waterdampconcentratie buiten de slang (kg/m^3)

In het begin van de proef (eerste dag) is het waterverlies bij enkele slangsoorten wat groter (zie fig.1). Dit kan veroorzaakt zijn door de vochtigheidstoestand van de betreffende slangen bij de start. Veel kunststofslangen zijn namelijk in meer of mindere mate hygroscopisch. Aan het eind van de proef is het totale waterverlies in elke slang omgerekend naar het waterverlies per dag. In tabel 5 is een overzicht gegeven van het waterverlies per meter, de procentuele afname van het watervolume per meter slang en de diffusiecoëfficiënt van de slangen. De diffusiecoëfficiënt wordt berekend uit (1):

$$D = \frac{Q \ln(r_2/r_1)}{2\pi l (c_1 - c_2) t} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2)$$

De waterdampconcentraties c_1 en c_2 zijn te berekenen omdat de relatieve vochtigheden in en buiten de slang bekend zijn (nl. 100% en 40%).

Het verschil in de waterdampconcentraties is te berekenen met de formule:

$$c_1 - c_2 = \frac{H_1 - H_2}{100} \times (f \times \rho_l) \times \frac{T_0}{T_{20}} \times \frac{p_w}{p_l} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (3)$$

waarin: H_1 = relatieve vochtigheid in de slang (%)

H_2 = relatieve vochtigheid buiten de slang (%)

f = factor die de dichtheid van waterdamp aangeeft ten opzichte van de dichtheid van lucht

ρ_l = dichtheid van lucht bij 0°C en 1013 mbar (kg/m^3)

T_0 = absolute temperatuur bij 0°C

T_{20} = absolute temperatuur bij 20°C

p_w = verzadigde waterdampspanning bij 20°C (mbar)

p_l = luchtdruk van lucht bij 20°C (mbar)

Nu wordt:

$$c_1 - c_2 = (1-0,4) \times 0,625 \times 1,2929 \times \frac{273}{293} \times \frac{23,38}{1013} \quad (\text{kg/m}^3)$$

De temperatuur is 20°C, de verzadigde waterdampspanning is 23,38 mbar, de dichtheid van lucht (0°C en 1013 mbar) is 1,2929 kg/m^3 en de dichtheid van waterdamp ten opzichte van lucht is 0,625.

De diffusiecoëfficiënt van slangen van dezelfde soort en type vertonen onderling verschillen (b.v. slang nrs 1 t/m 4). Dit kan veroorzaakt zijn door lekkage, door verschillen in uitgangstoestand van de slangen of door verschillen in luchtvochtigheid buiten de slangen omdat de proeven niet voor alle slangen gelijktijdig zijn uitgevoerd. Uit tabel 5 blijkt dat de diffusiecoëfficiënt van nylontype 6 iets groter is dan van nylontype 11. P.v.c. en tygon hebben over het algemeen een grote diffusiecoëfficiënt, terwijl die van teflon en polytheen erg klein is.

Polyurethaan is zeer doorlatend voor waterdamp.

Tabel 1. Verdamping van water uit afgesloten nylonslangen. Relatieve vochtigheid omgeving ca. 40%.
Waternverlies vanaf start.

Slang nr	1		2		3		4		5		6		7	
	nylon		nylon		nylon		nylon		nylon		nylon		nylon	
afmeting(mm)	1,5x3		1,5x2,5		1,5x2		1x1,5		3x4		zwart 2x3		2x4	
inhoud(mm ³ /m)	1767		1767		1767		785		7069		3142		3142	
wanddikte(mm)	0,75		0,50		0,25		0,25		0,50		0,50		1,00	
	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%
na 1 dg	-	-	10	0,6	110	6,2	30	3,8	80	1,1	4	0,1	-	-
4 dg	30	1,7	30	1,7	170	9,6	60	7,6	140	2,0	-	-	-	-
5 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	1,3	-	-
6 dg	30	1,7	60	3,4	230	13,0	90	11,5	140	2,0	-	-	-	-
7 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	1,9	-	-
8 dg	50	2,8	100	5,7	290	16,4	150	19,1	170	2,4	-	-	-	-
9 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	1,9	-	-
11 dg	70	4,0	170	9,6	360	20,4	200	25,5	190	2,7	-	-	-	-
12 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102	3,2	-	-
13 dg	70	4,0	210	11,9	420	23,8	230	29,3	220	3,1	-	-	-	-
14 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	124	4,0	-	-
15 dg	80	4,5	270	15,3	480	27,2	290	36,9	250	3,5	-	-	-	-
16 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139	4,4	-	-
18 dg	100	5,7	330	18,7	550	31,1	320	40,8	280	4,0	-	-	-	-
22 dg	150	8,5	430	24,3	670	37,9	420	53,5	360	5,1	-	-	-	-
24 dg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160	5,1
29 dg	170	9,6	570	32,3	780	44,1	440	56,1	420	5,9	-	-	-	-
34 dg	210	11,9	700	39,6	900	50,9	530	67,5	470	6,6	-	-	-	-
40 dg	260	14,7	860	48,7	1010	57,2	560	71,3	580	8,2	-	-	-	-
48 dg	310	17,5	1060	60,0	1140	64,5	610	77,7	690	9,8	403	12,8	-	-

Kwaliteit slang nrs. 1 tot en met 4: type 6, nrs. 5 tot en met 7: type 11

Tabel 2. Verdamping van water uit afgesloten kunststofslangen. Relatieve vochtigheid omgeving ca. 40%. Waterverlies vanaf start.

Slang nr	8		9		10		11		12		13	
	tygon		tygon		tygon		p.v.c.		p.v.c.		teflon	
afmeting(mm)	2,3x4		1,5x4,8		3,2x6,3		2x4		1x2		1,5x3	
inhoud(mm ³ /m)	4155		1767		8042		3140		790		1767	
wanddikte(mm)	0,75		1,65		1,65		1,0		0,50		0,75	
	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%
na 1 dag	80	1,9	30	1,7	9	0,1	210	6,7	130	16,6	5	0,3
2 dg	-	-	-	-	25	0,3	-	-	-	-	6	0,3
4 dg	150	3,6	60	3,4	-	-	240	7,6	170	21,7	6	0,3
5 dg	-	-	-	-	65	0,8	-	-	-	-	-	-
6 dg	200	4,8	80	4,5	-	-	260	8,3	180	22,9	8	0,5
7 dg	-	-	-	-	93	1,2	-	-	-	-	-	-
8 dg	250	6,0	110	6,2	-	-	260	8,3	220	28,0	8	0,5
9 dg	-	-	-	-	115	1,4	-	-	-	-	-	-
11 dg	300	7,2	140	7,9	-	-	280	8,9	250	31,8	-	-
12 dg	-	-	-	-	160	2,0	-	-	-	-	-	-
13 dg	350	8,4	170	9,6	-	-	300	9,5	290	36,9	8	0,5
14 dg	-	-	-	-	188	2,3	-	-	-	-	-	-
15 dg	400	9,6	170	9,6	-	-	320	10,2	300	38,2	8	0,5
16 dg	-	-	-	-	213	2,6	-	-	-	-	8	0,5
18 dg	450	10,8	220	12,4	-	-	340	10,8	340	43,3	-	-
22 dg	550	13,6	250	14,1	-	-	380	12,1	400	50,9	-	-
29 dg	730	17,6	330	18,6	-	-	430	13,7	470	59,9	-	-
34 dg	830	20,0	390	22,1	-	-	470	15,0	520	66,2	-	-
40 dg	980	23,6	440	24,9	-	-	510	16,2	590	75,2	-	-
48 dg	1180	28,4	520	29,4	618	7,7	580	18,5	640	81,5	8	0,5

Tabel 3. Verdamping van wateruit afgesloten kunststofslangen. Relatieve vochtigheid omgeving ca. 40%. Waterverlies vanaf start.

Slang nr.	14		15		16	
	polytheen		polytheen		polyurethaan	
afmeting(mm)	1.5x2.7		2x3		1,6x3,2	
inhoud(mm ³ /m)	1767		3142		2011	
wanddikte(mm)	0,6		0,5		0,8	
	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%
Na 1 dg	-	-	-	-	-	-
2 dg	-	-	-	-	84	4,2
4 dg	-	-	20	0,6	-	-
5 dg	-	-	-	-	330	16,4
11 dg	-	-	30	1,0	-	-
17 dg	20	1,1	50	1,6	-	-
20 dg	-	-	-	-	1148	57,1
31 dg	20	1,1	60	1,9	-	-
43 dg	30	1,7	100	3,2	-	-
78 dg	40	2,3	160	5,1	-	-
114 dg	70	4,0	200	6,4	-	-

Tabel 4. Verdamping van water uit afgesloten kunststofslangen. Relatieve vochtigheid omgeving ca. 40%. Waterverlies vanaf start.

Slang nr.	17		18		19		20	
	bev-a-line X		bev-a-line V		nylon 1,5x2,5		nylon 1x1,5	
afmeting(mm)	4,3x6,4		3,2x4,8		met watermantel in tygon 3,2x6,3		met watermantel in polytheen 3x6	
inhoud(mm ³ /m)	14522		8042		4900		6087	
wanddikte(mm)	1,05		0,80		1,55		1,50	
	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%	mg/m	%
na 2 dg	21	0,1	7	0,1	29	0,6	-	-
3 dg	-	-	-	-	-	-	9	0,1
4 dg	-	-	-	-	62	1,3	-	-
7 dg	-	-	-	-	118	2,4	-	-
9 dg	-	-	-	-	152	3,1	-	-
10 dg	-	-	-	-	166	3,4	-	-
11 dg	-	-	-	-	180	3,7	-	-
12 dg	46	0,3	26	0,3	-	-	-	-
14 dg	-	-	-	-	221	4,5	-	-
16 dg	-	-	-	-	251	5,1	-	-
18 dg	-	-	-	-	278	5,7	-	-
19 dg	62	0,4	41	0,5	-	-	-	-
21 dg	-	-	-	-	318	6,5	-	-
23 dg	-	-	-	-	372	7,6	-	-
26 dg	82	0,6	57	0,7	-	-	-	-
30 dg	-	-	-	-	-	-	14	0,2
55 dg	-	-	-	-	790	16,1	-	-

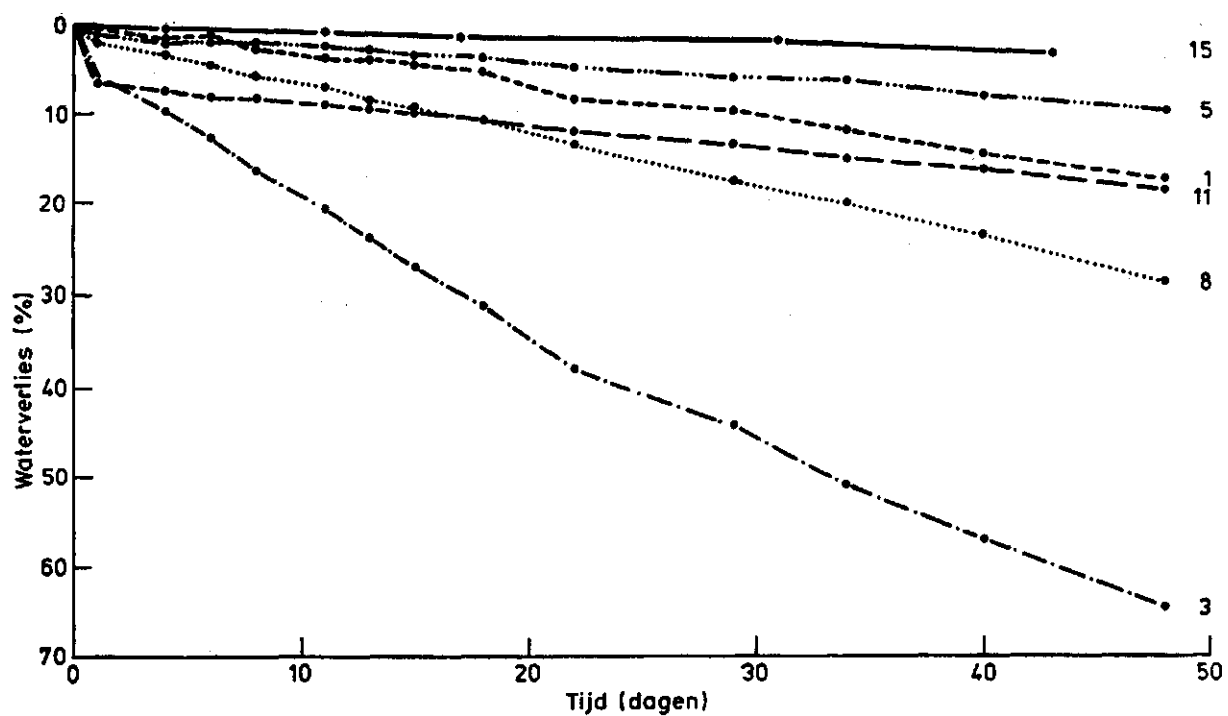


Fig. 1. Verdamping van water uit afgesloten kunststofslangen.

Waterverlies (%) vanaf start. Relatieve vochtigheid omgeving ca. 40%. Nr. 1 (nylon 1,5x3 mm), nr. 3 (nylon 1,5x2 mm), nr. 5 (nylon 3,4 mm), nr. 8 (tygon 2,3x4 mm), nr. 11 (pvc 2x4 mm), nr. 15 (polytheen 3x6 mm)

Tabel 5. Totale waterverlies kunststofslangen omgerekend naar gemiddeld waterverlies per dag (mg/m, %/m) en de berekende diffusiecoëfficiënt (m^2/s)

Nr	Slangsoort	Afmeting (mm)	Wanddikte (mm)	Uitwendig oppervlak (cm^2/m)	Waterverlies		Diffussie- coëfficiënt (m^2/s)
					mg/md	%/md	
1	nylon	1,5x3	0,75	94,25	6,46	0,36	0,791E-09
2	nylon	1,5x2,5	0,50	78,54	22,08	1,25	0,199E-08
3	nylon	1,5x2	0,25	62,83	23,75	1,34	0,121E-08
4	nylon	1 x1,5	0,25	47,12	12,71	1,61	0,911E-09
5	* nylon	3 x4	0,50	125,66	14,38	0,20	0,731E-09
6	* nylon(zwart)	2 x3	0,50	94,25	8,40	0,27	0,602E-09
7	* nylon	2 x4	1,00	125,66	6,67	0,21	0,817E-09
8	tygon	2,3 x4	0,85	125,66	24,58	0,59	0,240E-08
9	tygon	1,5 x4,8	1,65	150,80	10,83	0,61	0,223E-08
10	tygon	3,2 x6,3	1,55	197,92	12,88	0,16	0,154E-08
11	p.v.c.	2 x4	1,00	125,66	12,08	0,38	0,148E-08
12	p.v.c.	1 x2	0,50	62,83	13,33	1,70	0,163E-08
13	teflon	1,5 x3	0,75	94,25	0,17	0,01	0,210E-10
14	polytheen	1,5 x2,7	0,60	84,82	0,61	0,04	0,630E-10
15	polytheen	2 x3	0,50	94,25	1,75	0,06	0,125E-09
16	polyurethaan	1,6 x3,2	0,80	100,53	57,40	2,85	0,703E-08
17	bev-a-line X	4,3 x6,4	1,05	201,06	3,15	0,02	0,221E-09
18	bev-a-line V	3,2 x4,8	0,80	150,80	2,19	0,03	0,157E-09
19	nylon in watermantel tygon	1,5 x2,5 3,2 x6,3	1,55	197,92	14,36	0,29	0,172E-08
20	nylon in watermantel polytheen	1 x1,5 3 x6	1,50	188,50	0,40	0,01	0,480E-10

De diffusiecoëfficiënt voor de slang nrs. 19 en 20 zijn berekend met de straal van de buitenste slang.

* nylon type 11; de andere nylonslangen zijn van type 6.

- de pvc uitvoering is helder transparent (medische kwaliteit).

- tygon is een handelsnaam van een zachte pvc-soort (Norton Company, Akron, Ohio).

- bev-a-line X is polypropyleen met een bekleding van etheenvinylacetaat.

- bev-a-line V is polytheen met een bekleding van etheenvinylacetaat.

3. LUCHTDOORLATENDHEID

3.1 Materiaal en methode

In de slangen is een onderdruk aangebracht door aan een uiteinde van de slangen een waterstraalluchtpomp te laten zuigen, terwijl aan het andere uiteinde een elektronische drukopnemer is aangesloten. Voor alle slangen is dezelfde drukopnemer gebruikt. Nadat een onderdruk is bereikt van ongeveer 700-800 mbar wordt de slang met drukopnemer afgesloten. De afgegeven spanning van de drukopnemer wordt afgelezen in millivolts en met behulp van de calibratie van de drukopnemer omgerekend naar millibars. Door op twee verschillende tijdstippen af te lezen, kan de vermindering van de onderdruk worden vastgesteld. De aansluiting van de slangen op het meetsysteem moet luchtdicht zijn alvorens met de proef kan worden begonnen.

3.2 Resultaten

De resultaten staan vermeld in tabel 6. Hieruit blijkt dat alleen nylon vrijwel luchtdicht is.

Wanneer de onderdruk bij start kleiner is, dan wordt de afname van de onderdruk ook kleiner (polytheen). Dit wordt veroorzaakt doordat de totale luchttoetreding een functie is van de ondervonden weerstand en het drukverschil.

Bij een slang met lengte l is de stofstroom Q (zie ook (1)):

$$Q = D \frac{2\pi l}{\ln(r_2/r_1)} (c_2 - c_1) t \quad (\text{kg}) \quad (4)$$

r_1 en r_2 zijn de inwendige en uitwendige straal (mm)

c_1 en c_2 zijn de concentraties van lucht in de slang en buiten de slang (kg/m^3)

D is de difussiecoëfficiënt (m^2/s) en t is de tijd (s)

Bij het begin van de proef ($t = 0$ s) is concentratie van de lucht in de slang $c_1 = c_0$. De luchtconcentratie c_2 buiten de slang blijft constant.

Door de toegetroden lucht in de slang verandert de concentratie in de slang volgens:

$$Q = V \frac{dc_1}{dt} t \quad (\text{kg}) \quad (5)$$

waarin V = het volume van de slang ($\pi r_1^2 l$)

Invullen van (5) in (4) geeft:

$$V \frac{dc_1}{dt} = D \frac{2\pi l}{\ln(r_2/r_1)} (c_2 - c_1) \quad (6)$$

Door V in te vullen en door de konstante termen onder te brengen in D^* ontstaat:

$$\frac{dc_1}{dt} = D \frac{2}{r_1^2 \ln(r_2/r_1)} (c_2 - c_1) = D^* (c_2 - c_1) \quad (7)$$

Dit is te schrijven als:

$$\frac{dc_1}{(c_2 - c_1)} = D^* dt \quad (7a)$$

Daar c_2 konstant is, geldt:

$$d(c_2 - c_1) = - dc_1 \quad (8)$$

Invullen in (7a) geeft:

$$\frac{d(c_2 - c_1)}{(c_2 - c_1)} = - D^* dt \quad (9)$$

Na integreren krijgen we:

$$\ln(c_2 - c_1) = - D^* t + k \quad (10)$$

Wanneer $t = 0$, is $c_1 = c_0$ en dus $k = \ln(c_2 - c_0)$.

Invullen van k geeft:

$$\ln \frac{(c_2 - c_1)}{(c_2 - c_0)} = - D^* t \quad (11)$$

Hieruit volgt:

$$\frac{c_2 - c_1}{c_2 - c_0} = e^{-D^* t} \quad (12)$$

Voor c_1 kunnen we nu schrijven:

$$c_1 = c_2 - (c_2 - c_0) e^{-D^* t} \quad (13)$$

Door D^* weer te vervangen door de konstante termen krijgen we:

$$c_1 = c_2 - (c_2 - c_0) e^{\left\{ -t \frac{2D}{r_1^2 \ln(r_2/r_1)} \right\}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (14)$$

De stofconcentratie van c_1 naar c_2 in de slang verloopt dus asymptotisch naar c_2 .

Het concentratieverschil $c_2 - c_1$ is recht evenredig met het drukverschil buiten en in de slang.

Dit drukverschil is gelijk aan de afgelezen onderdruk.

De onderdruk bij het begin van de proef = Δh_1 mbar.

De onderdruk bij het einde van de proef = Δh_2 mbar.

Invullen in (11) geeft:

$$\ln \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = -D^* t \quad (15)$$

Invullen van de konstante termen geeft:

$$\ln \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = D \frac{2}{r_1^2 \ln(r_2/r_1)} t \quad (16)$$

en:

$$D = \frac{r_1^2 \ln(r_2/r_1) \times \ln(\Delta h_1/\Delta h_2)}{2 t} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (17)$$

De difussiecoëfficiënt D is nu meteen uit de afgelezen onderdrukken te berekenen en wordt voor enkele slangsoorten in tabel 6 gegeven.

Tabel 6. Drukverlies (vermindering van onderdruk) in enkele kunststofslangen .

Materiaal	Afmeting dixduxl (mm)	mbar start	mbar einde	Tijds- duur min.	Vermin- dering mbar/h	Difussie- coëfficiënt m ² /s
nylon	1,5x2,5x1440	783	780	930	0,2	0,40E-07
polytheen	1,5x2,7x1970	747	721	150	10,4	0,26E-05
		721	702	134	8,5	0,22E-05
		702	584	911	7,8	0,22E-05
teflon	1,5x3,0x1020	688	609	173	27,4	0,92E-05
tygon	1,5x4,8x1000	746	296	4095	6,6	0,49E-05
p.v.c.	2 x4 x1000	750	735	124	7,3	0,38E-05

4. CONCLUSIE

Als verbindingsleiding bij het meten van vochtspanningen in bodemonmonsters lijken teflon en polytheen goed te voldoen, omdat ze nagenoeg geen water verliezen door diffusie door de wand. Bij onderdruk laten deze kunststofslangen echter lucht door.

De geteste slangen, nylon uitgezonderd, zijn niet geschikt om te gebruiken in metingen waarbij in de slangen een onderdruk ontstaat en geen lucht mag toetreden. Geen enkele van de geteste kunststofslangen is zowel luchtdicht als ondoorlatend voor water. Een combinatie van 2 slangen, nylon slang omgeven met een watermantel in teflon of polytheen, is een goede oplossing voor een flexibele verbinding tussen tensiometer en drukopnemer.

LITERATUUR

BAKKER, J.W., 1975. Tensiometers, materialen en reactiesnelheden van systemen. Nota 847. ICW Wageningen.

VEERMAN, G.J., 1978. Onderzoek naar de mogelijkheden van automatisering van de bepaling van capillair geleidingsvermogen en pF-curve. Nota 955. ICW Wageningen

