

NOTA 955^I

januari 1978

N31545.0955

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN AUTOMATISERING VAN DE BEPALING
VAN CAPILLAIR GELEIDINGSVERMOGEN EN pF-CURVE

G.J. Veerman

BIBLIOTHEEK DE HAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

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

1709796

13 FEB. 1998



0000 0941 0909

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. APPARATUUR	2
2.1. Druk- en krachtopnemers	2
2.1.1. Pressure transducers (drukopnemers)	2
2.1.2. Balansen	4
2.2. Elektrische vloeistofschakelaars	4
2.3. Nylonslang	6
2.4. Tensiometercups	7
2.5. Driewegkranen (glas)	8
2.6. Ventilatoren	9
3. MEETOPSTELLING	10
4. ONDERZOEK	11
4.1. Het vullen met water van het systeem	11
4.2. Capaciteit	12
4.3. 'Lucht' in het systeem	17
4.3.1. Vloeistofkranen	17
4.3.2. Nylonslang	18
4.3.3. Adapter pressure-transducer	18
4.4. Tensiometercups	19
4.5. Verdamping met ventilator	23
4.6. Driewegkranen	23
5. ENKELE PROEVEN	23
5.1. Coors-tensimeters	23
5.1.1. Insteltijd	23

	blz.
5.1.2. Vochtspanningsmetingen	27
5.1.3. Vochtspanning en vochtgehalte	29
5.1.4. Metingen in veldmonsters	30
5.2. Tensiometercups Soil Moisture Equipment Corp.	38
5.2.1. Metingen in veldmonsters	38
5.2.2. Metingen in monsters fijn zand	39
6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	43
7. LITERATUUR	44

INLEIDING

Om het capillair geleidingsvermogen (onverzadigde doorlatendheid) van een grond te bepalen wordt vaak gebruik gemaakt van de infiltratiemethode, waarbij de zuigspanning op verschillende diepten in een grondmonster wordt gemeten als de doorstromingsnelheid van water constant is. (WESSELING-WIT, 1966).

De zuigspanning wordt afgeleid uit het water- of kwikniveau in een met de tensiometercup verbonden glazen U-buis.

Voor het verkrijgen van kleine constante doorstromingsnelheden worden de grondcilinders op filters gezet, bestaande uit mengsels van fijn zand en kaolien, waaraan een bepaalde onderdruk wordt aangelegd.

Nadelen van de methode zijn:

1. de tijdsduur van het prepareren van de filters
2. de langzame instelling van een constante doorstromingsnelheid bij een bepaalde vochtspanning
3. de aflezing en breekbaarheid van de kwikmanometers

Een veelvuldig toegepaste methode om de pF-curve (vochtspanning-vochtgehalte relatie) van een grond te bepalen is die waarbij een grondmonster op een filter wordt geplaatst, waaraan onder- of onderdrukken worden aangelegd.

In het lage vochtspanningstraject tot pF 2,0 wordt gebruik gemaakt van een Blokzijlzand-filter en in het traject pF 2,0 - pF 2,7 van een Blokzijlzand-kaolien filter (STAKMAN-V.D.HARST, 1969).

Bij elke aangelegde onderdruk moet gewacht worden tot het op het filter geplaatste grondmonster in een evenwichtstoestand komt te verkeren. Dit is bereikt wanneer het monster niet of nauwelijks meer in gewicht verandert.

Nadelen van de methode zijn:

1. de tijd nodig om een evenwichtstoestand te bereiken (deze kan bij klei- en veenmonsters tot enkele weken oplopen)
2. de monsters moeten regelmatig worden gewogen waarbij ze van het filter worden gehaald.

De bezwaren die aan genoemde bepalingmethoden zijn verbonden waren aanleiding om mogelijkheden te onderzoeken die kunnen leiden tot een snellere en geautomatiseerde methode.

Tot nu toe waren voor de pF-bepaling en voor de bepaling van de onverzadigde doorlatendheid verschillende monsters noodzakelijk. Het lijkt mogelijk om de bepalingen gelijktijdig aan hetzelfde monster uit te voeren (BOELS, 1973).

VACHAUD (1969) en BURLAND en ROSCOE (1969) beschrijven methodes waarbij poreuze cellen door middel van een hydraulische omschakelaar om beurten met een transducer worden verbonden.

Om tot het overgaan op een nieuwe en snellere bepalingsmethode te besluiten was het noodzakelijk dat een aantal onderzoeken betreffende de toe te passen apparatuur werden uitgevoerd.

2. APPARATUUR

2.1. Druk- en krachtopnemers

2.1.1. Pressure transducers (drukopnemers)

De vochtspanning kan worden gemeten met behulp van pressure transducers. Deze bevatten een dun metalen membraan en Wheatstone-brug. Het membraan beweegt bij verandering van de onderdruk (vochtspanning) wat bij een constante voedingsspanning een verandering van de elektrische uitgangsspanning ten gevolge heeft. Elke door de pressure transducer afgegeven spanning vertegenwoordigt een zekere vochtspanning (calibratiecurve fig. 1). Voor de input en output van de spanning dient een vieraderige kabel (Elektrical disconnet assembly model DC 13).

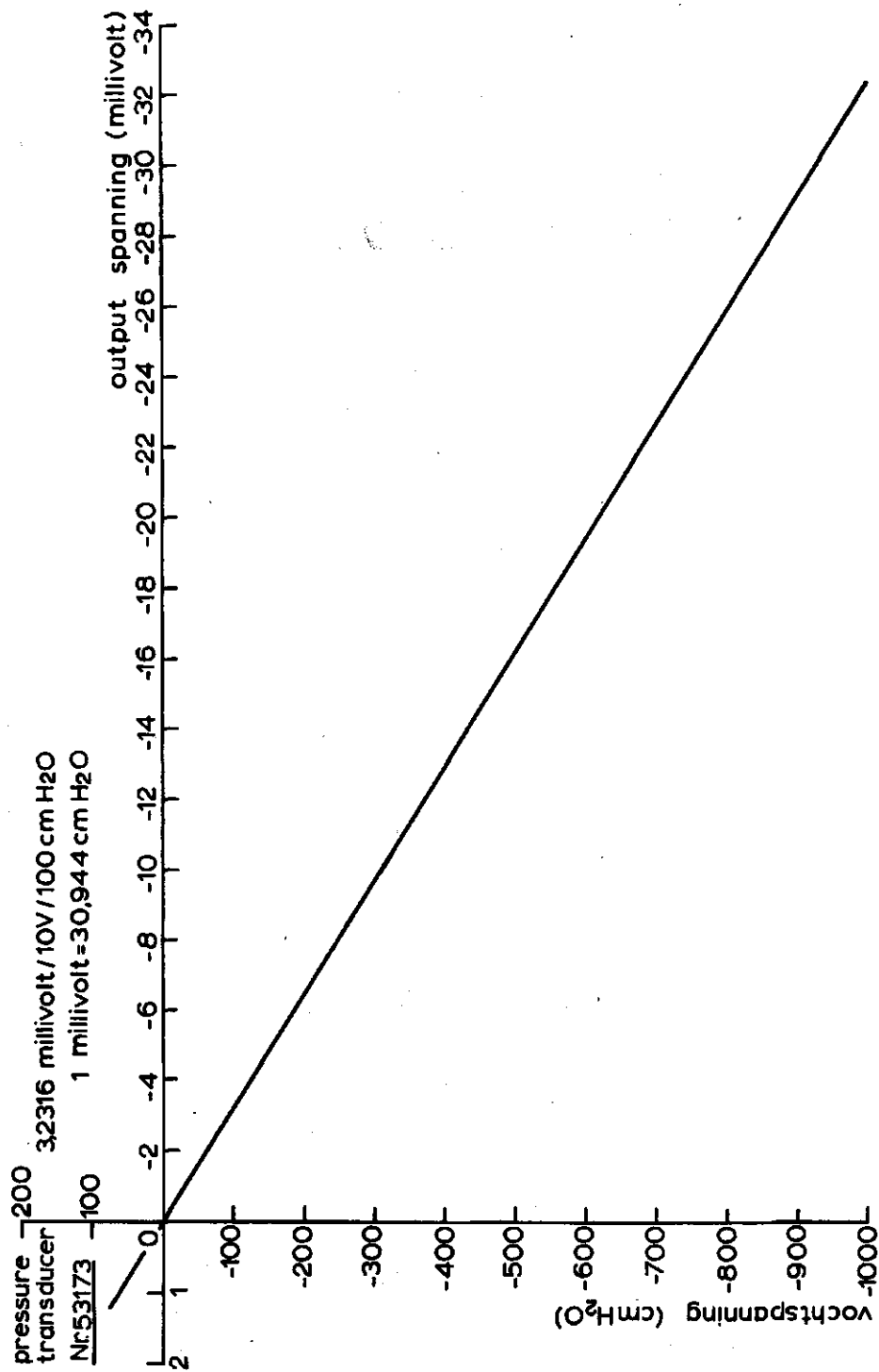


Fig. 1. Calibratiecurve pressure transducer no. 55173 Statham
PM 856 + 15

Toegepast zijn:

Statham temperatuur gecompenseerde pressure transducers

type: PM 856 + 15

voeding: 10 volt

druk range: + 15 psi d (1 psi = 70,307 gr/cm²)

De transducer wordt lekvrij opgesloten in een zogenaamde adapter.

Adapter type CON 2a met ontluchtingsschroef

Adapter type CON 2g zonder "

2.1.2. Balansen

De grondmonsters kunnen worden gewogen door middel van kracht-opnemers, bestaande uit een elastisch vervormbare veer met spanningsmeetstroken.

fabrikaat: Hottinger Baldwin

type: U₁

voeding: 10 volt

maximale belasting: 0,01 MP = 10 kg

0,02 MP = 20 kg

Een uitgangsspanning van 0,01 mV komt overeen met een gewicht van 5 gram (0,01 MP) en 10 gram (0,02 MP) (fig. 2).

Op de krachtopnemer wordt een plateau geschroefd van roestvrij staal (diameter 120 mm: dikte 3,5 mm) om de diameter van het draagvlak aan te passen op de diameter van de op te zetten grondkolommen.

2.2. Elektrische vloeistofschakelaars

Door gebruik te maken van een meerpuntskraan is het mogelijk verschillende tensiometercups te verbinden met één pressure transducer.

Getest zijn:

Scanivalve type: Wo 662/IP-12T 303 roestvrij staal met balansdruk

type: Wo 601/IP-12T 2024 aluminium met balansdruk

type: Wo 662/IP-12T 2024 aluminium zonder balansdruk, met olievulling.

De kranen worden bediend door een schakelaar (solenoid driver WS-24 vdc). Een solenoid controller type CTLR2/S2-S6 dient om stapsgewijs te schakelen. Ook kan ineens naar 'home'-positie worden geschakeld.

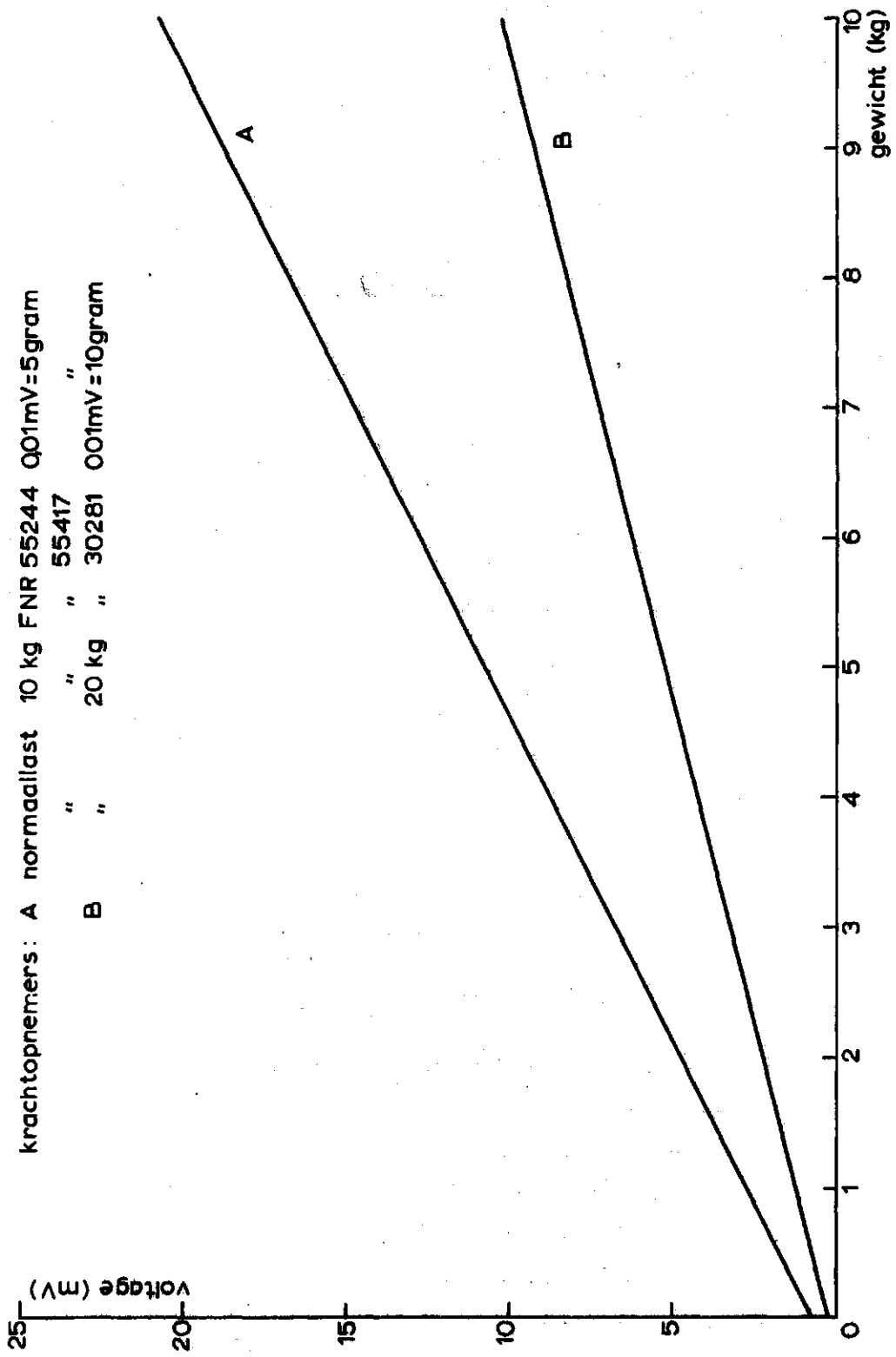


Fig. 2. Calibratiecurven balansen U₁ Hottinger-Baldwin

De vloeistofkraan bestaat uit een statorblok en een rotor. Een balansdruk is een aangelegde overdruk die de rotor tegen de stator aangedrukt houdt. De rotor draait in een beschermkap die tegen het statorblok is geschroefd. Het statorblok bevat 12 slangpilaren, waardoor achtereenvolgens naar 12 tensiometercups kan worden geschakeld, en 1 slangpilaar om verbinding met de pressure transducer mogelijk te maken. De pilaartjes hebben een diameter van 0,063 inch (= 1,6 mm) uitwendig.

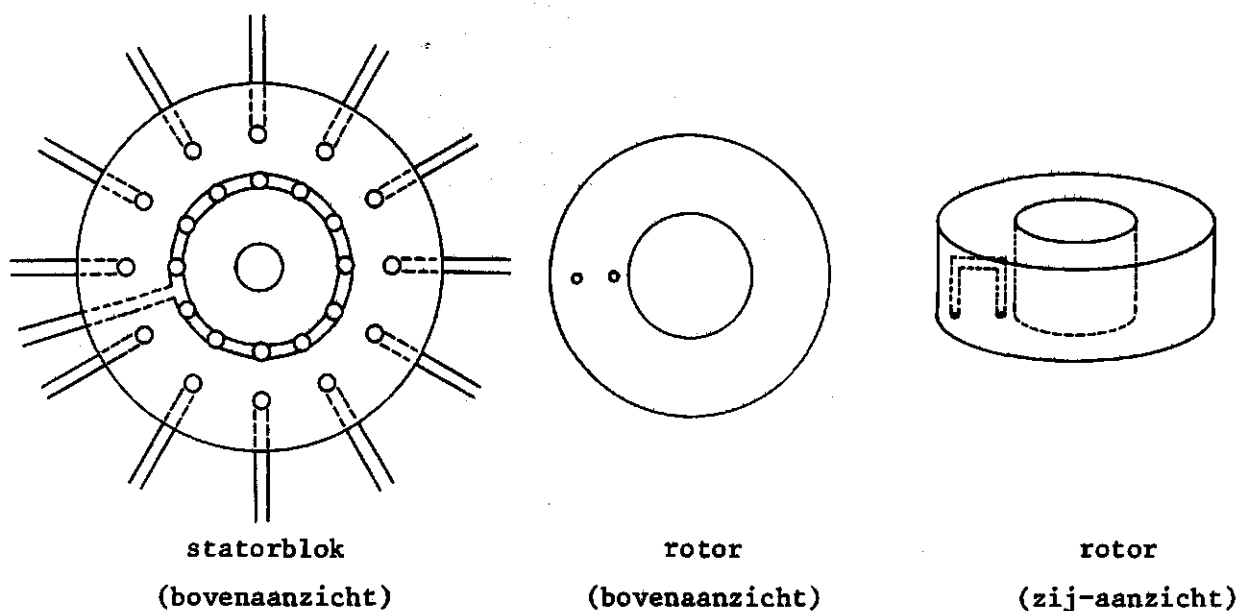
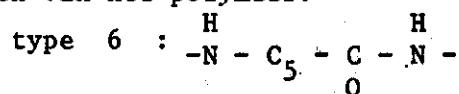


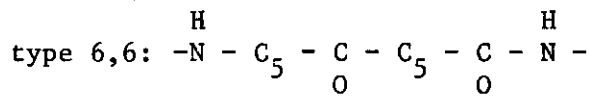
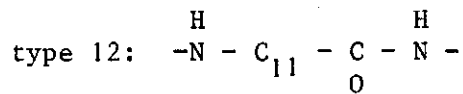
Fig. 3. Scanivalve vloeistofschakelaar

2.3. N y l o n s l a n g

De verbindingen tussen schakelaar en transducer en tussen schakelaar en tensiometercups zijn tot stand gebracht met behulp van dunne nylon slang. Toegepast zijn de afmetingen $1\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ mm en $2\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ mm. Beide maten zijn lekvrij in elkaar te schuiven.

Onder de handelsnaam nylon zijn verschillende soorten polyamiden bekend, zoals: 6-polyamide, 6-6-polyamide, 11-polyamide en 12-polyamide. De cijfers geven de plaats aan van de kenmerkende atoomgroepen in de keten van het polymeer.





Het aantal NH en CO groepen in verhouding tot de andere C-atomen bepaalt in sterke mate de hoeveelheid vocht die nylon kan opnemen. Een 12-polyamide neemt minder vocht op dan een 6-polyamide. De laatste kan maximaal ongeveer 10% vocht opnemen.

2.4. T e n s i o m e t e r c u p s

Onderzoek is verricht met verschillende soorten tensiometercups.

1. Coors poreus keramische buis type P2
 - diameter uitwendig 0,06 inch (= 1,5 mm)
 - wanddikte 0,02 inch. (= 0,5 mm)
 - lengte naar behoeven (circa 3 cm)
 - opening aan één eind afgesloten met kunsthars (Araldite)
 - op andere eind enkele cm-ers nylonslang (2½ x 1½ of 3 x 1½) ^{in mm} gelijmd
2. type Koenigs; keramische cups van circa 10 cm lengte en een diameter van 18 x 16 mm.

De cup wordt afgesloten met een ingekitte rubberstop, waar 2 nylonslangetjes 2½ x 1½ mm doorheen zijn getrokken. De extra slang dient voor ontluchting en kan worden afgesloten met een klinknagel.
3. messingbuis gevuld met Blokzijlzand - kaolien mengsel
 - diameter 10 x 8 mm
 - lengte 5 cm
 - aan één eind afgesloten met geperforeerd messing plaatje (WESSELING-WIT, 1966)
4. Keramische cups (Soil Moisture Equipment Corporation)
 - diameter 6 x 4 mm

- lengte 6,5 cm
 - de cup wordt verlengd met een glasbuisje (diameter 6 x 3 mm: lengte 3 cm) waarin 2 nyloslangetjes zijn gekit; één slang reikt tot op de bodem van de cup en het uiteinde van de andere slang is gelijk met bovenkant cup. Door uit te gaan van nylon-slangetjes van gelijke lengte (10 cm) is het slangetje dat het verst naar buiten steekt de ontluchtings slang. Een klinknageltje dient voor de afsluiting.
- Cup en glasbuisje worden met elkaar verbonden door er een stukje (circa 3 cm) pvc slang (6 x 9 mm) over te trekken en vast te lijmen.

2.5. D r i e w e g k r a n e n (g l a s)

Toegepast zijn:

vestale kranen (platte glazen kranen) met een boring van 1,5 mm.

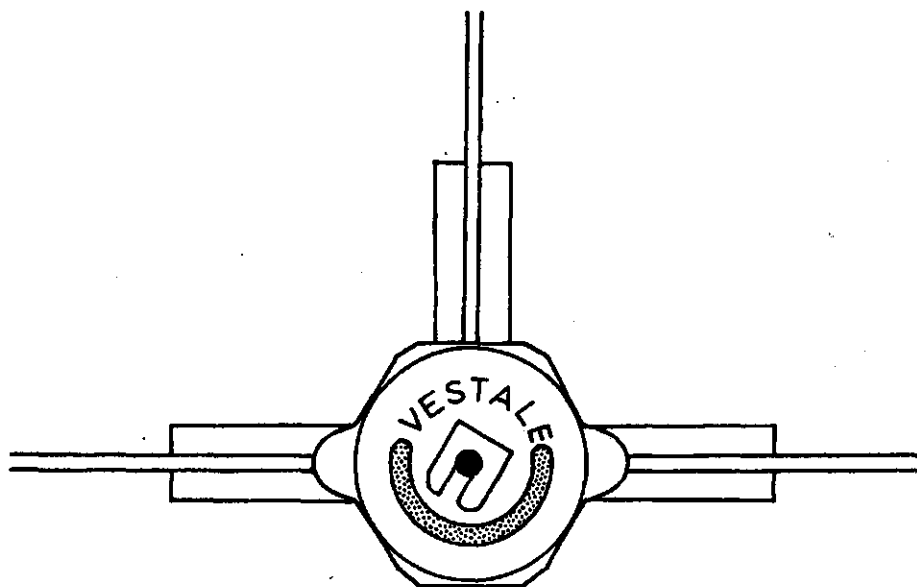


Fig. 4. Vestale kraan

Voordeel: Bedieningsgemak en goede bevestigingsmogelijkheid.

Nadeel: Luchtintrede vanaf een onderdruk van 300 cm water.
Moeilijk te ontlichten door verwijding bij aanzet buis.

De bruikbaarheid van de kranen kan worden vergroot door een nylon slang ($1\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ cm) door de buisaanzet te trekken. Daartoe wordt de kraan eerst gedemonteerd. De nylon slang wordt aan één eind uitgerekt en vervolgens door de buisaanzet gestoken en aangetrokken, waarna de slang in de buis wordt vastgemaakt door twee-componenten-hars te laten vloeien tussen slang en glaswand.

Na circa 24 uur drogen (20°C) is de lijm uitgehard. De slang wordt nu in de kraan gelijk met het glasoppervlak afgesneden. Na invetten van de beide kraanhelften wordt de kraan weer gemonteerd.

Om de bovenste helft van de kraan steviger op de onderste helft te drukken wordt de gebruikelijke veer met 6 windingen vervangen door een veer met 9 windingen.

2.6. V e n t i l a t o r e n

Vochtonttrekking uit grondmonsters door middel van verdamping kan worden bevorderd met behulp van een ventilator.

Toegepast zijn:

Pabst Lüfter type 4550

max. luchtverplaatsing $165 \text{ m}^3/\text{h}$.

Door het aanbrengen van een voorziening wordt de luchtstroom dicht langs het monster oppervlak geleid. De bovenzijde van de ventilator is voorzien van beschermgaas.

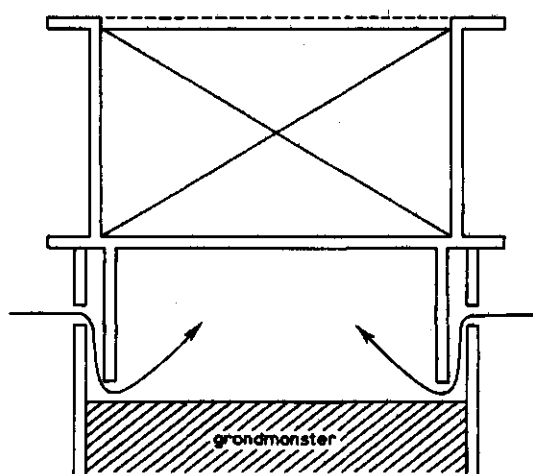


Fig. 5. Opstelling Pabst-ventilator

3. MEETOPSTELLING

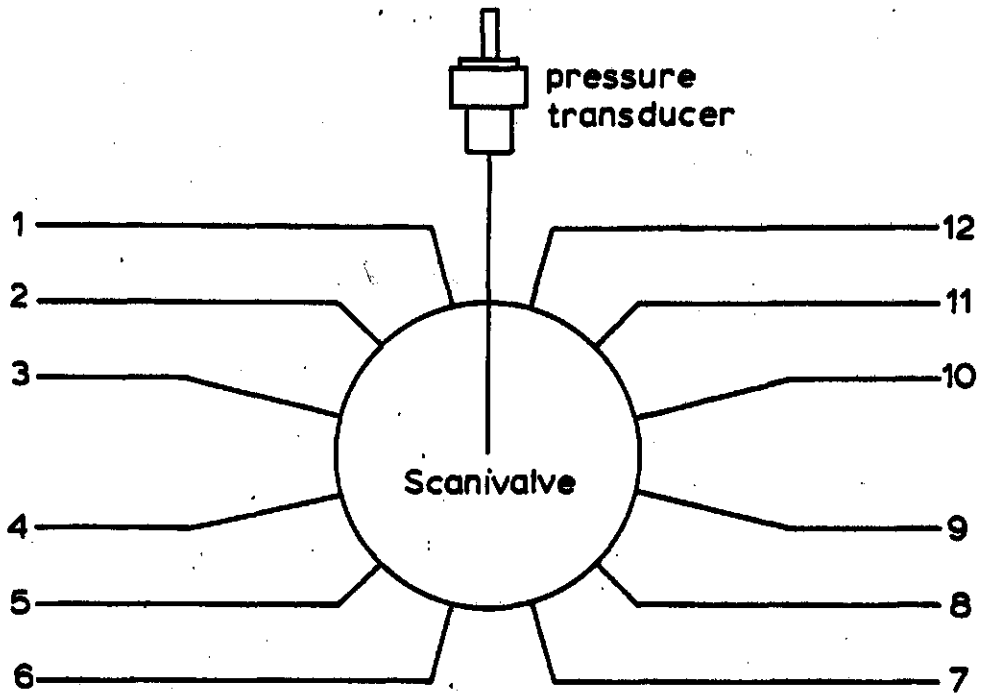


Fig. 6. Verbinding pressure-transducer met de tensiometercups

De scanivalve schakelaar verbindt de tensiometercups (1 t/m 12) om beurten met de pressure transducer.

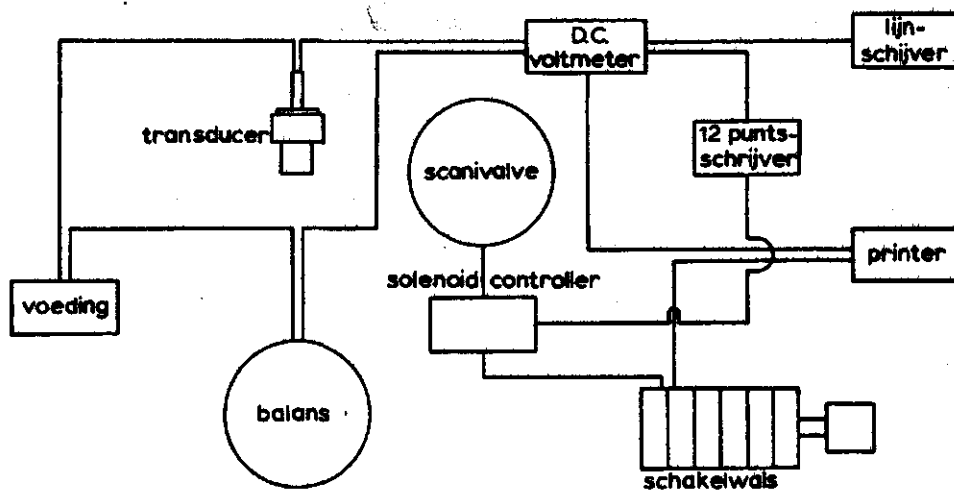


Fig. 7. Elektrisch circuit

4. ONDERZOEK

4.1. Het vullen met water van het systeem

In verband met de optredende onderdrukken is het noodzakelijk dat het systeem gevuld wordt met goed ontlucht water. Bij voorkeur wordt gedemineraliseerd water gebruikt, dat in een exsiccator wordt ontlucht door middel van een goed werkende luchtpomp.

Een injectiespuit gevuld met dit ontluchte water wordt op het uiteinde van de slang van vloeistofschakelaar naar transducer gezet, waarna, onder regelmatig schakelen, schakelaar en alle slangen krachtig worden doorgespoten.

De schakelaar kan ook worden doorgezogen door de slang naar de transducer in ontlucht water te leggen en onder voortdurend schakelen de onderdruk in schakelaar en tensiometerslangen op te voeren.

De tensiometercups worden ontlucht in een exsiccator en nog een keer afzonderlijk doorgezogen, waarna ze onder water aan de slanguiteinden worden geschoven.

Vervolgens wordt de adapter van de transducer gevuld door deze in verbinding te stellen met de referentie. (De referentie is het vat met ontlucht water, waarin 1 van de 12 slangen van de schakelaar zijn gehangen. Aan deze slang is geen tensiometercup bevestigd). Door de adapter wat lager op te hangen dan het referentieniveau vult de adapter zich geheel met water (bolle meniscus). Aanwezige luchtbelllen moeten worden verwijderd.

De transducer wordt nu in de adapter geplaatst en met een moer vastgezet. Overtollig water vloeit weg via de schakelaar naar het referentie-vat.

4.2. C a p a c i t e i t

De insteltijd van de zuigspanning wordt beïnvloed door de capaciteit van het meetsysteem. Onder de capaciteit wordt de volumeverandering verstaan, welke nodig is om een eenheid van drukverandering aan te geven (BAKKER, 1975).

Voor een voldoende instelsnelheid van de zuigspanning is een lage capaciteit vereist. De capaciteit kan worden bepaald door de onderdruk te variëren met behulp van een waterstraalluchtpomp en de volumeverandering af te lezen aan de verplaatsing van een watermeniscus in een dunne nylon slang.

Getest zijn:

- de pressure transducer no. 25713

met adapter A (adapter met ontluchtungskanaal en nylon slang (3 x 1½ mm) in Swagelok-fitting)

en met adapter B (adapter met ontluchtungskanaal en koperen buis (3 x 1 mm) in Swagelok-fitting)

(zie tabel 1)

- de vloeistofschakelaar Scanivalve Wo 662/1P-12T 303

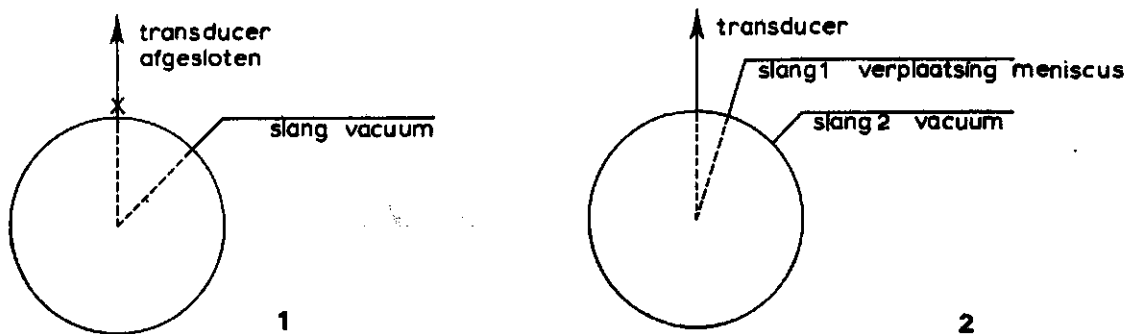


Fig. 8. Het testen van de capaciteit van de vloeistofschakelaar

- nylonslang type 6.6 ($1\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ mm); tabel 4.

Gemeten is de waterverplaatsing in nylonslang met een gemiddelde inwendige diameter van $\frac{1}{2}$ mm (1 mm waterverplaatsing is $0,1963 \times 10^{-3}$ cm³) en in nylonslang met een gemiddelde inwendige diameter van $1\frac{1}{2}$ mm (1 mm waterverplaatsing is $1,767 \times 10^{-3}$ cm³).

Tabel 1. Capaciteit pressure transducer (cm³ waterverplaatsing per cm waterkolom onderdruk)

Proef	Kolom I: waterverplaatsing (mm) in nylonslang (1 mm inwendig)				Kolom II: capaciteit				Bijzonderheden per proef				
	II	I	II	I	II	I	II	I					
1	$\frac{4}{10}$	$5,7 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{20}$	$6,5 \times 10^{-6}$	27	39	$10,0 \times 10^{-6}$	54 $\frac{51}{51}$	$15,3 \times 10^{-6}$	A	adapter		
2	lekkage									"	fiberring op adapter te ver uitgebogen		
3	$\frac{3}{10}$	$4,3 \times 10^{-6}$	$\frac{8}{20}$	$5,8 \times 10^{-6}$	15	30	$7,2 \times 10^{-6}$	$\frac{26}{40}$	$9,4 \times 10^{-6}$	"	fiberring vervangen		
4	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2}{20}$	$1,44 \times 10^{-6}$	3,5	30	$1,68 \times 10^{-6}$	$\frac{5}{40}$	$1,8 \times 10^{-6}$	"	adapter in exsiccator ontluucht		
5	als 4									"	adapter nog iets aangedraaid		
6	$\frac{4}{10}$	$5,7 \times 10^{-6}$	$\frac{10}{20}$	$7,2 \times 10^{-6}$	19	30	$9,1 \times 10^{-6}$	$\frac{32}{40}$	$11,5 \times 10^{-6}$	"	ontluchtingskanaal adapter doorgespoten		
7	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2}{20}$	$1,44 \times 10^{-6}$	3,5	30	$1,68 \times 10^{-6}$	$\frac{5,5}{40}$	$1,98 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{50}$	$2,6 \times 10^{-6}$	"	adapter opengedraaid en doorgespoten
8	$\frac{1,5}{9}$	$2,4 \times 10^{-6}$	$\frac{3,5}{20}$	$2,5 \times 10^{-6}$	8	32	$3,6 \times 10^{-6}$	$\frac{14,5}{42}$	$5,0 \times 10^{-6}$	B			
9	$\frac{2}{10}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$\frac{4}{20}$	$2,9 \times 10^{-6}$	8	30	$3,8 \times 10^{-6}$	$\frac{13}{40}$	$4,7 \times 10^{-6}$	"	herhaling proef 8		
10	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{20}$	$1,8 \times 10^{-6}$	4	30	$1,92 \times 10^{-6}$	$\frac{6}{40}$	$2,2 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{50}$	$2,6 \times 10^{-6}$	"	rubber O-ring van fitting vervangen door filterring
11	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{20}$	$1,8 \times 10^{-6}$	5	30	$2,4 \times 10^{-6}$	$\frac{8}{40}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$\frac{12,5}{50}$	$3,6 \times 10^{-6}$	"	herhaling proef 10
12	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2}{20}$	$1,44 \times 10^{-6}$	4,5	30	$2,2 \times 10^{-6}$	$\frac{6,5}{40}$	$2,3 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{50}$	$2,6 \times 10^{-6}$	"	adapter opengedraaid en doorgespoten
13	$\frac{1,5}{10}$	$2,16 \times 10^{-6}$	$\frac{3}{20}$	$2,2 \times 10^{-6}$	5	30	$2,4 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{40}$	$3,2 \times 10^{-6}$	$\frac{16}{50}$	$4,6 \times 10^{-6}$	"	als 12, na opnieuw ontluichten en doorspoe- len
14	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{3}{20}$	$2,2 \times 10^{-6}$	5	30	$2,4 \times 10^{-6}$	$\frac{8}{40}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$\frac{13}{50}$	$3,8 \times 10^{-6}$	"	als 13, met vers ontluucht water
15	$\frac{1,5}{10}$	$2,16 \times 10^{-6}$	$\frac{3,5}{20}$	$2,5 \times 10^{-6}$	6	30	$2,9 \times 10^{-6}$	$\frac{10,5}{40}$	$3,8 \times 10^{-6}$	$\frac{17,5}{50}$	$5,1 \times 10^{-6}$	"	ontluucht via ontluchtingskanaal
16	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{20}$	$1,8 \times 10^{-6}$	5	30	$2,4 \times 10^{-6}$	$\frac{7,5}{40}$	$2,7 \times 10^{-6}$	$\frac{11,5}{50}$	$3,3 \times 10^{-6}$	"	ontluchtingsschroef voorzien van vacuum- vet

Tabel 2. Capaciteit scanvalve (cm³ waterverplaatsing per cm waterkolom)

		Kolom I: waterverplaatsing (mm) in nylonslang (¼ mm inwendig)						kolom II: capaciteit		
		I		II		I		II		Bijzonderheden
		onderdruk (cm Hg)								
Aangesloten op vacuüm-systeem		I	II	I	II	I	II	I	II	
slang	8	$\frac{5,5}{10}$	$7,9 \times 10^{-6}$	$\frac{15}{20}$	$10,8 \times 10^{-6}$	$\frac{29}{30}$	$13,9 \times 10^{-6}$	$\frac{53}{40}$	$19,1 \times 10^{-6}$	
	2	$\frac{5}{10}$	$7,2 \times 10^{-6}$	$\frac{12,5}{20}$	$9,0 \times 10^{-6}$	$\frac{23}{30}$	$11,1 \times 10^{-6}$	$\frac{42}{40}$	$15,2 \times 10^{-6}$	
	1	$\frac{4}{10}$	$5,8 \times 10^{-6}$	$\frac{9}{20}$	$6,5 \times 10^{-6}$	$\frac{17}{30}$	$8,2 \times 10^{-6}$	$\frac{30}{40}$	$10,8 \times 10^{-6}$	na doorspuiten met ontluicht water
	3	$\frac{2,5}{10}$	$3,6 \times 10^{-6}$	$\frac{6}{20}$	$4,3 \times 10^{-6}$	$\frac{11}{30}$	$5,3 \times 10^{-6}$	$\frac{20}{40}$	$7,2 \times 10^{-6}$	
	4	$\frac{3,5}{10}$	$5,1 \times 10^{-6}$	$\frac{7,5}{20}$	$5,4 \times 10^{-6}$	$\frac{14}{30}$	$6,7 \times 10^{-6}$	$\frac{24,5}{40}$	$8,8 \times 10^{-6}$	
	5	$\frac{2}{10}$	$2,9 \times 10^{-6}$	$\frac{4,5}{20}$	$3,2 \times 10^{-6}$	$\frac{9,5}{30}$	$4,3 \times 10^{-6}$	$\frac{15,5}{40}$	$5,6 \times 10^{-6}$	
	4	$\frac{1}{10}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{20}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$\frac{3,5}{30}$	$1,68 \times 10^{-6}$	$\frac{5,5}{40}$	$2,0 \times 10^{-6}$	alle doorgangen nogmaals doorgespotten
	4	$\frac{0,75}{10}$	$1,08 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{20}$	$1,08 \times 10^{-6}$			$\frac{25}{40}$	$0,9 \times 10^{-6}$	het doorspuiten herhaald
	7	$\frac{0,75}{10}$	$1,08 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{20}$	$1,08 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{30}$	$1,2 \times 10^{-6}$	$\frac{3,5}{40}$	$1,26 \times 10^{-6}$	
	10	$\frac{0,5}{10}$	$0,72 \times 10^{-6}$	$\frac{1}{20}$	$0,72 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{30}$	$0,72 \times 10^{-6}$	$\frac{2,5}{40}$	$0,9 \times 10^{-6}$	
	1	$\frac{0,5}{10}$	$0,72 \times 10^{-6}$	$\frac{1,25}{20}$	$0,9 \times 10^{-6}$	$\frac{2}{30}$	$1,08 \times 10^{-6}$	$\frac{3}{40}$	$1,08 \times 10^{-6}$	

Tabel 3. Capaciteit Scanivalve wanneer naastliggende uitgang verbonden is met de transducer

		Kolom I: waterverplaatsing (mm) in nylonslang ($\frac{1}{4}$ mm inwendig).				Kolom II: capaciteit onderdruk (cm Hg)									
Proef	Verbonden met transducer	Aangesloten op vacuum-		I		II		I		II					
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II				
1	slang 1	$\frac{0}{10,5}$	0	$\frac{0,5}{17}$	$3,8 \times 10^{-6}$	$\frac{1,0}{27}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{33,5}$	$5,8 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{43}$	$5,0 \times 10^{-6}$	$\frac{1,5}{55}$	$3,5 \times 10^{-6}$	$\frac{2}{62}$	$4,2 \times 10^{-6}$
2	3	$\frac{0}{10}$	0	$\frac{0,5}{20}$	$0,36 \times 10^{-6}$					$\frac{1,5}{40}$	$0,54 \times 10^{-6}$				
3	9	8	resultaat als bij proef 2												

Opmerking proef 1: De waterverplaatsing is gemeten in nylonslang ($\frac{1}{4}$ mm inwendig). Lucht in schakelaar.

2: Lucht verwijderd en gemeten in nylonslang met inwendige diameter van $\frac{1}{4}$ mm.

3: Schakelen van Scanivalve heeft geen invloed.

Tabel 4. Capaciteit nylonslang type 6.6. (1½ x ½ mm)

Onderdruk Verplaatsing meniscus Capaciteit (cm³ per cm
per meter slang waterkolom)

Onderdruk	Verplaatsing meniscus	Capaciteit (cm ³ per cm)
11,5 cm Hg	0 mm	0
22 " "	0 - 0,5 "	0 - 0,33 x 10 ⁻⁶
34,5 " "	0,5 "	0,21 x 10 ⁻⁶
47,5 " "	0,5 - 1 "	0,15 x 10 ⁻⁶ - 0,30 x 10 ⁻⁶
58 " "	1 "	0,25 x 10 ⁻⁶

4.3. 'Lucht' in het systeem

Wanneer de uitgangen van de elektrische vloeistofkraan Wo 662/1P-12T 303 met balansdruk, met nylonslangen om en om worden verbonden met een onderdruk van 0 cm H₂O en van 500 cm H₂O, dan zijn, na regelmatig schakelen (intervals van 25 sec) na enige tijd (ongeveer 12 uur) lucht-bellen in de slangen (500 cm H₂O onderdruk) waar te nemen.

De lucht ontstaat ook wanneer de kraan onder water is geplaatst. Het blijkt dat de lucht zowel via de kraan de slangen binnenkomt, alsook ontstaat in de nylonslangen zelf.

Tevens vindt watertransport plaats van onderdruk 0 cm H₂O naar onderdruk 500 cm H₂O (53 mm³/uur).

Het doorpersen van koolzuur dat beter oplosbaar is in water dan lucht (oplosbaarheid in 1 volumedeel water bij 20°C en 760 mm kwik-druk is voor koolzuur 0,878 en voor lucht 0,0187 volumedelen) heeft op het ontstaan van lucht-bellen geen invloed.

Naar aanleiding van deze waarnemingen zijn verschillende typen Scanivalve kranen en slangen getest.

4.3.1. Vloeistofkranen

De Scanivalve Wo601/1P-12T 2024 aluminium met balansdruk geeft eenzelfde resultaat als type Wo662/1P-12T 303 met balansdruk. Wordt de balansdruk niet aangelegd dan blijkt dat het 2 dagen duurt voordat bij continue schakelen, van 0 cm naar 800 cm waterkolom en terug

(interval 2 min.), enkele luchtbelllen ontstaan.

Type Wo662/1P-12T 2024 aluminium (zonder balansdruk en olie gesmeerd) geeft de beste resultaten; een test als hiervoor genoemd wijst uit dat ook na enkele dagen geen luchtbelllen zijn gevormd.

4.3.2. Nylonslang

In alle gebruikte typen nylonslang (type 12.- 11.- en 6.6- polyamide), gevuld met ontlucht water en op onderdruk gebracht, ontstaan na verloop van enige dagen 'luchtbelllen'. De snelheid waarmee de 'lucht' ontstaat hangt minder af van het gebruikte type slang als van de uitgangstoestand van de slang (nieuw, vuil, vochtgehalte).

Een afgesloten en met water gevulde nylonslang verliest snel water door waterdamp-diffusie door de wand. In de slang ontstaan water vrije gedeelten (geen lucht).

Proef 3,5 meter nylonslang (diameter 1,5 x 0,9 mm) weegt leeg 5994 mg en gevuld met water 8267 mg. Na 32 dagen bij 20°C en 50% relatieve vochtigheid is het gewicht afgenomen met 1629 mg (fig. 9).

Per dag is het waterverlies $\frac{100}{8267-5994} \times \frac{1629}{32} = 2,1\%$

De verdamping aan de wand is $\frac{1629}{3500 \times 32 \times \frac{1}{4} \pi \times 1,5^2} = 0,008$ mm/dag

Ondanks genoemd bezwaar is voorlopig voor nylonslang in plaats van metalen slang gekozen, voornamelijk wegens de flexibiliteit, die een grote hanteerbaarheid waarborgt en omdat nylonslang doorzichtig is, waardoor storingen (luchtbelllen) direct zijn te localiseren.

4.3.3. Adapter pressure-transducer

Bij het installeren van de pressure-transducer blijkt de adapter moeilijk te ontlichten te zijn. Luchtbelllen blijven kleven in de schroefdraad. Ontvetten (bijvoorbeeld met tetra) helpt weinig. De schroefdraad wordt daarom zoveel mogelijk weggewerkt met behulp van 2 componenten kunsthars (Araldite). Een adapter met ontlichtingsmogelijkheden (type CON2a) geeft bovendien gelegenheid tot lekkage

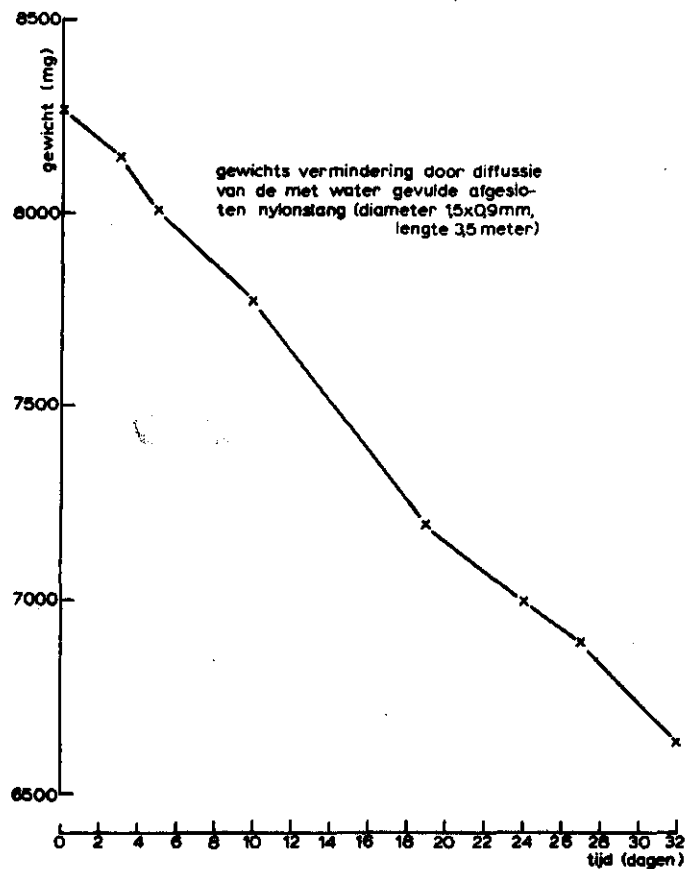


Fig. 9. Diffusie van waterdamp door nylon slang (diameter 1,5 x 0,9 mm)

en roestvorming. Het gebruik van adaptertype CON 2g heeft daarom de voorkeur.

4.4. T e n s i o m e t e r c u p s

Tensiometercups dienen, om bruikbaar te zijn voor een zo groot mogelijk vochtspanningstraject, verzadigd te blijven tot hoge zuigspanning (900 cm waterkolom) (maximale poriëndiameter klein); anderzijds moeten ze een voldoende doorlatendheid bezitten (veel grote poriën) en goed contact hebben met de grond om snel genoeg te kunnen reageren op vochtspanningsveranderingen.

Er zijn 3 typen tensiometercups getest.

Namelijk: Blokzijlzand-kaolien mengsel (= B)
 volgens Coors (= C)
 volgens Koenigs (= K)

Via de elektrische vloeistofschakelaar worden de tensiometers met

de transducer verbonden. De tensiometers zijn om en om gestoken boven in monsters zilverzand (Z) en löss (L) volgens onderstaand schema, waarna het water uit de monsters is gaan verdampen.

Tensiometer nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Type	B	B	C	C	K	K	B	C	C	B	K	K
Monster	Z	L	Z	L	Z	L	Z	L	Z	L	Z	L

De vochtspanning in löss loopt veel sneller op dan in zilverzand. De transducer krijgt daardoor steeds grotere verschillen in zuigspanningen te verwerken. In fig. 10 is de snelheid te zien waarmee de in zilverzand gestoken tensiometers zich instellen, direct nadat de transducer een zuigspanning in löss heeft verwerkt.

De tensiometers van het type Koenigs stellen zich zeer snel in. De zelfgemaakte tensiometers van Blokzijklzand - kaolien komen zeer langzaam (meer dan 20 minuten) op evenwicht.

Hetzelfde verschijnsel doet zich voor wanneer we na metingen in zilverzand overschakelen naar de tensiometers gestoken in löss (fig. 11). De reactiesnelheid van de Coors-tensiometers houdt het midden tussen die van eerder genoemde typen, maar verloopt langzamer dan gewent is. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij vervuilde cups de weerstand sterk is vergroot. De cups dienen daarom steeds zorgvuldig te worden behandeld, waarbij aanraking met vet of vuil moet worden vermeden.

Voor het bepalen van vochtspanningen zou men de voorkeur moeten geven aan tensiometercups van het type Koenigs. Door hun afmeting zijn ze voor laboratoriumgebruik, waar met betrekkelijk kleine hoeveelheden grond wordt gewerkt, minder geschikt.

Er is daarom besloten de verdere proefnemingen voort te zetten met Keramische cups van Soil Moisture Equipment Co.

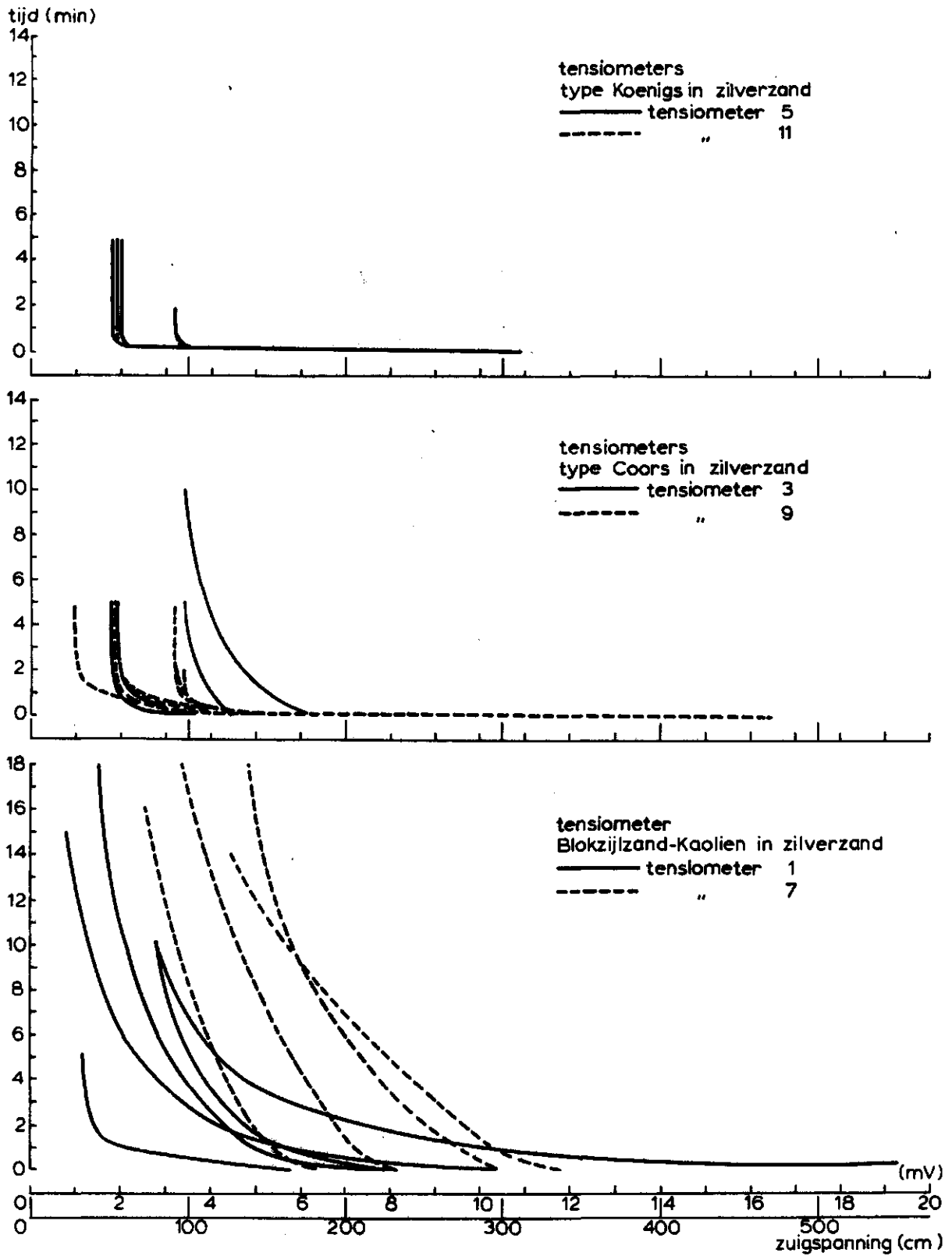


Fig. 10. Instelsnelheid tensiometers in zilverzand

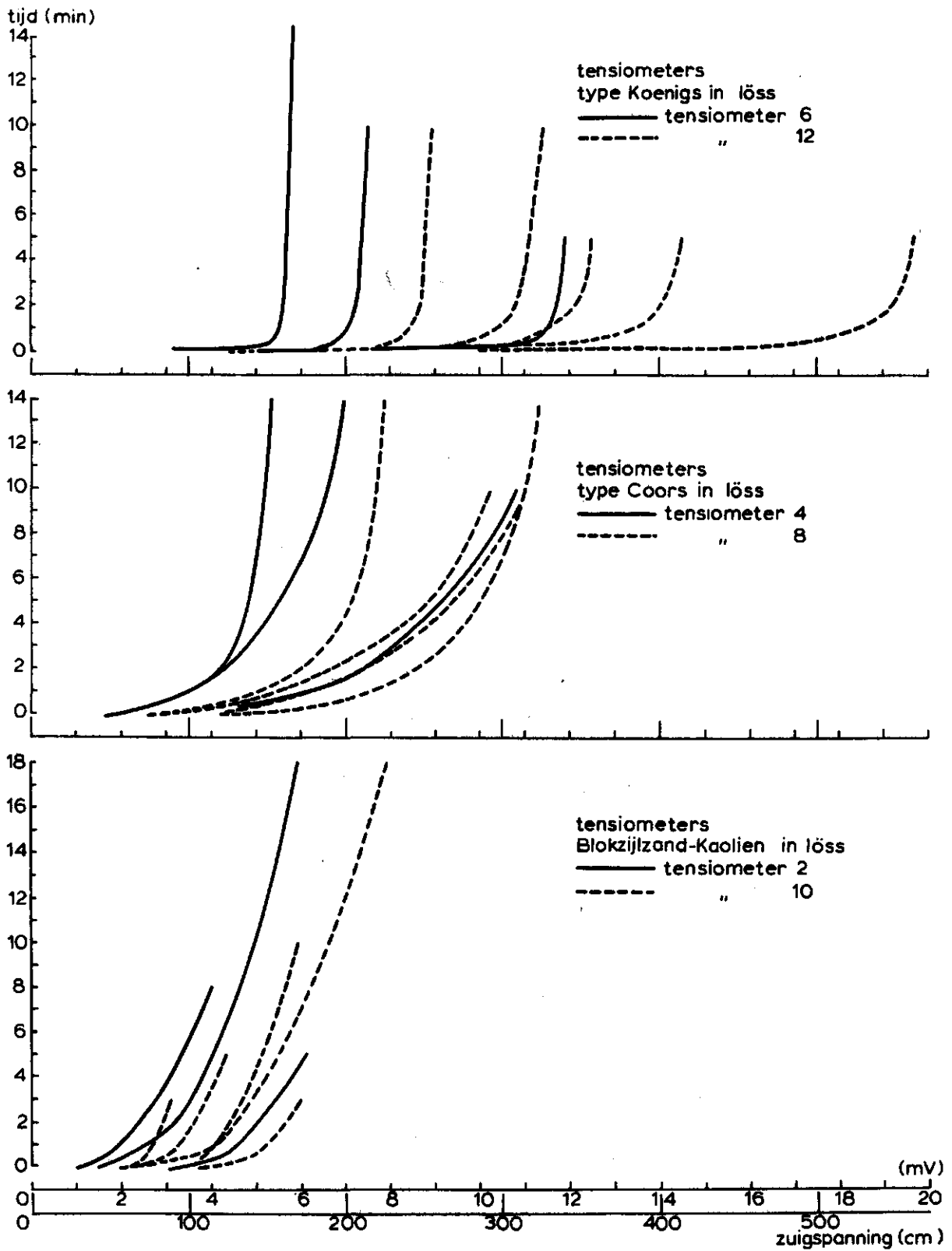


Fig. 11. Instelsnelheid tensiometers in löss

4.5. V e r d a m p i n g m e t v e n t i l a t o r

Uit fig. 12 blijkt dat het gebruik van een ventilator de verdamping van vocht uit een verzadigd monster matig fijn zand (0,05 - 0,15 mm) aanzienlijk versnelt. Het maakt geen verschil of de ventilator de lucht over het grondoppervlak aanzuigt of dat de lucht over het grondoppervlak geblazen wordt.

4.6. D r i e w e g k r a n e n

Het verdient aanbeveling om tussen de pressure transducer en de elektrische vloeistofkraan een driewegkraan te bevestigen om het systeem te kunnen ontluichten, waarbij de verbinding naar de transducer kan worden afgesloten.

Van de aangepaste platte glaskranen (zie 2.5 blz. 8) bleken er een aantal lucht door te laten wanneer een onderdruk van ongeveer 500 cm waterkolom bereikt werd. Elke kraan zal dus voor gebruik moeten worden getest.

5. ENKELE PROEVEN

5.1. C o o r s - t e n s i o m e t e r s

5.1.1. Insteltijd

De insteltijd van de Coors-tensiometers is nader onderzocht door 12 'nieuwe' tensiometers in verschillende gronden te plaatsen, dit wil zeggen

- 1, 4, 7 en 10 in leem (in 100 cm³ cylinder met vrije verdamping)
- 2, 5, 8 en 11 in een blokzijlzand filter (circa 70 cm zuigspanning)
- 3 en 12 in water (referentie)
- 6 en 9 in met water verzadigde klei

Gemeten is met pressure transducer Statham PM 856 + 15 serie no. 52358 (- 1 millivolt = 35,97 cm waterkolom onderdruk). Na 1 dag is de instelsnelheid nagegaan aan de hand van het verloop van de gemeten spanning (mV).

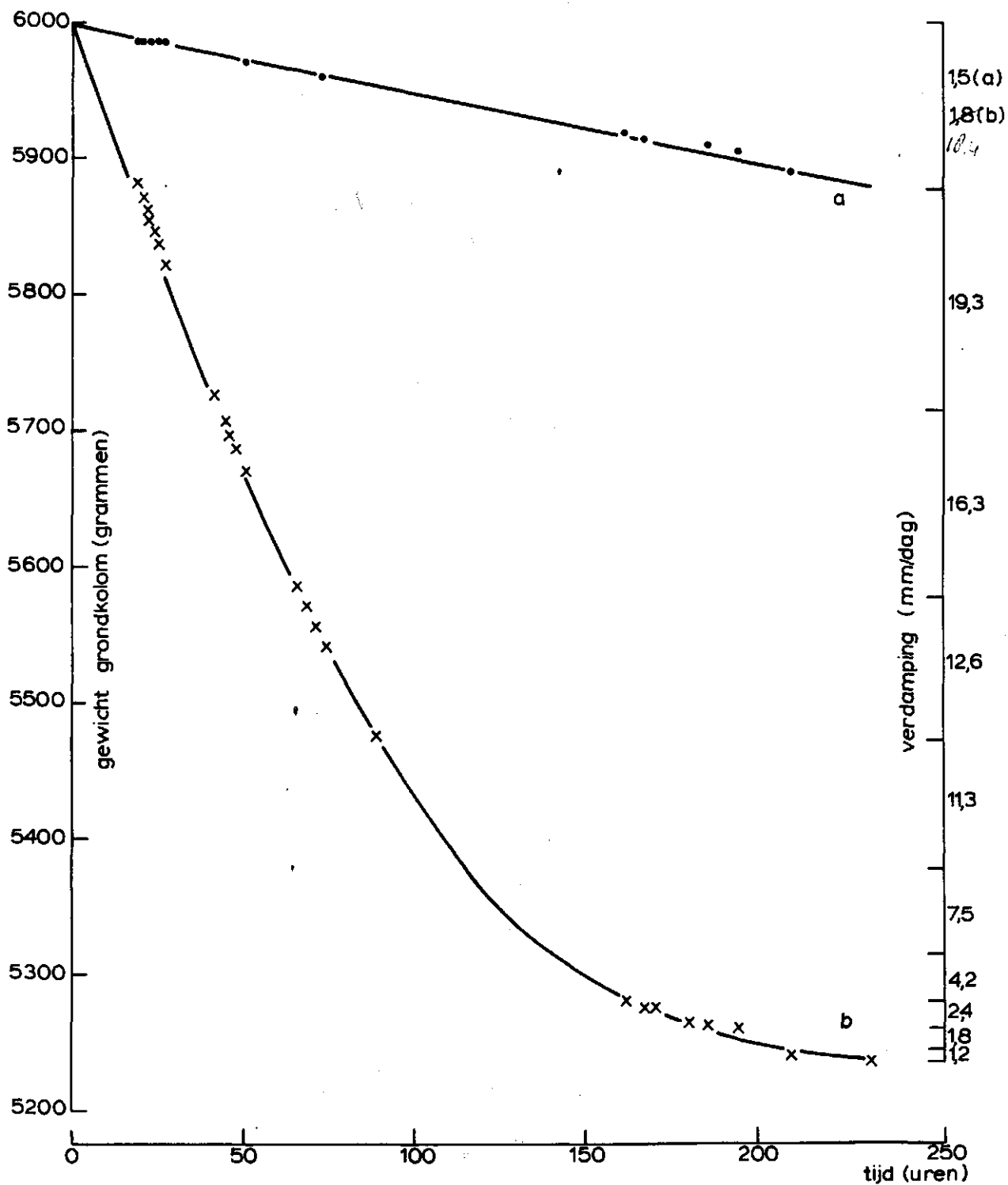


Fig. 12. Verdamping van water zonder en met ventilator uit verzadigd monster matig fijn zand

tens. nr.	direct	na 5 sec.	10 sec.	15 sec.	20 sec.	30 sec.	60 sec.
1		- 7,50	- 7,76				- 7,85
2		- 3,25	- 2,62		- 2,17	- 2,06	- 2,05
3	+ 0,07						+ 0,07
4		- 7,61	- 7,76	- 7,78	- 7,80		- 7,85
5			- 2,01			- 1,98	- 2,03
6			- 1,17				- 1,20
7		- 7,20	- 7,62		- 7,79		- 7,85
8			- 2,54				- 2,03
9	- 1,21 (2 sec)						- 1,20
10		- 7,74	- 7,80				- 7,85
11		- 2,67	- 2,09				- 2,03
12	+ 0,06						+ 0,06

De instelsnelheid van de tensiometers bedraagt dus in het ongunstigste geval circa 30 sec.

Na 3 dagen werden de volgende voltages gemeten

tens. nr.	Voltage (mV)
1	- 15,58
2	- 2,39
3	- 0,07
4	- 15,46
5	- 2,18
6	- 1,34
7	- 15,46
8	- 2,81
9	- 1,34
10	- 15,67
11	- 2,18
12	- 0,07

De tensiometers 3, 12, 6 en 9 geven direct de juiste waarde, de overigen na ongeveer 1 minuut (zie de registratie op de Servogor-recorder in fig. 13; no. 9 is niet geregistreerd). De proef is toen beëindigd wegens het ontstaan van luchtballen in de slangen 1, 4, 7 en 10.

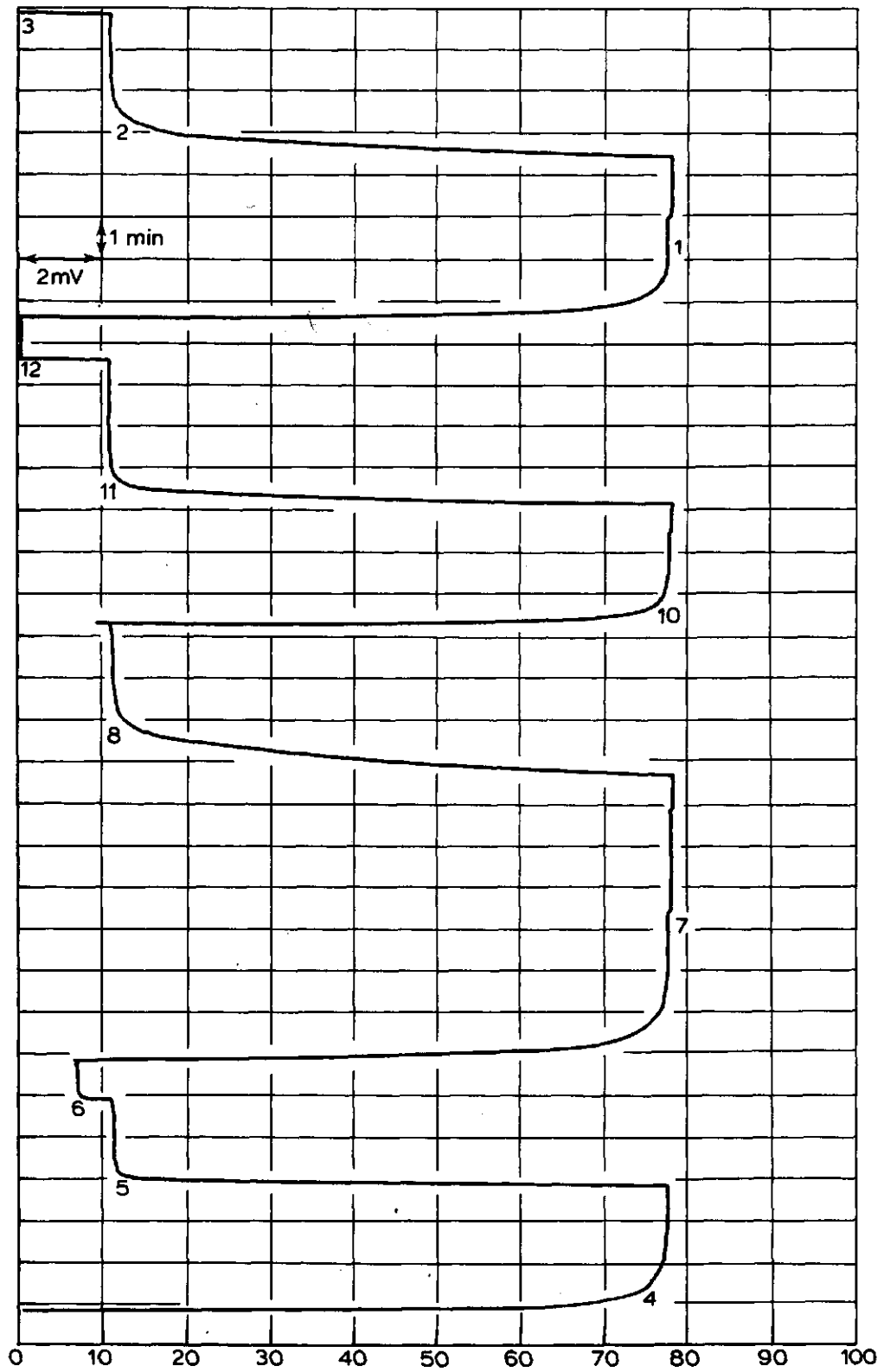


Fig. 13. Registratie van de vochtspanning op Servogor-recorder

5.1.2. Vochtspanningsmetingen

In monsters van verschillende gronden (Kopeçky-cylinders) is de vochtspanning gemeten door vertikaal in elk monster 2 Coors-tensio-
meters te steken. De vochtonttrekking wordt bevorderd door boven de
monsters een lamp en een ventilator te plaatsen ('s nachts uitge-
schakeld). Uitgegaan wordt van verzadigde monsters.

Tabel 5. Overzicht van de gebruikte monsters, hun dichtheden en de
nummering van de ingestoken tensiometers

Grondsoort	Droog volume gewicht	Tensiometer nr.
nudeklei	1,39	1 en 11
tuinaarde	1,33	2 en 4
tuinaarde	1,23	5 en 8
blokziylzand	1,34	3
blokziylzand	1,21	6 en 9
duinzand	1,62	7 en 10
water		12

De spanningen afgegeven door de drukopnemer zijn in fig. 14
uitgezet tegen de tijd.

De aanwijzingen van de beide tensiometers in ieder monster
komen goed met elkaar overeen.

De zuigspanning in duinzand en blokziylzand stijgt aanvankelijk
sneller dan in nudeklei maar na enkele uren is de situatie omgekeerd
en loopt de vochtspanning in de zandgronden veel minder snel op dan
die in de klei. De evenwichtsinstelling in klei bij vochtspanningen
van 600 cm waterkolom bedraagt ongeveer 10 minuten (fig.15).

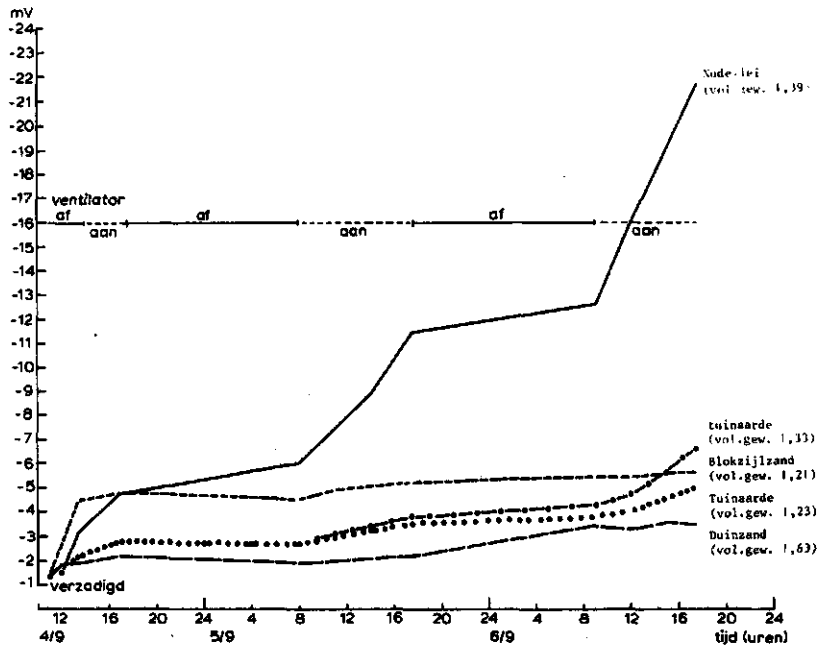


Fig. 14. Vochtspanningsverloop in diverse gronden

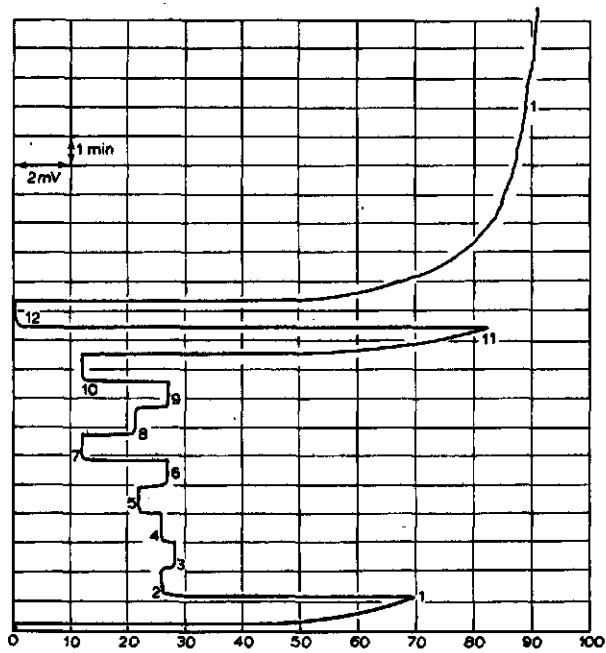


Fig. 15. Registratie instelsnelheid tensiometers 1 t/m 12 op Servogor

5.1.3. Vochtspanning en vochtgehalten

Uit 6 verschillende grondmonsters (5 cm hoogte, 5 cm diameter) (duinzand, Blokzijklzand, zavel, zilverklei, tuinaarde en veen) wordt het water verdampt met behulp van een ventilator, waarbij zowel de vochtspanning als het gewicht van de monsters wordt bepaald. In elk monster zijn 2 Coors-tensiometers gestoken. Om de monsters te kunnen wegen worden de tensiometers eruit gehaald. Na herplaatsing is de aangegeven waarde lager dan voor de weging. De geforceerde verdamping maakt dat de tijd te kort is om na te gaan wanneer de juiste waarden zijn ingesteld. De insteltijd wordt bij het droger worden van de monsters steeds langer. De proef is daarom voortijdig beëindigd. De resultaten staan vermeld in tabel 6 en fig. 16.

Tabel 6. Vochtspanning en vochtgehalte tijdens de verdamping

		Tijd (uren) na start	0	1	2	3	4	5
duinzand	ψ (cm water)		0	23	32	45	75	85
	vocht vol.%		37,5	34	21,5	6,5	5,0	4,5
nudeklei	ψ (cm water)		0	20	40	69	102	123
	vocht vol.%		52,5	50	48	46,5	45	43,5
zavel	ψ (cm water)		0	24	42	65	112	135
	vocht vol.%		47	44	41	39	36	34,5
blokzijklzand	ψ (cm water)		0	23	40	66	122	130
	vocht vol.%		45,5	41,5	40	39	38	37,5
tuinaarde	ψ (cm water)		0	23	47	71	84	94
	vocht vol.%		42	37,5	35	33	31,5	30,5
veen	ψ (cm water)		0	20	40	62	80	95
	vocht vol.%		48,5	30,5	22,5	17	14,5	12,5

Een beter resultaat zal kunnen worden verkregen door de monsters te wegen zonder de tensiometer te verwijderen en daarbij de vochtonttrekking niet te forceren.

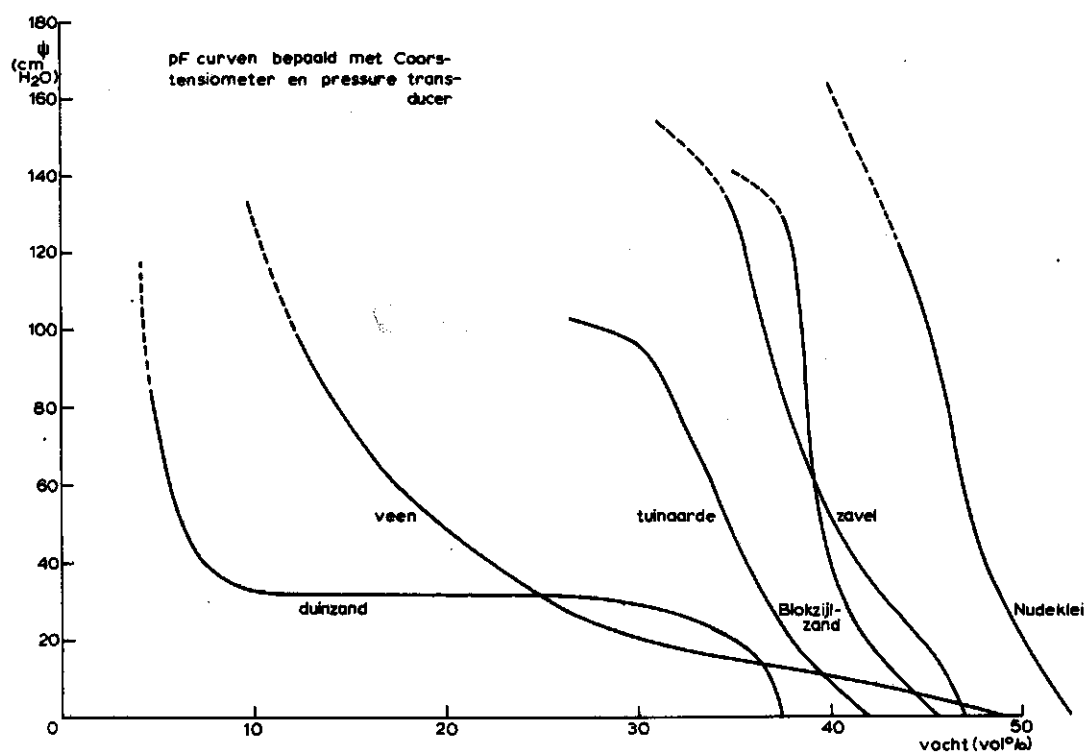


Fig. 16. pF-curven bepaald met Coors-tensiometers en pressure transducer

5.1.4. Metingen aan veldmonsters

Teneinde enig inzicht te verkrijgen in het doormeten van praktijkmonsters en de hierbij te volgen procedure, zijn aan een drietal gestoken monsters een reeks van metingen verricht.

Tabel 7. Herkomst monsters

Plaats	Plek	Laag	Textuur	Volumegewicht
Overloon	6	24-63 cm	fijn zand	1,68
"	7	24-63 cm	lemig fijn zand	1,01
"	8	40-79 cm	fijn zand	1,74

De pF-curven zijn weergegeven in fig. 17.

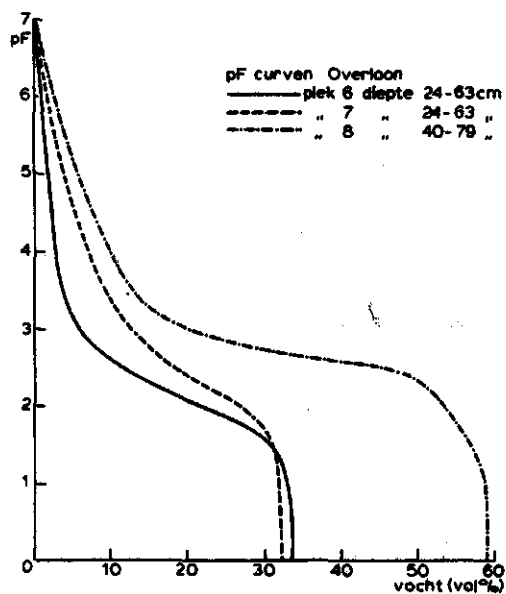


Fig. 17. pF-curven Overloon

De monsters zijn gestoken in p.v.c. cylinders (lengte 45 cm, inwendige doorsnede 79 mm, wanddikte 3 mm). In de cylinderwand zijn 4 openingen geboord, recht boven elkaar, met een onderlinge afstand van 10 cm, te beginnen 7,5 cm van het cilindereinde.

Preparatie. Aan de onderkant van de monsters wordt 1 cm grond vervangen door filtergrond. De cylinder komt te rusten op een bodem met zeef met een mogelijkheid voor water aan- of afvoer.

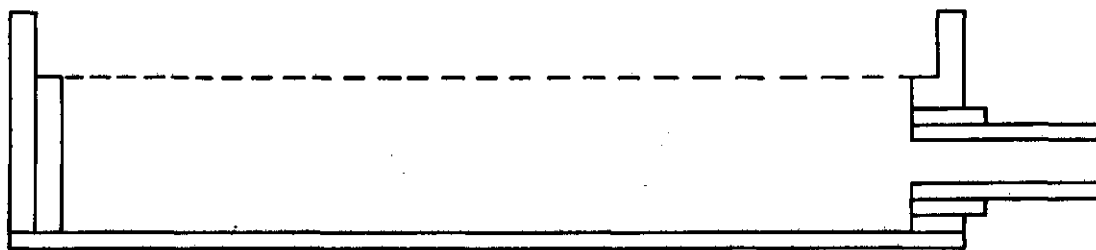


Fig. 18. Cylinderbodem

De bodem wordt lucht- en waterdicht aan de cylinder gelijmd. Aan de bovenkant van de monsters wordt 5 cm grond verwijderd om een trechter te kunnen plaatsen, die tijdens verdamping aangeblazen lucht gelijkmatig over het oppervlak voert (fig. 19).

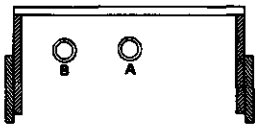
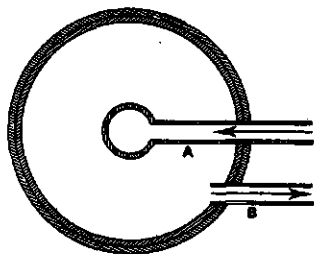
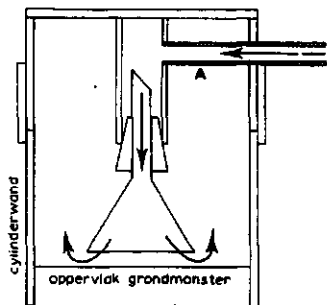


Fig. 19. Kap met trechter voor de geleiding van aangeblazen lucht

De monsters komen op balansen (drukopnemers) te staan, waarna de tensiometers (Coors) worden ingestoken. Fig. 20 geeft een overzicht van de opstelling met de plaats van de pressure transducer en de hoogte waarop de outputspanning 0,00 mV bedraagt.

De zuigspanningen, berekend uit het waargenomen voltage moeten gecorrigeerd worden met de afstand van de tensiometers tot het punt waar een spanning van 0,00 mV gemeten wordt.

Het schakelen naar de meetpunten (12 tensiometers en 3 balansen) en het printen (digitaal) van de voltages vindt plaats met behulp van een met nokkenschijven voorziene schakelwals.

Verzadigde doorlatendheid.

Deze wordt bepaald door, met een constante drukhoogte, water van onder naar boven door het monster te leiden, waarna de in een bepaalde tijd doorgestroomde hoeveelheid, wordt gemeten in een in de afvoerleiding gemonteerde buret.

Onverzadigde doorlatendheid (infiltratie-methode)

Met behulp van een microdoseerpomp wordt water op het monster geïnfilteerd wat aan de onderkant van het monster wordt opgevangen in een maatcylinder.

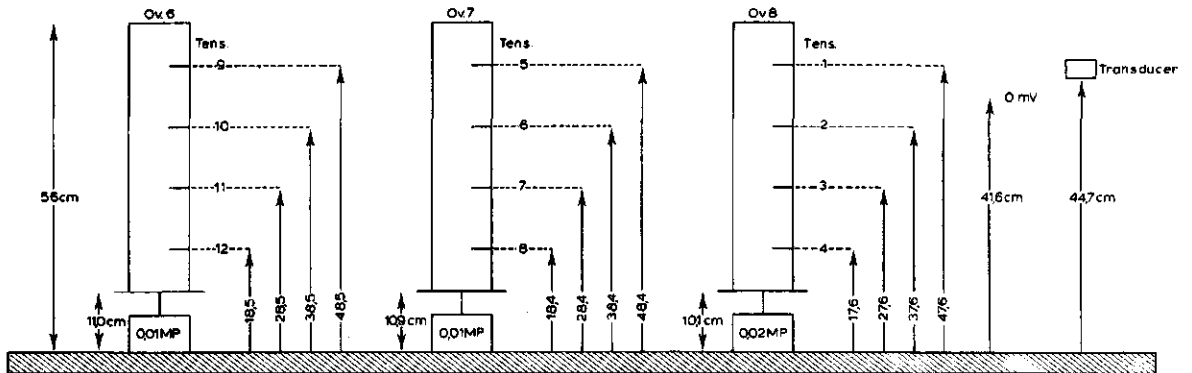


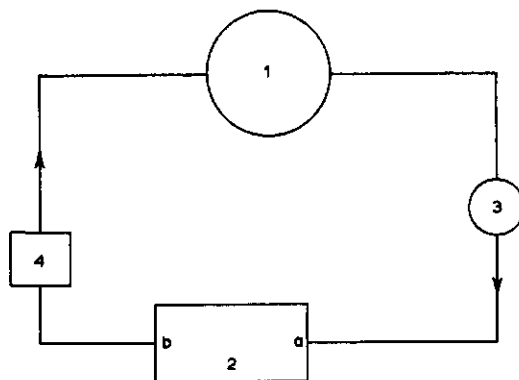
Fig. 20. Meetopstelling monsters

Tabel 8. Correctie zuigspanning

tens. 1	+ 6,0 cm	tens. 5	+ 6,8 cm	tens. 9	+ 6,9 cm
2	- 4,0 cm	6	- 3,2 cm	10	- 3,1 cm
3	- 14,0 cm	7	- 13,2 cm	11	- 13,1 cm
4	- 24,0 cm	8	- 23,2 cm	12	- 23,1 cm

Onverzadigde doorlatendheid (verdampingsmethode)

De verdamping vindt plaats door 'droge' lucht over de monsters te blazen en de opgenomen waterdamp uit de afgevoerde lucht door 'Peltier'-koeling te condenseren.



1. grondmonster
2. Peltier-element
 - a. koeling
 - b. temperatuurregelaar
3. psychrometer
4. pomp

Fig. 21. Opstelling met 'Peltier'-koeling

De koelcapaciteit van het Peltierelement is klein. Boven een verzadigd monster wordt slechts een verdamping bereikt van 3 mm per dag. Intensievere verdamping wordt verkregen wanneer een ventilator (Heidolph-motor met gebogen bladen aan de roeras) boven het monster staat te draaien. De verdamping van een verzadigd monster kan aldus opgevoerd worden tot circa 6 mm per dag.

Aan de monsters Ov. 7 en Ov. 8 is vocht onttrokken met behulp van Peltier-koeling; boven monster Ov. 6 is een ventilator (Heidolph-roerder stand 3) geplaatst.

Het resultaat van de metingen van tensiometers en balansen wordt gegeven in de fig. 22, 23 en 24. De ingestelde tijdsintervallen tussen de tensiometermetingen blijkt te kort te zijn (tens. 5 en 6 in Ov.7, fig.23 en 25). De veronderstelling dat de vereiste lange insteltijd een gevolg is van de wisselende onderdrukken in de nylon slang van transducer naar vloeistofkraan, is door vervanging van deze slang door koperen buis niet bevestigd. De oorzaak is waarschijnlijk het slechte contact tussen het water in de tensiometercup en de steeds droger wordende monsters. In water wordt direct de juiste waarde gemeten.

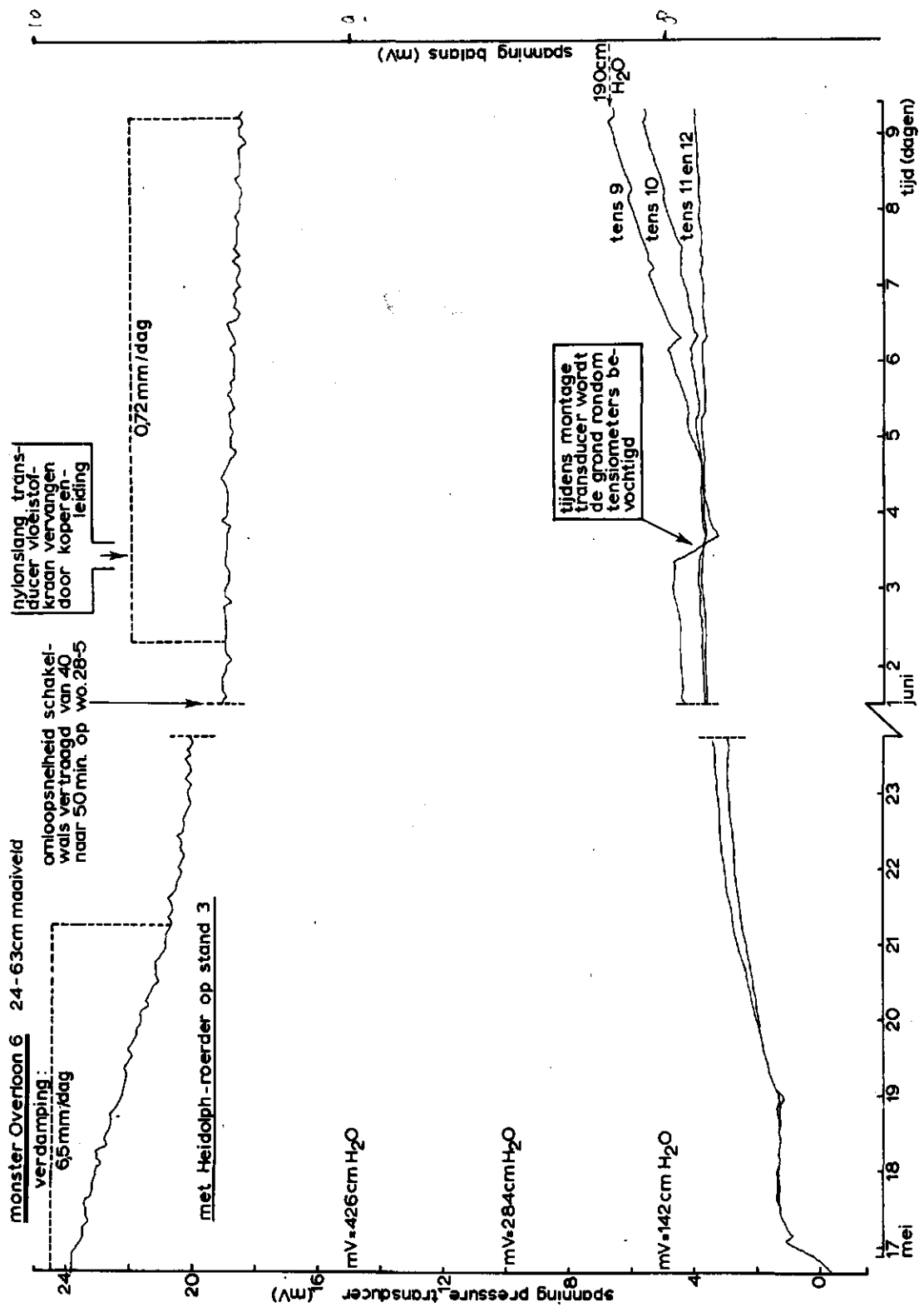


Fig. 22. Spanningsverloop balans en pressure transducer bij vochtonttrekking monster Overloon 6

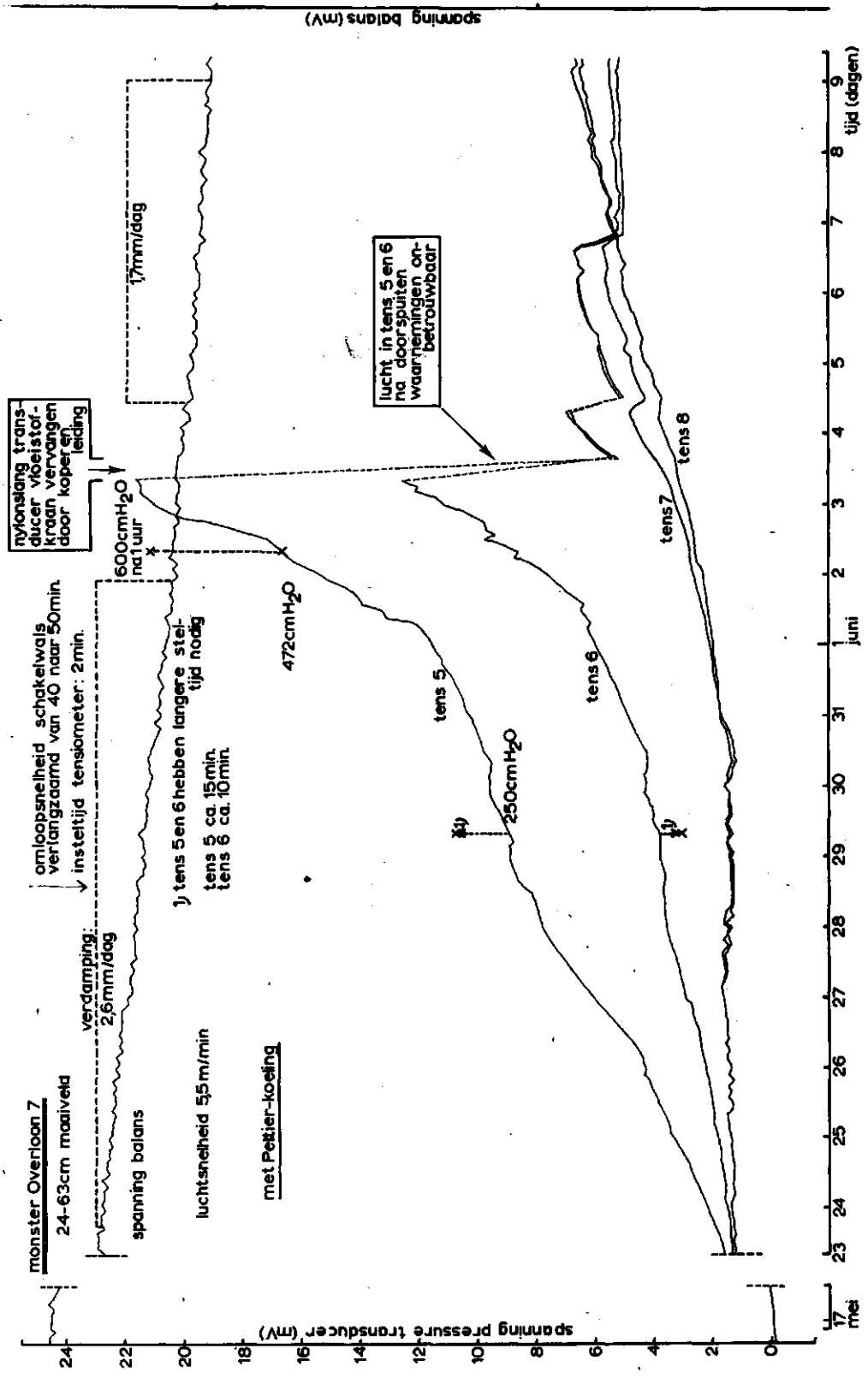


Fig. 23. Spanningsverloop balans en pressure transducer bij vochtonttrekking monster Overloos 7.

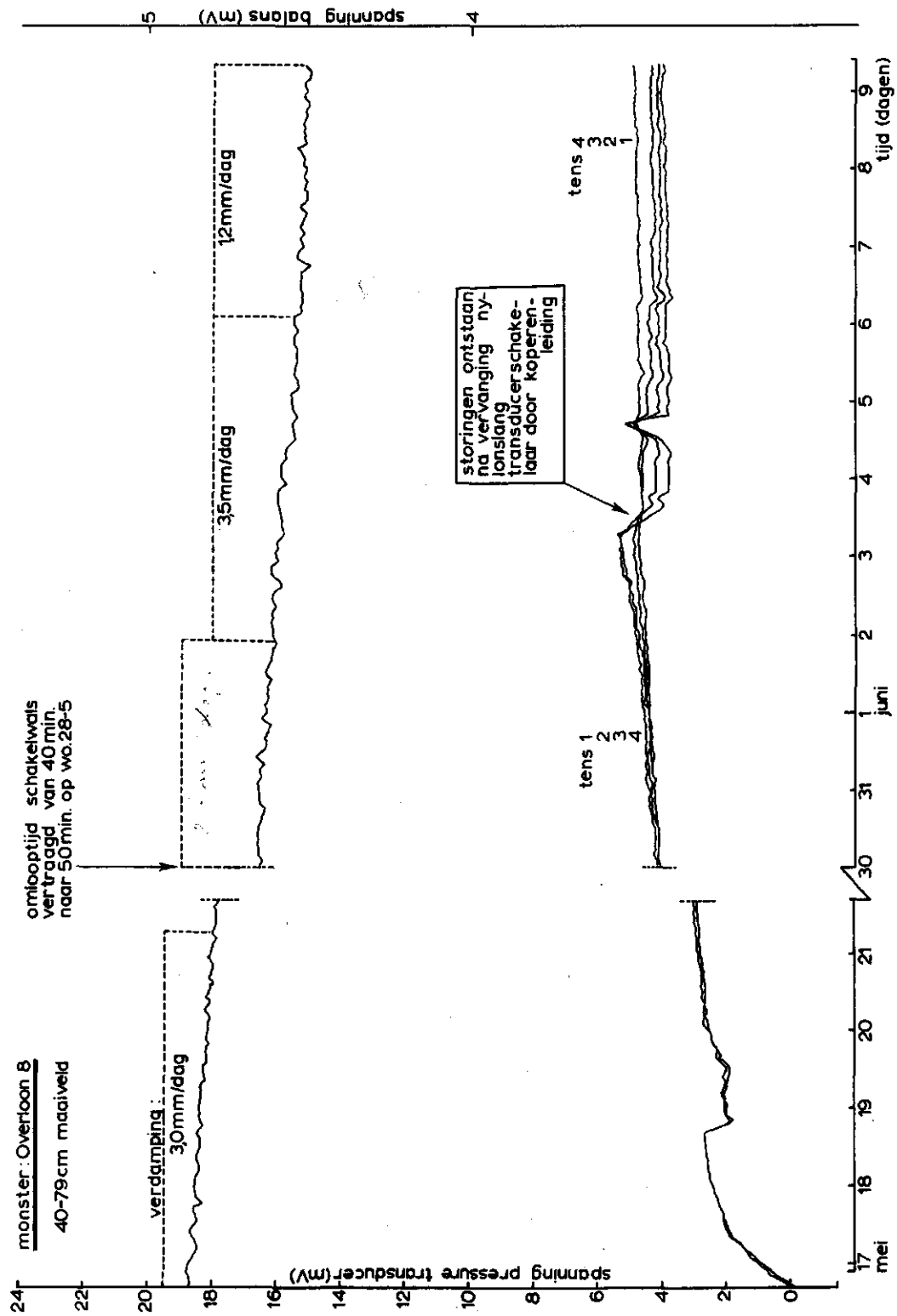


Fig. 24. Spanningsverloop balans en pressure transducer bij vocht-
onttrekking monster Overloon 8

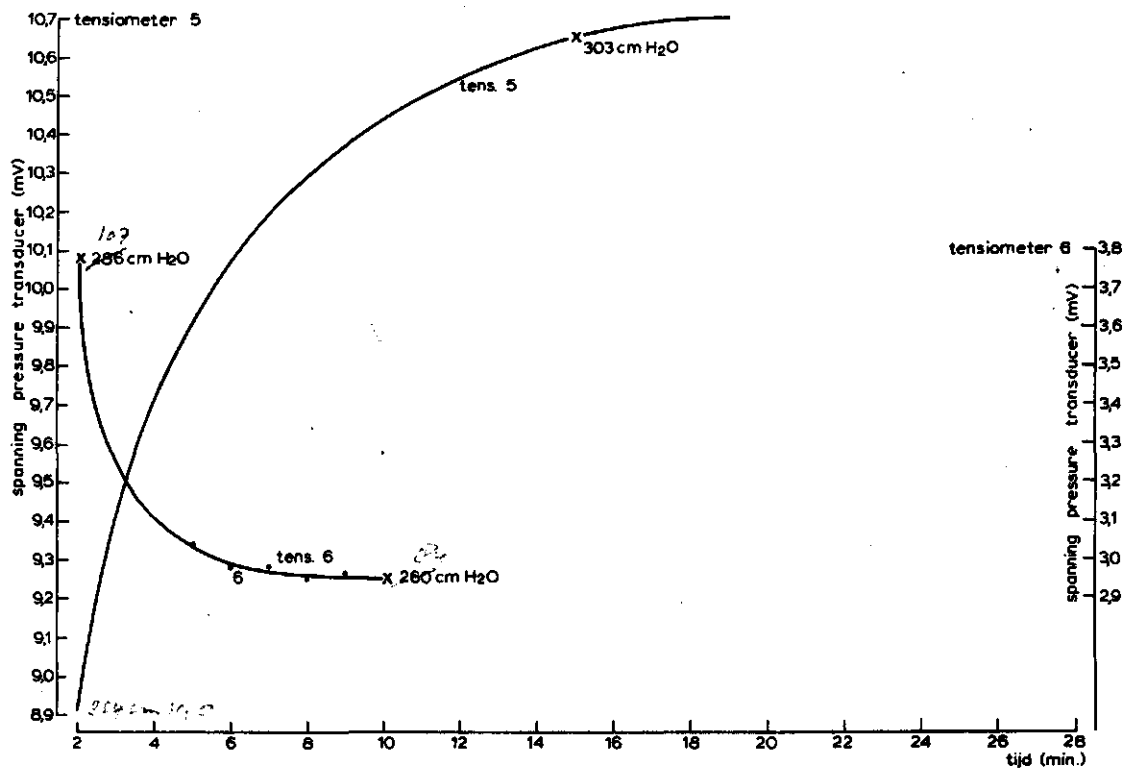


Fig. 25. Insteltijd tensiometers 5 en 6

5.2. Tensiometer cups Soil Moisture Equipment Corp.

5.2.1. Metingen in veldmonsters

- In aansluiting op de vorige proef zijn tijdens vochtonttrekking door verdamping metingen verricht aan grondkolommen van 17 cm lengte en 7,9 cm diameter met 5 tensiometers (Soil Moisture Equipment Co.) ingebracht op respectievelijk 1-3-6-10 en 15 cm vanaf de bovenkant van het monster.
- De monsters zijn gestoken in p.v.o. cylinders (lengte 21 cm, wanddikte 3 mm) en afkomstig uit Overloon (plekken 6 en 7: laag 46-63 cm). Uit de bovenkant van de cylinders wordt 3 cm grond verwijderd en aan de onderkant wordt 1 cm grond vervangen door filtergrind, waarna de cylinders van een bodem worden voorzien.
- Uitgegaan wordt van verzadigde monsters waarboven een ventilator is geplaatst.

De nummers 6 en 9 zijn verbonden met het referentieniveau van 0 cm water, omdat de vloeistofkraan (Wo 662/1P-12T 303) bij deze uitgangen lucht aanzuigt.

Vochtonttrekking vindt plaats door verdamping met behulp van Pabst-ventilatoren, waarbij het zuigspanningsverloop en de gewichtsafname worden vastgelegd.

De zuigspanning loopt slechts langzaam op (fig. 26 en 27). Bij 380 cm zuigspanning vertoont de vloeistofkraan bij uitgang 1 lekkage. Deze uitgang is toen verbonden met de referentie (0 cm water). De benodigde insteltijd van de tensiometers is tot circa 200 cm zuigspanning minder dan 1 minuut en loopt van 200 tot 800 cm zuigspanning op tot enkele minuten. Lucht in de leiding geeft een vertraagde evenwichtsinstelling.

Om lucht te verwijderen wordt water doorgespoten via de tensiometercup, waarbij water door de tensiometerwand in de grond wordt gezogen, waardoor het monster in de omgeving van de cup een hoger vochtgehalte en lagere zuigspanning krijgt, wat zich kan uitstrekken tot naburige tensiometers, in fig. 26 vooral tensiometer 2 en in fig. 27 tensiometer 11.

De verdamping bedraagt gedurende de eerste 3 dagen ongeveer 20,0 mm/dag (B) en 19,0 mm/dag (A). Korte tijd hierna neemt de verdamping sterk af en wordt een vrijwel constante waarde van 2 mm/dag bereikt.

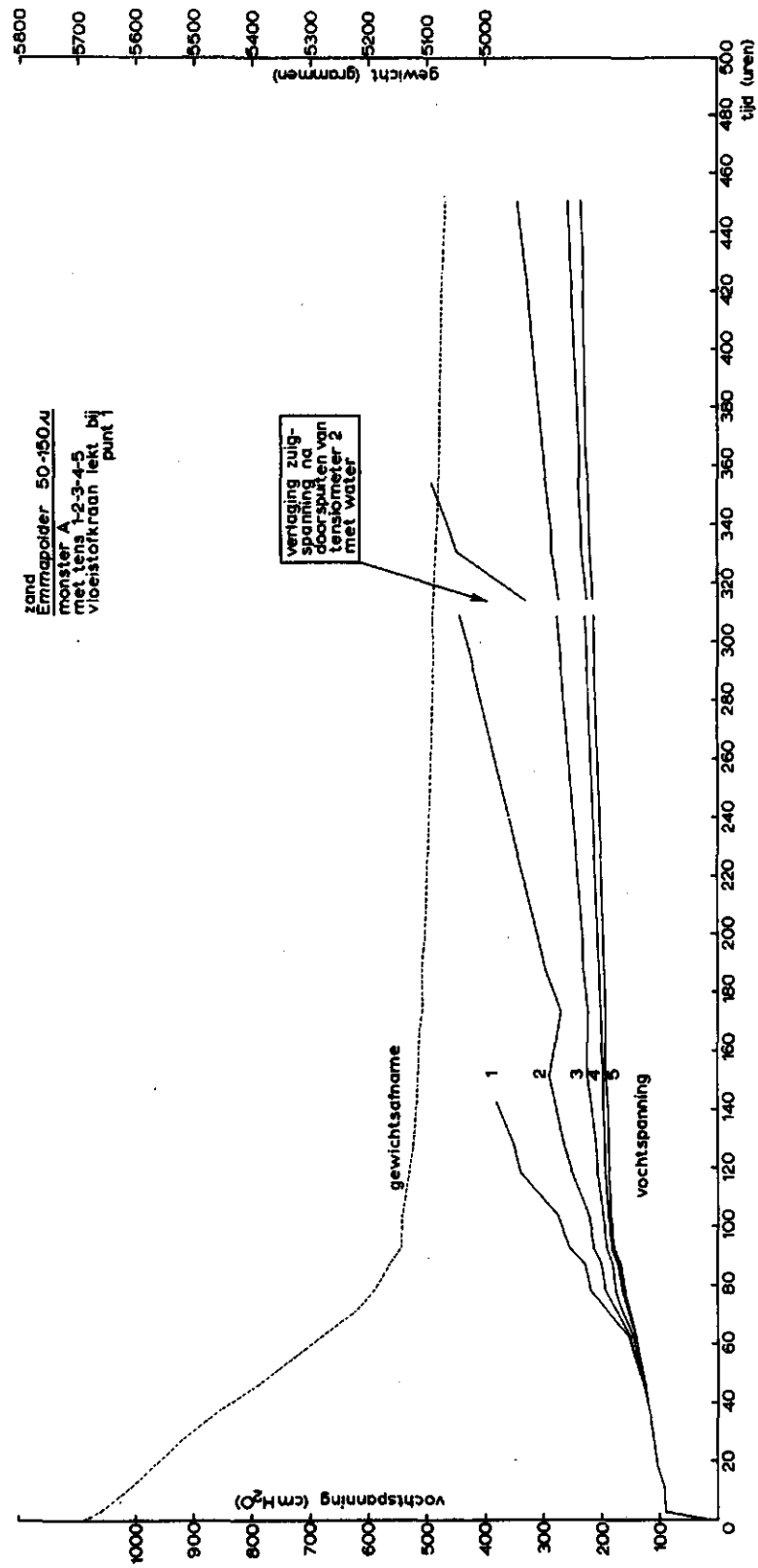


Fig. 26. Vochtspanning en gewichtsafname van zand Emmapolder (monster A)

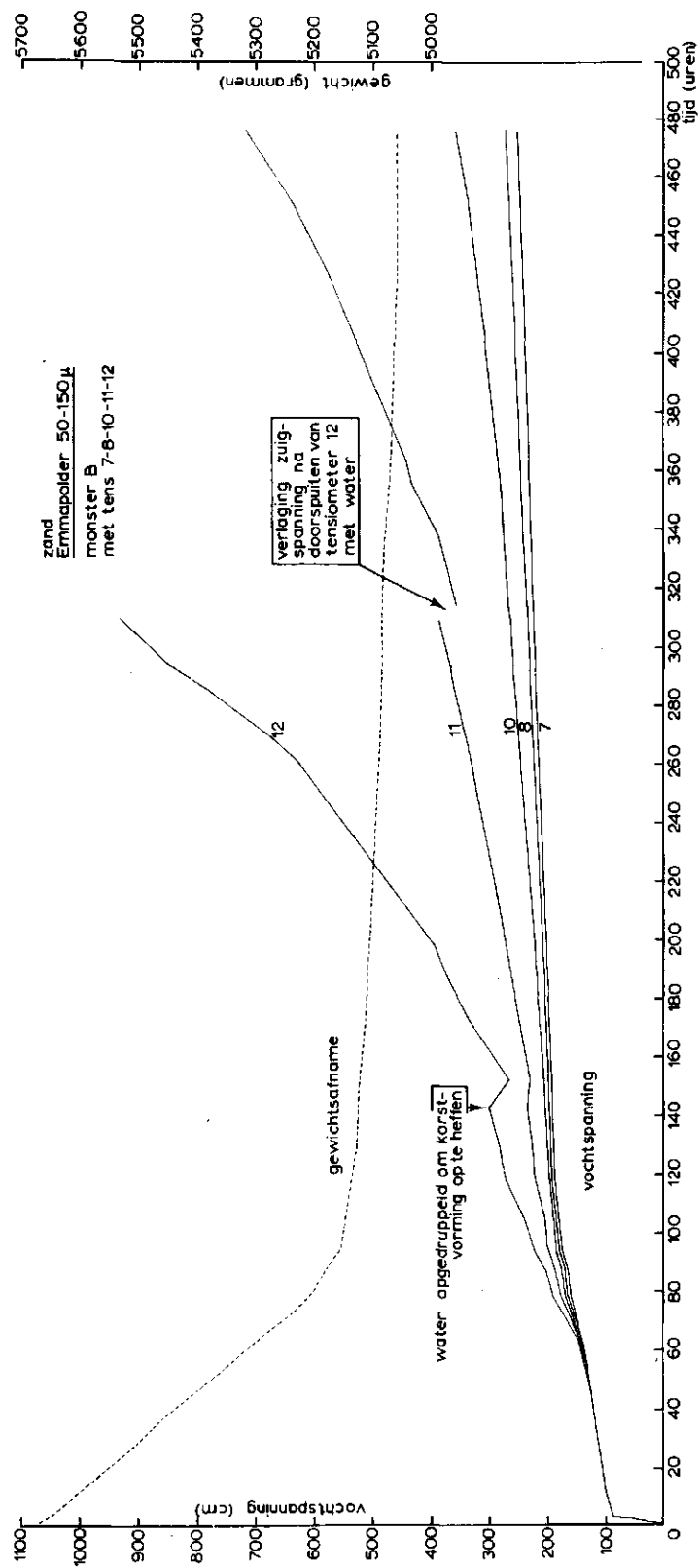


Fig. 27. Vochtspanning en gewichtsafname van zand Emmapolder (monster B)

6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Een reeks van vochtspanningen kunnen worden gemeten door tensiometers door middel van een elektrische vloeistofkraan beurtelings met een pressure transducer te verbinden. Het schakelen van de vloeistofkraan en het vastleggen van de uitgangsspanning van de pressure transducer kan worden geautomatiseerd.

Het vochtverlies kan gelijktijdig worden bepaald, door de afgegeven spanning van de elektrische balansen te registreren. Hierdoor is de mogelijkheid aanwezig van een geautomatiseerde bepalingmethode van pF-curve en capillair geleidingsvermogen.

Vochtonttrekking wordt bevorderd door ventilatoren op de grondkolommen te plaatsen.

Het ontstaan van 'luchtbellen' in het systeem kan worden beperkt door het systeem goed te vullen met ontlucht water en door een juiste keuze van de te gebruiken apparatuur. Alle onderdelen en aansluitingen moeten lekvrij zijn tot zuigspanningen van 800 à 900 cm waterkolom. Vanwege de doorzichtigheid en goede hanteerbaarheid is nylon gebruikt als verbindingsslang. Een bezwaar is de diffusie van waterdamp door het nylon.

Van de geteste elektrische vloeistofkranen geeft alleen het type Wo 662/IP-12T 2024 aluminium ^{met de nodige} bevredigende resultaten.

Platte (vestale) driewegkranen blijken niet betrouwbaar.

Belangrijk voor de evenwichtsinstelling van de vochtspanning is het contact tussen het vocht in de tensiometercup en in het monster. Tensiometercups van Soil Moisture Equipment Co. voldoen daarom beter dan de Coors-tensiometers. De tijd welke de tensiometers nodig hebben om op evenwicht te komen wordt vergroot door een afnemend vochtgehalte van de grondmonsters.

Speciaal in gronden waarvan een gedeelte van de pF-curve vrijwel horizontaal loopt, zal de maximaal bereikbare vochtspanning betrekkelijk laag zijn.

7. LITERATUUR

- BAKKER, J.W., 1975. Tensiometers, materialen en reactiesnelheden van systemen. Nota 847. I.C.W. Wageningen
- BOELS, D., 1973. Bepaling van het capillair geleidingsvermogen en een deel van de pF-curve in een proefopstelling van het R.I.D. Nota 742. I.C.W. Wageningen
- BRULL, A., 1960. Meting van de poriënwaterdruk in de grond. Opzoekingscentrum van de Wegenbouw, Brussel
- BURLAND, J.B. and K.H. ROSCOE, 1969. Local Strains and Pore Pressures on a normally consolidated clay during one dimensional consolidation. Géotechnique, 19, 3, pp 33-356
- STAKMAN, W.P. and G.G. VAN DER HARST, 1969. Determination of soil moisture retention curves I. I.C.W. Wageningen (3rd revised edition)
- VACHAUD, G., 1969. Compte rendu d'une mission aux USA-Thème: 'Movement de l'eau dans les sols non saturés. Etat actuel des recherches'. Laboratoire de Mécanique des Fluides-Domaine Universitaire 38 Saint Martin d'Herès
- VERBRUGGE, J.C., 1974. Contribution à la mesure de la succion et de la pression interstitielle dans les sols non saturés. Thèse de doctorat présentée à la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université Libre de Bruxelles
- WESSELING, J. and K.E. WIT, 1966. An infiltration method for the determination of the capillary conductivity of undisturbed soil cores. Symp. on water in the Unsaturated Zone, Wageningen, juni 1966