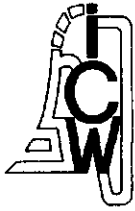


NN31545.1619

BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW

ICW nota 1619<sup>I</sup>

mei 1985



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

HET METEN VAN GRONDWATERSTANDEN MET BEHULP VAN DRUKOPNEMERS

Ing. F. Homma

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

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0125 3737

10 SEP. 1985

## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. PRINCIPE VAN DE METING	3
3. VOORWAARDEN	6
4. SCHEMA	9
5. AFREGELING VAN DE GRONDWATERSTANDSOPNEMER	13
6. ONDERZOEKSRESULTATEN VAN VERSCHILLENDE TOEGEPASTE ONDERDELEN	14
6.1 Temperatuursinvloed	14
6.2 Lineariteit en hysteresis	17
7. VELDMETINGEN	21
8. SAMENVATTING EN CONCLUSIE	24

## 1. INLEIDING

Bij de bestudering van waterhuishoudkundige problemen is het veelal noodzakelijk de hoogte van de grondwaterstand op een bepaalde tijd en de fluctuaties in de loop van de tijd te kennen. Een veel toegepaste methode om grondwaterstanden te meten is het gebruiken van peilbuizen, waarin het open waterniveau de hoogte van de grondwaterspiegel volgt. De hoogte van de waterspiegel kan worden gemeten ten opzichte van de bovenkant van de buis met maatband of andere indicator. Voor een continue waarneming kunnen de buizen worden voorzien van een opnemer en een registratiesysteem, zoals lijnschrijvers of printers.

Aan het gebruik van open peilbuizen zijn echter praktische bezwaren verbonden. Voor peilingen die met de hand worden uitgevoerd, moeten de buizen goed zichtbaar zijn of duidelijk zijn gemarkeerd. Als de buizen op een perceel zijn geplaatst is het voor de landbewerker niet altijd mogelijk deze opstakels te vermijden, waardoor het nogal eens voorkomt dat het boven maaiveld uitstekende deel van de grondwaterstandsbuis wordt kapot gereden.

Bij het plaatsen van buizen langs wegen of paden blijkt ook vernielzucht vaak moeilijkheden te veroorzaken, door dat buizen worden dicht gestopt of worden afgebroken, zodat ze moeilijk of in het geheel niet zijn terug te vinden. Ook buizen voorzien van een of andere vorm van registratie zijn vaak het doelwit van vernielingen.

In vrijwel alle gevallen van beschadiging is het noodzakelijk een nieuwe buis te plaatsen en deze opnieuw te waterpassen. Inclusief de benodigde manuren bedragen de kosten van herplaatsing ongeveer f 400,-- à f 500,-- (NIJHOFF, 1981) In de tijd dat deze herstelwerkzaamheden worden uitgevoerd zijn geen gegevens over de grondwaterstand in die buis beschikbaar, wat soms tot ernstige hiaten in de reeks meetgegevens kan leiden.

Ook als grondwaterstanden moeten worden gemeten op plaatsen, die

later niet meer zijn te bereiken, zoals onder vuilstortplaatsen geven open peilbuizen moeilijkheden. Tot nu toe wordt dan veel gebruik gemaakt van een stelsel van communicerende vaten, welk bij het overbruggen van grotere afstanden door luchtsluitingen kan worden verstoord.

Om bovenstaande redenen is van verschillende kanten de wens geopperd om over een meetsysteem te kunnen beschikken waarbij voornoemde bezwaren niet optreden. Samengevat dient gezocht te worden naar een systeem dat voldoet aan de volgende voorwaarden:

1. Er mogen geen boven het maaiveld uitstekende delen zijn.
2. Ze mogen geen belemmering vormen voor het bewerken van het land en een landbewerking mag het meetsysteem niet beschadigen.
3. Naast de eis van een eenvoudige installatie dient de kostprijs zo laag mogelijk te zijn.
4. Bij plaatsing van meerdere opname punten in een perceel moet de meting zo mogelijk op één punt kunnen worden uitgevoerd.
5. De meetnauwkeurigheid dient + of - 2 cm waterkolom te zijn.
6. Metingen moeten op eenvoudige wijze kunnen worden uitgevoerd.
7. Mogelijke fouten of storingen moeten snel kunnen worden vastgesteld en/of opgeheven.

In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op de manier waarop en in hoeverre aan de gestelde eisen kan worden voldaan.

## 2. PRINCIPE VAN DE METING

Om een grondwaterstand te kunnen meten moet de afstand van de grondwaterspiegel ten opzichte van een referentieniveau worden gemeten. Als referentie kan elk niveau worden gebruikt mits dit eenduidig is vastgelegd. Veel gebruikte referentieniveaus zijn de bovenkant van de peilbuis, of het maaiveld, waarvan de hoogte dan weer wordt bepaald ten opzichte van een vast punt zoals bijvoorbeeld N.A.P.

Bij de metingen moet rekening worden gehouden met de definitie voor de grondwaterstand, namelijk: Het freatisch oppervlak of grondwaterspiegel is die hoogte van het grondwater waar de druk gelijk is aan die van de atmosfeer. Voor een juiste hoogte bepaling moet daarom op de plaats van meting een vrije verbinding bestaan tussen het wateroppervlak en de atmosfeer. Deze verbinding kan worden gevormd door een open buis, door porieën in de grond, door een speciale beluchtingsbuis of door een combinatie van de twee laatstgenoemden.

In het verleden is reeds ervaring opgedaan met het meten van grondwaterspanningen (zuigspanningen) met behulp van tensiometers en drukopnemers, Daar veel typen drukopnemers, de zogenaamde verschildrukopnemers zowel positieve als negatieve drukken weergeven, is onderzocht of ook overdrukken op soortgelijke manier konden worden gemeten. Om het probleem van luchtsluitingen in de leidingen van het opnemerement naar de drukopnemer, zoals bij het meten van tensiometers vaak voorkomt, te voorkomen is het wenselijk de drukopnemer direct in het grondwater te plaatsen. Een beluchtingsleiding naar de drukopnemer zorgt voor atmosferische druk als referentie op de plaats van meting. De opnemer kan met de bijbehorende electronica worden ingegoten ter bescherming tegen vocht.

De waterhoogte wordt gemeten ten opzichte van de natte poort van de opnemer (figuur 1). Door een juiste afregeling van de electronica is deze hoogte direct in centimeters waterkolom of te lezen, waarbij de nauwkeurigheid afhankelijk is van de gebruikte onderdelen. Als de hoogte van de instroomopening bekend is ten opzicht van N.A.P. kan de grondwaterstand eenvoudig worden omgerekend in cm onder of boven N.A.P.

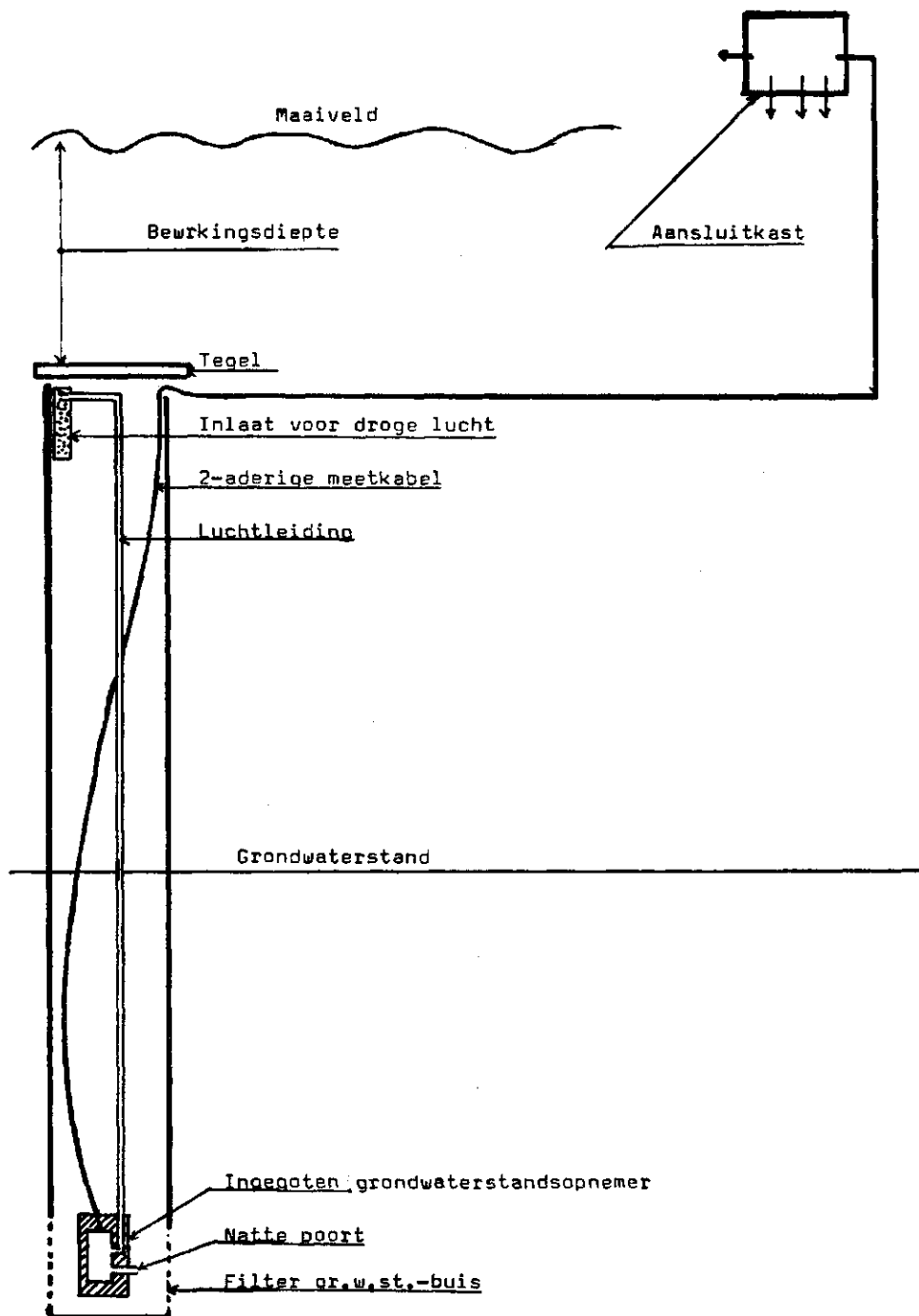


fig. 1. Schema van de meetopstelling

Om aan de eis dat de grondwaterstanden op gemakkelijk te bereiken plaatsen moeten kunnen worden gemeten te voldoen zal het soms nodig zijn van lange leidingen gebruik te maken. Als meerdere buizen in een perceel geplaatst zijn kan op één punt worden gemeten, door alle leidingen naar dat punt te voeren. Om vergissingen bij de metingen te voorkomen dienen de drukopnemers slechts op één manier en altijd in dezelfde volgorde te kunnen worden aangesloten. Bij gebruikmaking van

een meervoudige plug hoeft dit geen problemen te geven. Een duidelijke bij voorkeur digitale aflezing, reduceert de mogelijkheid van fouten tot een minimum.

De bekabeling kan op elke gewenste diepte worden ingegraven. De grondwaterstandsbuis zelf wordt aan de bovenzijde afgedekt door een tegel. De bovenkant van de buis moet bij voorkeur op een zodanige diepte worden geplaatst, dat geen water van boven of in de buis kan stromen. Komt de luchttoevoer onder water te staan, dan veroorzaakt een grondwaterstandverandering op beide aansluitingen van de opnemer een gelijke drukverandering hetgeen resulteert in een constante aanwijzing van de opnemer. Bij een daling van de waterstand tot beneden het luchtinlaatniveau keert de oorspronkelijke situatie weer terug, omdat geen water in de beluchtingsleiding kan stromen.

### 3. VOORWAARDEN

Hoewel er geen principiële moeilijkheden zijn bij het meten van grondwaterstanden met drukopnemers, moeten wel voorwaarden worden gesteld om aan de eisen van nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid, betrouwbaarheid en stabiliteit te kunnen voldoen. Deze eisen moeten bovendien nog kunnen worden vervuld binnen een redelijke kostprijs. Om een betrouwbare indruk van de grondwaterstand te verkrijgen zal de gevonden meetwaarde in het algemeen niet meer dan 1 à 2 cm van de werkelijke waarde mogen afwijken. Het totaal aan toleranties moet binnen deze grenzen blijven, of eenvoudig zijn te corrigeren.

Daar er bij de opzet van de meetmethode van uitgegaan is dat de kostprijs van een meetpunt niet boven de f 500,- mag komen is voor de drukopnemer zelf ca. f 150,- beschikbaar. Een onderzoek naar drukopnemers in deze prijsklasse heeft als enig type de 120-serie van Honeywell opgeleverd, met als meest geschikte type 126PC05D. Deze opnemer in plastic behuizing is voor het 0-punt afgeregeld, temperatuur gecompenseerd en heeft een vaste waarde voor volle schaal. Het bereik van 350 mbar (5 FSI) of ongeveer 350 cm waterkolom gemeten ten opzichte van atmosferische druk is ruim voldoende voor de meeste grondwaterstandsmetingen, die niet worden beïnvloed door ingrepen, zoals bronbemalingen of pompproeven.

Hoewel de absolute drukopnemers uit dezelfde serie eenvoudiger zijn te installeren, omdat hierbij geen beluchtingleiders nodig is komen deze voor het meten van grondwaterstanden niet in aanmerking omdat:

1. Het meetbereik moet dan groter zijn om de te meten grondwaterstand en de atmosferische druk te kunnen weergeven. Door het grotere bereik wordt ook de meetfout groter.
2. Bij elke meting moet de barometerstand op die plaats en op die tijd bekend zijn, waardoor ook weer extra fouten kunnen worden geïntroduceerd.

Om na te gaan in hoeverre aan de genoemde voorwaarden kan worden voldaan door het gekozen type drukopnemer is het nodig de door de fabrikant verstrekte specificatie op de punten met betrekking op de toleranties (bijlage 1) nader te bekijken.



De invloed op het meetresultaat en de mogelijkheid tot compenserende maatregelen zijn:

1. De volle schaalwaarde kan variëren van 48,5 tot 51,5 mV. omgerekend naar cm waterkolom geeft dit bij het maximale bereik van 350 cm een afwijking van  $\pm 10,5$  cm. Met behulp van de toegepaste electronica voor het signaal transport kan via instelling van de versterking van de signaalomvormer (XTR100) deze afwijking worden gecompenseerd.
2. De 0-puntsafwijking kan  $\pm 1$  mV of  $\pm 7$  cm waterkolom zijn. Daar de grondwaterstandsmeter voor plaatsing geijkt wordt ligt het 0-punt éénduidig vast.
3. De afwijking in gevoeligheid van  $\pm 0,43$  mV/m H<sub>2</sub>O of 1,5 mV over het gehele bereik wordt gelijk met de onder 1 genoemde methode gecompenseerd.
7. De afwijking van de beste lineaire benadering is  $\pm 1,5\%$  daar de poort P1 droog moet blijven en de waterdruk alleen op P2 mag worden aangesloten. De afwijking van  $\pm 5$  cm. over het gehele bereik wordt kleiner als met een kleiner meetbereik kan worden volstaan. Bij een kwadratisch omzetting van de meetwaarden in cm waterkolom wordt een drie maal zo grote nauwkeurigheid verkregen.
8. De temperatuurcoëfficiënt van 0-50 °C kan  $\pm 1,5\%$  voor de gevoeligheid en  $\pm 4\%$  voor de 0-punts verschuiving bedragen. Daar de temperatuursschommelingen in het grondwater ongeveer 10 °C zijn is dit effect in de praktijk veel minder groot.
9. De hysteresis (dat wil zeggen het verschil in meting bij stijgende en dalende grondwaterstand) en de herhaalbaarheid, (dat wil zeggen de nauwkeurigheid in aanwijzing van meerdere metingen bij een zelfde grondwaterstand) zijn samen 0,15% of ca  $\pm 0,5$  cm H<sub>2</sub>O. Deze tolerantie is niet extern te corrigeren.
10. De stabiliteit over één jaar is  $\pm 1\%$ . Ook deze specificatie is niet te corrigeren, daar niet vooraf kan worden bepaald hoe groot de afwijking over één jaar zal zijn. Bij een te grote afwijking kan een herijking noodzakelijk zijn.

Voor het gebruik van de drukopnemers in het veld is het van belang te weten hoe goed corrigeerbare fouten kunnen worden gecompenseerd en hoe groot de afwijkingen zijn voor de voor het meten belangrijke trajecten, zowel met betrekking tot het meetbereik als temperatuurfluctuaties. Voordat de resultaten van deze testmetingen worden

besproken zal eerst aan de hand van een schema de werking van de grondwaterstandsopnemer worden gegeven.

#### 4. SCHEMA

De grondwaterstandsopnemer bestaat uit verschillende hoofdbestanden- delen, namelijk de drukopnemer, de voeding, de versterker en de sig- naalomvormer. De twee laatstgenoemde zijn ondergebracht in één geïnte- greerde schakeling (IC), de XTR100. De signaalomvormer is nodig om pro- blemen met lange leidingen te voorkomen. Een afregelmogelijkheid dient om de onderlinge verschillen in de drukopnemers te kunnen compenseren. Bovendien is een beveiliging ingebouwd tegen hoge inductie-spanningen en een beveiliging tegen verkeerde aansluiting van de voeding. Aan de hand van het schema (figuur 2) zal de werking nader worden verklaard.

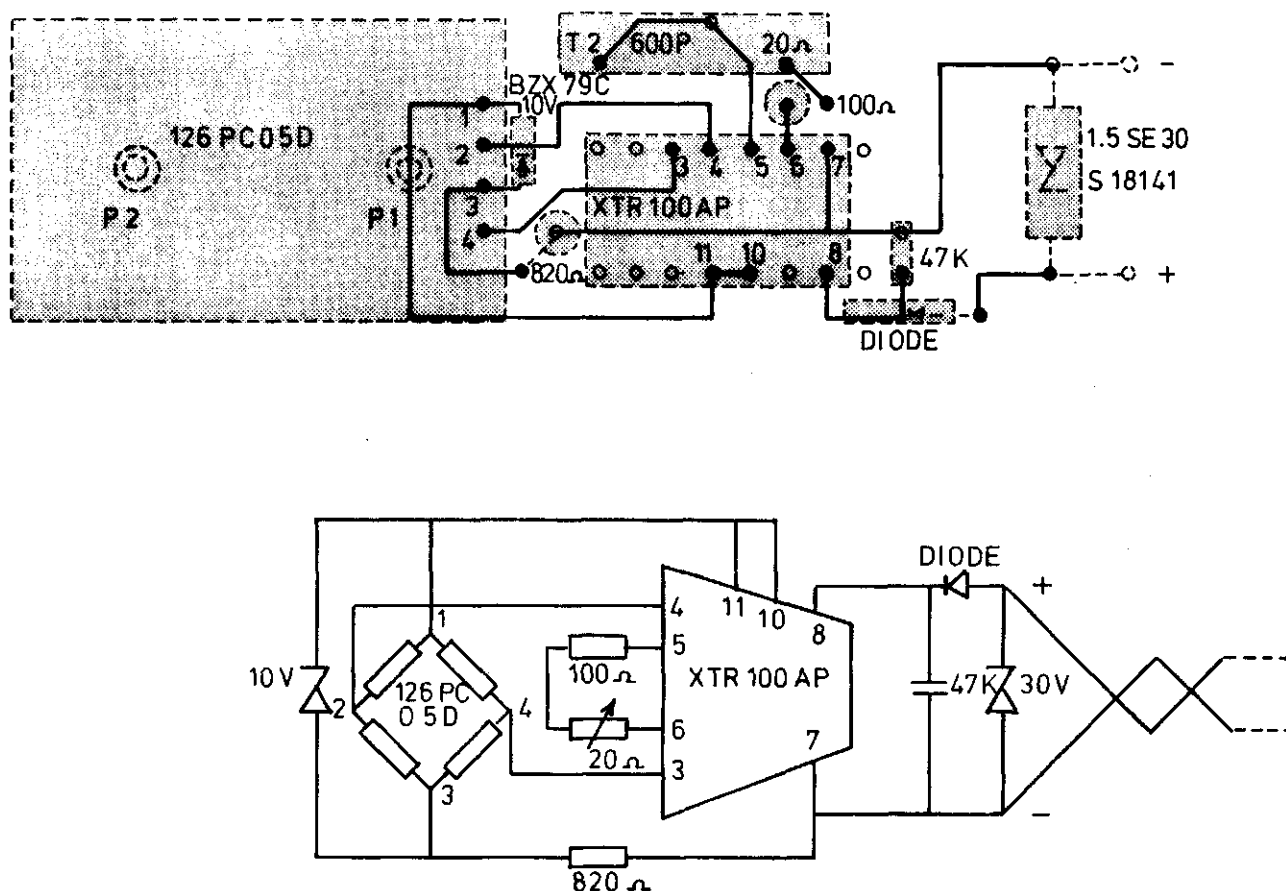


fig. 2. Principe- en montageschema van de opnemer.

De werking en de opbouw van de drukopnemer zelf wordt beschreven op het specificatieblad (bijlage 1). De voedingsspanning voor de drukop-

nemer 126PC05D wordt verkregen door een constante stroom van 2 mA van de XTR100 te sturen door de parallelschakeling van een zenerdiode en de drukopnemer. Hierdoor is de spanning over de drukopnemer onafhankelijk van de stroom hierdoor en gelijk aan de spanning over de zenerdiode. Tussen verschillende zenerdioden van een type kan deze spanning variëren van 9.4 - 10.6 V, maar voor één diode is dit een nagenoeg constante waarde. Door het verschil in voedingsspanning ontstaat ook een verschil in de gevoeligheid van de drukopnemer. De spanning over de zenerdiode en daarmee de voeding voor de drukopnemer varieert bovendien iets met de temperatuur.

Als omvormer is gekozen voor het type XTR100 vanwege de gunstige specificaties voor dit doel:

1. De voedingsspanning mag variëren van ca. 12 - 40 Volt.
2. Tweedraads aansluiting
3. Niet lineariteit van maximaal 0,01%/K
4. Geen hysteresis
5. Kleine temperatuurscoëfficiënt van maximaal 0.01%
6. Door stroomsturing weinig gevoelig voor storingen
7. Kleine afmetingen
8. Bij voldoende hoge voedingsspanning mag de leidingweerstand groot zijn.

De XTR100 is een geïntegreerde schakeling met verschillende functies. Twee constante stroombronnen (aansluitingen 10 en 11) leveren elk een stroom van 1 mA. Deze leveren afzonderlijk of parallel geschakeld de stroom voor het opname element, in dit geval de drukopnemer. Een instrumentatieversterker zet de gemeten spanning (aansluitingen 3 en 4) om in een stroom. De spanning op de punten 3 en 4 moet liggen tussen 4 en 6 Volt ten opzichte van de aarde (aansluiting 7). Daar in de drukopnemer een temperatuurcompensatie is aangebracht varieert de spanning op de uitgang van de drukopnemer zelf rond de 3 Volt ten opzichte van de negatieve kant van de voeding (punt 3). Door tussen punt 3 van de drukopnemer en punt 7 van de XTR100 een weerstand aan te sluiten van 820  $\Omega$  wordt de spanning op de punten 2 en 4 van de drukopnemer zodanig verhoogd ten opzichte van de aarde, dat aan de gestelde eis is voldaan. De voedingsspanning van de XTR100 moet hierdoor verhoogd worden naar ruim 14 V. Via een uitwendige weerstand  $R_s$  (aanslui-

ting 5 en 6) is de verhouding tussen de gemeten spanning en de afgegeven stroom in te stellen volgens de vergelijking:

$$R_s = \frac{40}{\Delta I_o / \Delta e - 0,016 \text{ mA/mV}} \Omega$$

waarbij:  $\Delta I_o$  in mA de verandering in de stroom door de XTR100  
 $\Delta e$  in mV het door de drukopnemer afgegeven verschilsignaal moet worden ingevuld.

Zoals reeds eerder is vermeld is dit verschilsignaal niet voor elke drukopnemer gelijk, als gevolg van het verschil in voedingsspanning en gevoeligheid, waardoor  $R_s$  per opnemer een verschillende waarde krijgt. Daarom is  $R_s$  samengesteld uit een vaste en een regelbare weerstand. De voeding voor de XTR100 wordt aangesloten op de punten 8 en 7. De stroom bedraagt onafhankelijk van de spanning 4 mA als geen spanningsverschil aanwezig is tussen 3 en 4 en 20 mA bij de maximaal tussen deze punten toegestane spanning.

Er is een mogelijkheid aanwezig om bij 0 Volt tussen 3 en 4 de stroom door de XTR100 af te regelen op precies 4 mA. Van deze mogelijkheid is geen gebruik gemaakt, omdat door ijking van de grondwater standsopnemer het 0-punt wordt vastgelegd. De stroom kan gemeten worden direct in mA, of via een weerstand in de leiding worden afgelezen in volt. Deze weerstand kan dan zo gekozen worden, dat een spanningsverschil van bijvoorbeeld 1 mV overeenkomt met een drukverschil van 1 mm waterkolom.

De XTR100 kan gevoed worden uit batterijen, daar het stroomverbruik gering is, zeker bij niet continue metingen.

De spanning moet zodanig hoog zijn, dat na aftrek van het verlies in de leidingen en de meetweerstand minimaal 14,1 V overblijft voor de voeding van de XTR100, bijvoorbeeld bij volle uitsturing van 20 mA is het verlies over een 200  $\Omega$  meetweerstand en 20  $\Omega$  leidingweerstand 4,9 V zodat de aangelegde spanning dan minimaal 19 V moet zijn.

Omdat verkeerd aansluiten van de voedingsspanning de XTR100 beschadigt, is in de voedingsleiding een diode opgenomen, zodat op pen 8 alleen een positieve spanning kan komen te staan. Ook spanningen boven de 40 volt kunnen de omvormer onbruikbaar maken. Door overtrekkende onweerswolken kunnen in bedradingen die in het veld liggen spanningen worden opgewekt in de grootte-orde van kilovolts. Tussen de leidingen

is daarom een snelle zenerdiode opgenomen (type 1,5SE30) die zorgt dat de spanning op de XTR100 niet groter kan worden dan 30 volt. Bij hogere spanning op de leiding gaat deze diode geleiden en vormt zo voor de te hoge spanning een kortsluiting. De voedingsspanning blijft gehandhaafd.

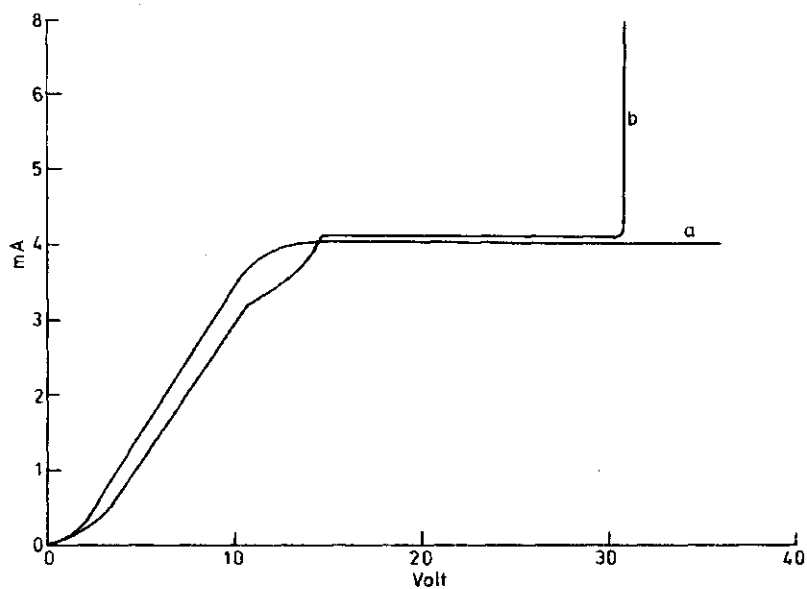


fig. 3. De stroom door een complete, onbelaste opnemer zonder (a) en met beveiliging (b) door een diode 1,5SE30

## 5. AFREGELING VAN DE GRONDWATERSTANDOPNEMER

Aan de hand van gekozen waarden voor het bereik en de gewenste uitlezing kan de vereiste weerstand tussen de punten 5 en 6 van de omvormer worden berekend. In verband met het verkrijgen van een zo goed mogelijke lineariteit voor de drukopnemer is gekozen voor een bereik van 60 tot 260 cm waterkolom. Hierbij dient de stroom door de XTR100 te veranderen met 10 mA, zodat over een weerstand van 200  $\Omega$  een spanningsverandering van 2000 mV wordt afgelezen. Elke mV verandering in de uitlezing komt nu overeen met 1 mm verandering van de grondwaterstand.

De ingangsspanning tussen de punten 3 en 4 varieert in dit geval volgens de nominale waarden van de specificatie met

$$\frac{260 - 60}{350} \times 50 = 28,57 \text{ mV}$$

Ingevuld in vergelijking (1) geeft dit voor de serieweerstand

$$R_s = \frac{40}{10/28,57 - 0,016} = 119,75 \Omega$$

Deze waarde geldt alleen voor een drukopnemer met de nominale gevoeligheid bij een voedingsspanning van 10,00 V. Als extreme waarden treden op de laagste gevoeligheid bij de laagste spanning en anderzijds de hoogste gevoeligheid bij de hoogste spanning. De uitgangsspanning over het gehele bereik van 350 cm. kan hierdoor liggen tussen 48,5 x 0,94 en 51,5 x 1,06 of 45,59 en 54,59 mV.

De maximale en minimale waarde geven in bovenstaand geval voor de serieweerstand een waarde tussen 108,74 en 131,33  $\Omega$ . Doordat geen van de gebruikte zenerdiodes een hogere referentiespanning gaf dan 10 V kon in dit geval de serieweerstand worden samengesteld uit een vaste weerstand van 100  $\Omega$  en een 10-slags potentiometer van 20  $\Omega$ . Met deze potentiometer is de versterkingsfactor zodanig in te stellen, dat voor elke opnemer een verschil van 200 cm waterdruk 2000 mV verschil in uitlezing gaf. Om geen extra temperatuursafhankelijkheid in te bouwen dienen zowel de vaste weerstand als de potentiometer van een soort te zijn met een kleine temperatuurscoefficient.

## 6. MEETRESULTATEN VAN VERSCHILLENDE TOEGEPASTE ONDERDELEN.

Na de beschouwing van de uit de specificaties afgeleide eigenschappen van de verschillende onderdelen is het van belang te weten hoe het gedrag van deze onderdelen in werkelijkheid is. Vooral het gedrag binnen het gebied waar de opnemers zullen worden gebruikt is van veel belang. Naast een controle van de temperatuursinvloed op het 0-punt en op de gevoeligheid is de hysteresis en de niet-lineariteit gemeten, zowel aan de opnemer apart als aan de complete grondwaterstandsopnemer. Ook van enkele andere onderdelen is de invloed op de nauwkeurigheid van de metingen nagegaan.

### 6.1. T e m p e r a t u u r s i n v l o e d

De eerste metingen bij verschillende temperaturen zijn uitgevoerd in twee klimaatcellen, Eén cel werd op ongeveer een constante temperatuur van  $20^{\circ}\text{C}$  gehouden en diende voor de opstelling van de meetapparatuur en een waterkolom die werd aangesloten op de drukopnemers. In de andere cel waar de temperatuur gevarieerd kan worden van 9,5 tot  $26,5^{\circ}\text{C}$  werden de opnemers geplaatst. Deze opstelling in twee aparte ruimtes heeft het voordeel dat geen temperatuurscorrecties nodig zijn voor de aangelegde druk van 175,5 cm waterkolom en de afgelezen waarden van de meetapparatuur.

Bij deze meetopstelling werden twee drukopnemers 126PC05D gevoed door een constante spanningsbron AD584JH, welke bij  $25^{\circ}\text{C}$  een spanning afgeeft van  $10\text{ V} \pm 30\text{ mV}$ . Volgens de specificatie is de temperatuurscoëfficiënt  $30\text{ ppm/K}$ , zodat bij  $10^{\circ}\text{C}$  een maximale spanningsdaling van  $4,5\text{ mV}$  kan optreden.

Twee andere drukopnemers werden samen met een zenerdiode BZX79C,10V aangesloten op de stroombron van de XTR100AP. De voedingsspanning verandert hierdoor enigszins met de temperatuur wegens de temperatuursafhankelijkheid van de zenerdiode (gemiddeld  $6,4\text{ mV/K}$ ). Bovendien kan per type diode de spanning variëren van minimaal 9,4 tot maximaal 10,6 V.

Alle vier de drukopnemers werden via een horizontale leiding aangesloten op het drukreservoir op circa 8 cm boven de vloer. Deze afstand is zo klein mogelijk gehouden om drukveranderingen tengevolge van temperatuursveranderingen te kunnen verwaarlozen. Halfweg de metingen bleek een drukopnemer welke door een XTR100 werd gevoed niet aan de specifi-



catie te voldoen wegens mechanische beschadiging. Na vervanging is van deze opnemer alleen nog een meting uitgevoerd bij oplopende temperatuur (fig. 4A).

Twee maal per dag werd de temperatuur in de meetcel gewijzigd met maximaal  $5^{\circ}\text{C}$  per keer. Om de twee uur werden de uitgangsspanning en de voedingsspanning van de opnemers gemeten, evenals de temperatuur. Per ingestelde waarde trad een schommeling op in de temperatuur van bijna  $1^{\circ}\text{C}$ .

Uit de metingen over het temperatuur traject van  $9,5$  tot  $26,5^{\circ}\text{C}$  blijkt de uitgangsspanning van de drukopnemers te variëren met  $0,6$  mV. bij een gemiddelde waarde van  $26$  mV. Een opnemer, gevoed door een XTR100 vertoont een veel kleiner verschil. Dit minder temperatuur afhankelijk zijn kan slechts voor een klein deel worden verklaard uit de toenemende voedingsspanning bij oplopende temperatuur (ca. 1%). Voor de rest moet hier worden gedacht aan een toevallig weinig temperatuur-gevoelige opnemer.

Uit deze metingen over een traject van  $17^{\circ}\text{C}$  kan geen conclusie worden getrokken voor het gespecificeerde gebied van  $0$  tot  $50^{\circ}\text{C}$ . Uit enkele metingen over een groter bereik blijkt een sterke niet-lineariteit van het verloop. Van  $0$  tot  $20^{\circ}\text{C}$  en van  $35$  tot  $50^{\circ}\text{C}$  werd per graad Celsius een kleiner verloop gevonden dan in het gebied van  $20$  tot  $35$  C. (zie ook fig. 3C). Een meting van de gevoeligheidsverandering bij wisselende temperatuur is niet los te koppelen van het 0-punts verloop.

Bij een lage druk van  $21$  cm waterkolom zijn daarom aan een tweetal opnemers nogmaals de uitgangsspanning en de voedingsspanning gemeten (fig. 4B). Door de opnemers op een tafel te plaatsen, die 's middags door de zon werd beschenen konden metingen bij hogere temperatuur worden gedaan. Het nadeel van deze meting is wel dat de geregistreerde temperatuur niet de werkelijke temperatuur van de drukopnemer hoeft te zijn. Het grote verloop bij één van de opnemers bleek te zijn veroorzaakt door een verstopte luchtleiding, waardoor de tegendruk van de opnemer niet meer gelijk is aan de atmosferische druk, maar oploopt bij oplopende temperatuur, waardoor de uitgangsspanning sterk daalt. Daar de opnemers hier belast zijn op 6% van hun maximale waarde is de gevoeligheidsverandering hier maximaal 0.09% en daardoor te verwaarlozen ten opzichte van de 0-puntsverschuiving.

Naderhand is nog een meting uitgevoerd met onbelaste opnemers over het gehele gespecificeerde traject van  $0 - 50^{\circ}\text{C}$ . Om bevrozing en daar-

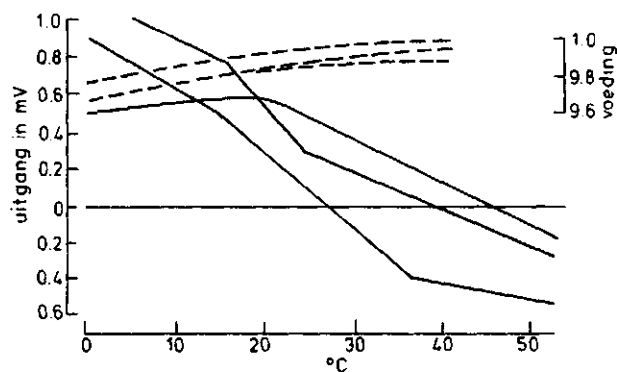
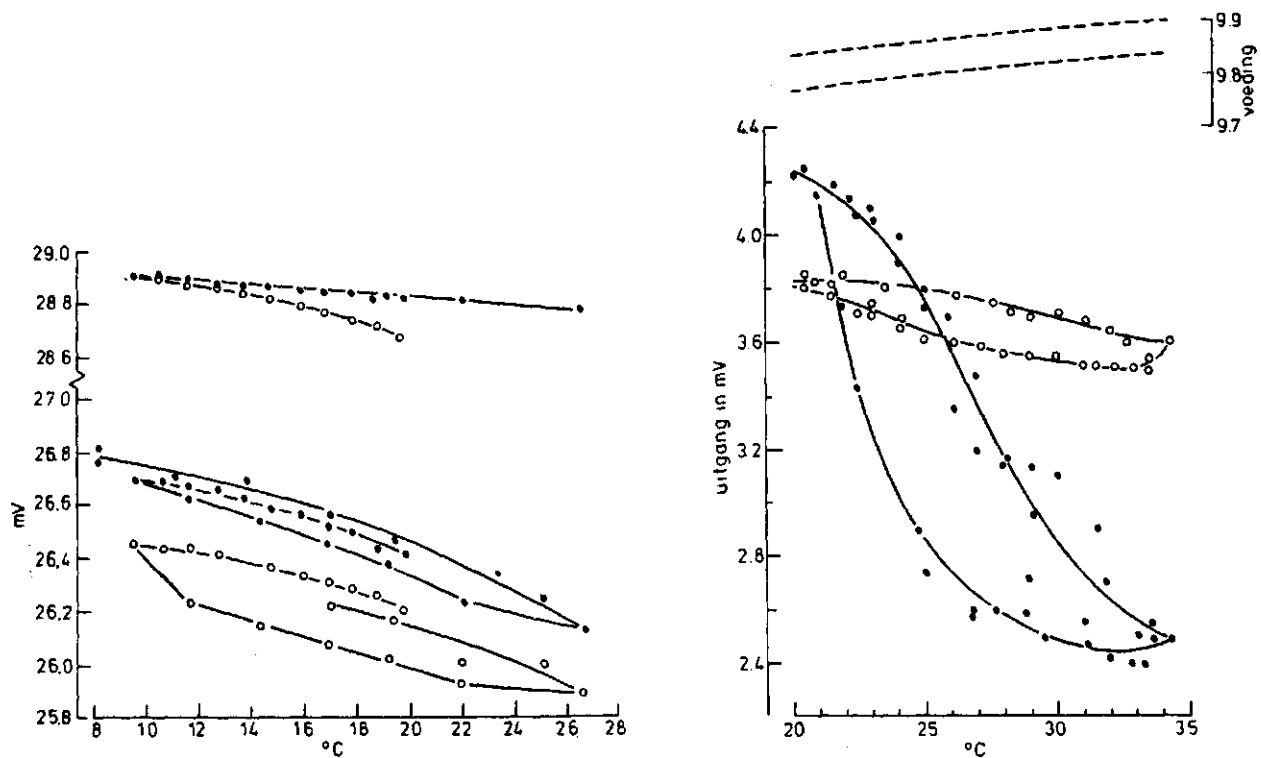


Fig. 4. Verandering van de uitgangsspanning van de drukopnemers ten gevolge van temperatuursveranderingen, A bij halve belasting, B bij geringe belasting en C zonder belasting.

door beschadiging van de drukopnemers te voorkomen was het nodig de opnemers ook inwendig goed droog te maken. De temperatuursverschillen werden verkregen door tijdens een vorstperiode de opnemers eerst buiten te plaatsen (circa  $0^{\circ}\text{C}$ ) en daarna boven de verwarming te hangen (circa  $50^{\circ}\text{C}$ ) waarvan de temperatuur aan het eind van de dag terugliep (circa  $30^{\circ}\text{C}$ ). Deze meting van enkel de 0-puntsverschuiving tonen een verschil van ongeveer 1,45 mV over het gehele bereik, of +0,8 en -0,6 ten opzichte van de waarde bij  $25^{\circ}\text{C}$  (fig. 4C).

De metingen met betrekking tot de temperatuurs invloed op de uitgangsspanning laten een relatief grote 0-punts verschuiving zien, hoewel deze nog ruim binnen de specificatie ligt. Uit de metingen bij een aangelegde druk van 175 cm kan geen duidelijk verloop in de gevoeligheid worden afgeleid, daar hier de totale verandering kleiner of bijna gelijk is aan die ten gevolge van alleen het 0-punts verloop. Het is daarom aan te bevelen de afregeling van de versterkingsfactor en de vaststelling van het 0-punt uit te voeren bij een temperatuur, die overeenkomt met de gemiddelde temperatuur van het grondwater. De gemeten afwijkingen tussen 8 en  $12^{\circ}\text{C}$  bedroegen maximaal 0,13 mV. Ten opzichte van  $10^{\circ}\text{C}$  geeft dit een afwijking van + of - 0,455 cm.

Volgens de specificatie van de XTR100 bedragen de temperatuurscoëfficiënten maximaal 10 ppm/K voor het 0-punt en 30 ppm/K voor de stroombron. Over het grootst gemeten traject van 0 -  $50^{\circ}\text{C}$  geeft dit een maximale fout van 0,2% voor de 0-punts verschuiving. Ten opzichte van de gemeten verschillen aan de complete opnemer van 2,9% is deze fout zo klein, dat het niet nodig was aparte temperatuur-metingen uit te voeren aan de XTR100.

## 6.2 L i n e a r i t e i t e n h y s t e r e s i s

Uit de specificatie blijkt dat de niet-lineariteit aanleiding kan geven tot een foutieve aanwijzing van maximaal 1,5% of  $\pm 5$  cm bij het gebruik van het volledig bereik van de drukopnemer. Deze niet-lineariteit is in hoofdzaak het gevolg van de fabricage methode van het silicium membraan met de brugweerstand en de methode van vastzetten van dit membraan in het huis van de opnemer.

Omdat een fout van  $\pm 5$  cm te groot is voor voldoende nauwkeurige metingen van grondwaterstanden in het veld zijn metingen uitgevoerd om vast te stellen hoe groot de werkelijke afwijking is en hoe deze af-

wijking is verdeeld over het bereik van de opnemer. Voor het meten over het gehele traject werd gebruik gemaakt van een reservoir, opgehangen aan een 5 m lange oprolbare maatband. Het reservoir zelf was door middel van soepele slangen verbonden met de opnemers.

Met op hoogte instelbare reservoirs werden de metingen over een korter traject van 260 cm uitgevoerd. Deze opstelling geeft een mogelijkheid tot nauwkeuriger hoogte-instelling dan bij de vorige methode. Voor nog kleinere fluctuaties werd gebruik gemaakt van een met water gevulde slang, welke langs een maatband werd op en neer bewogen. Deze metingen met kleine drukveranderingen geven een aanwijzing over het gedrag van de opnemer in het veld bij kleine fluctuaties van de grondwaterspiegel.

#### 6.2.1 De niet-lineariteit en hysteresis over het gehele bereik

Uit de geregistreeerde spanning is over een traject van 200 cm de gemiddelde gevoeligheid van elke drukopnemer bepaald. Met deze waarde werd per ingestelde hoogte de afgegeven spanning omgerekend in cm-waterkolom. Om een duidelijk beeld van de niet-lineariteit te verkrijgen zijn van deze berekende waarden de ingestelde waarden afgetrokken (fig. 5).

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- a. de opnemers voldoen wel aan de specificatie, maar bij gebruik over het gehele traject is de afwijking te groot voor het gestelde doel.
- b. een veel betere benadering kan worden verkregen met een 2e graads ijkcurve (gestreepte lijn in fig. 5).
- c. bij een maximaal traject van 200 cm is ook bij een lineaire omrekening de afwijking acceptabel. Voor de hier gemeten drukopnemers is de afwijking dan respectievelijk  $\pm 1,25$ ,  $\pm 0,8$  en  $\pm 0,6$  cm.
- d. de hysteresis is in het algemeen zo klein dat deze bij veldmetingen geen problemen geeft.

Bij een herhaling van de metingen is gebleken dat de afwijkingen ten opzichte van de voorgaande metingen kleiner was dan 2 mm. Een meting aan drie andere drukopnemers liet over 200 cm een niet-lineariteit zien van  $\pm 1,3$ ,  $\pm 0,8$  en  $\pm 1,1$  cm.

Een meting waarbij het drukvat met behulp van een motor in een langzame continue beweging op en neer werd bewogen gaf een zelfde beeld als dat waarbij de druk stapsgewijze werd veranderd. Bij de continue

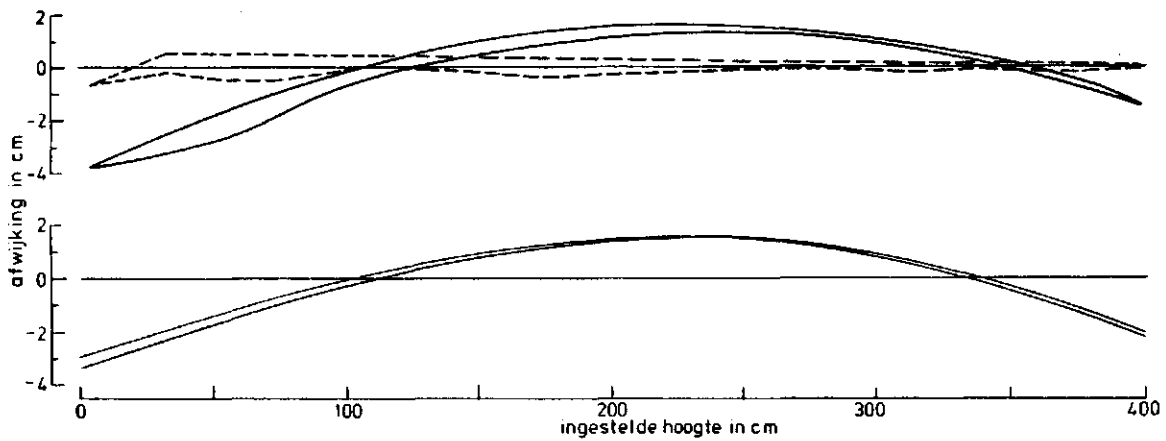


fig. 5. Hysteresis en niet-lineariteit over het gehele bereik

meting werd de drukhoogte bepaald door een drukopnemer met een lineariteit beter dan 0,5%.

Om een beter inzicht te verkrijgen in het gedrag van de opnemers onder velkomstandigheden, waarbij vaak kleine fluctuaties van het grondwater optreden zijn metingen gedaan over kleinere trajecten. Met behulp van een dompellichaam werd in een buis een waterhoogte gerealiseerd welke met de tijd nagenoeg sinusvormig veranderde. De omlooptijd bedroeg 82 minuten bij een amplitude van 15,85 cm. De waterhoogte in de buis werd afgelezen via een peilglas. De steiging en daling in de peilbuis verliep niet regelmatig, waardoor soms plotselinge veranderingen van 2 mm in de aflezing optraden. Rekening houdend met een bijna sinusvormige verandering van de hoogte is de aflezing op deze fouten gecorrigeerd. De afgegeven spanning van de drukopnemers werd om de minuut afgedrukt. De eerste twee opnemers werden geprint voor de aflezing, de andere twee na de aflezing van de waterhoogte. De totale printtijd bedroeg circa 12 seconden, zodat de waarde van 1 iets voorliep en van 4 iets achterliep ten opzichte van de aflezing. De hierdoor ontstane afwijking bedraagt circa 1 mm bij de snelste verandering van de waterhoogte.

Bij de omrekening van de door de opnemers afgegeven spanning in cm waterhoogte zijn deze vergeleken met het gecorrigeerde afgelezen peil. Uit de grafische weergave van de berekende afwijking (fig. 6) blijkt geen duidelijk onderscheid te kunnen worden gemaakt tussen aflees-

fouten en de berekende afwijking. Een duidelijke hysteresis is niet waar te nemen. Globaal gezien lijkt een niet-lineariteit van ongeveer 2 mm over het traject van 30 cm aanwezig te zijn. Dit komt overeen met 0,7%, hetgeen in redelijke overeenstemming is met de voorgaande metingen.

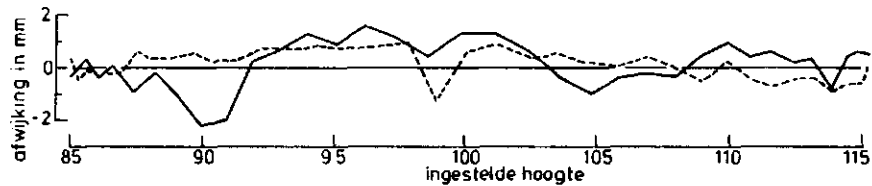


fig. 6. Hysteresis en niet-lineariteit bij een sinusvormige drukverandering van 30 cm.

Een serie metingen uitgevoerd over nog kleinere trajecten gaf geen meetbare afwijking in de lineariteit meer te zien. Slechts bij een enkele drukopnemer werd een geringe hysteresis waargenomen, welke binnen de gespecificeerde waarden lag en voor de praktische toepassing daarom geen problemen geeft.

## 7. VELDMETINGEN

Na de metingen van het gedrag van de opnemers onder laboratorium omstandigheden is een meting onder veldomstandigheden noodzakelijk om de betrouwbaarheid te testen. Hiertoe werden twee opnemers geplaatst in twee grondwaterstandsbuizen van 75 mm. Bij het plaatsen van de meet- en controlebuizen bleek de grond ter plaatse sterk te zijn verstoord door vergravingen. Ondanks het feit dat de controle buizen respectievelijk op 1 en 0,5 m van de meetbuizen waren geplaatst bleken soms toch vrij grote verschillen op te treden tussen de in de buizen gemeten waterstanden. Hierdoor was het niet mogelijk de meetbuizen geheel onder de grond af te werken op de manier zoals is beschreven in hoofdstuk 2.

Om te controleren of mogelijk luchtdrukveranderingen in een onder maaiveld afgewerkte buis kunnen optreden bij stijging of daling van de grondwaterstand of bij hevige regenval werden de meetbuizen afgesloten met een plastic plaat waarin zich een buis van 25 mm bevond. Een van deze buizen werd afgesloten door een met antivries gevulde manometerbuis.

Tijdens de meetperiode is noch bij grote fluctuaties van het grondwater, noch bij hevige regenval, noch tijdens een vorstperiode een afleesbaar verschil geconstateerd tussen de atmosferische druk en de luchtdruk in de buis.

De opnemers zijn via 75 m getwiste kabel en elk een 200  $\Omega$  meetweerstand aangesloten op een binnen geplaatste voeding. De spanning over deze weerstand werd continu gemeten met een Voltmeter. Deze opstelling is gekozen om binnen een controlemogelijkheid te hebben.

Uit de metingen (fig. 7) blijkt dat een redelijke overeenkomst bestaat tussen de uit de gemeten spanningen berekende en de met de hand gemeten grondwaterstanden. De handmetingen werden uitgevoerd met een peilklokje of met een elektrische indicator. De optredende verschillen kunnen gedeeltelijk worden verklaard uit onnauwkeurigheden in de controlemetingen en deels uit het tijdsverschil tussen de handmeting en de aflezing van de voltmeter, wat vooral bij snellere fluctuaties van invloed is. Wel blijkt vooral bij de metingen in meetbuis 1 dat de niet-lineariteit van de drukopnemer van invloed is op de meetnauwkeurigheid.

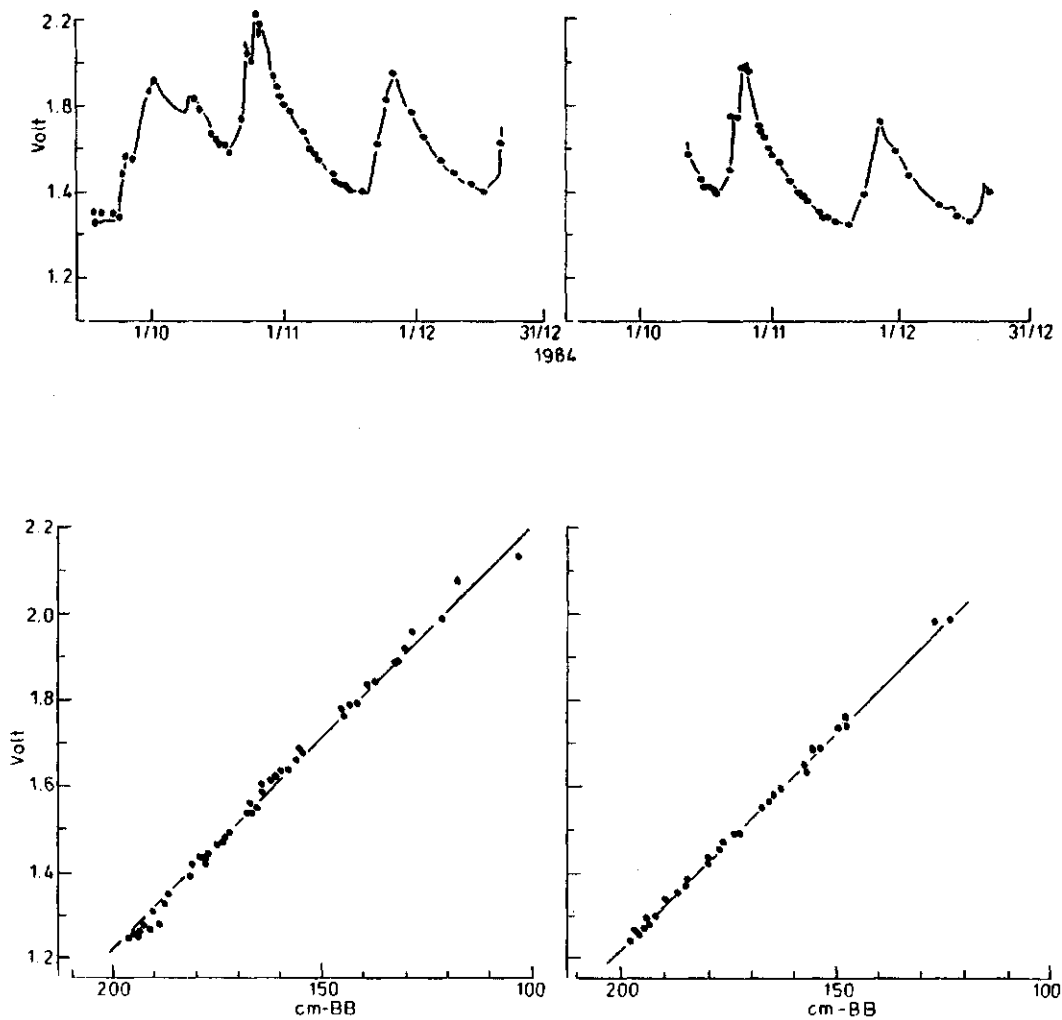


fig. 7. Het verloop van de grondwaterstandsregistratie in de meetopstellingen 1 en 2 en het verband tussen de registratie en de met de hand gemeten grondwaterstanden.

Het verband tussen de gemeten en de met de hand gepeilde waarnemingen kan worden weergegeven door:  $h = -99,1 A + 321,1 \text{ cm}$

$$\text{resp. } h = -100,6 A + 322,2 \text{ cm}$$

met  $h$  = het hoogteverschil tussen de bovenkant van de buis en de grondwaterstand in cm

en  $A$  = de afgelezen spanning in volt; de coëfficiënt heeft de dimensie cm/V



Dat de helling afwijkt van 100 vindt zijn oorzaak in de afregeling, welke beïnvloed wordt door de kwaliteit van de gebruikte potentiometer en door de afregeling bij kamertemperatuur, waardoor zowel positieve als negatieve afwijkingen kunnen ontstaan ten op zigt van de grondwatertemperatuur. Hoewel dit niet door metingen is vastgesteld zou ook het ingieten van de opnemer na de afregeling enige invloed kunnen hebben.

De constante term wordt bepaald door de diepte waarop de opnemer wordt geplaatst en door de aanwijzing van de opnemer als de druk op beide poorten gelijk is: de 0-punts afwijking.

## 8. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Onder bepaalde omstandigheden is het wenselijk grondwaterstanden te kunnen meten zonder gebruik te maken van boven maaiveld uitstekende buizen of markeringen van buizen. Deze grondwaterstanden moeten op een gemakkelijk te herkennen en goed bereikbaar punt kunnen worden waargenomen. Met behulp van drukopnemers en spanning naar stroom omvormers kan aan de gestelde voorwaarden worden voldaan. Het gebruik van omvormers biedt het voordeel van besparing op de bedrading omdat hierbij slechts twee geleiders nodig zijn. Bovendien is de versterkingsfactor instelbaar, zodat een eenvoudige relatie tussen de veranderingen van de waterhoogte en de stroom door de omvormer kan worden gerealiseerd. Ook is bij lange leidingen een stroomvoeding minder gevoelig voor storingen dan een spanningsvoeding.

Om de kosten per meetpunt zo laag mogelijk te houden is een onderzoek gedaan naar de bruikbaarheid van goedkope drukopnemers. Daar de specificaties van deze opnemers niet van dien aard zijn dat ze zonder meer aan de te stellen eisen van nauwkeurigheid voor het meten van grondwaterstanden voldoen zijn een aantal laboratoriumproeven gedaan met betrekking tot de temperatuur-invloed, de niet-lineariteit en de hysteresis.

Uit de metingen is gebleken dat over een traject van 200 cm met een nauwkeurigheid van  $\pm 1$  cm kan worden gemeten. Om deze nauwkeurigheid te kunnen bereiken is het wel vereist dat voor de opbouw van de opnamer de overige toegepaste onderdelen van goede kwaliteit zijn. De afregeling dient bij voorkeur te gebeuren bij een temperatuur die niet te veel afwijkt van de gemiddelde temperatuur van grondwater.

Metingen onder veldomstandigheden toonden aan dat de opnemers de grondwaterstand goed weergeven onder alle in de meetperiode voorkomende weersomstandigheden, variërend van zware regenbuien tot droogte en temperaturen van  $\pm 25$  tot  $-20^{\circ}\text{C}$ . Bij de gebruikte opstelling bleef een goede beluchting in de buis boven het grondwater gewaarborgd.

Worden hogere eisen aan de nauwkeurigheid gesteld dan zal gebruik moeten worden gemaakt van drukopnemers met een betere lineariteit. De prijs van deze opnemers ligt bij de momenteel verkrijgbare en voor dit doel geschikte opnemers minimaal f 500,- hoger dan van de bij dit onderzoek gebruikte type van ongeveer f 150,-

Daar de reproduceerbaarheid van deze opnemers goed is kan ook een hogere meetnauwkeurigheid worden verkregen door vooraf een ijkcurve vast te stellen, waardoor de fout tengevolge van de niet-lineariteit wordt geëlimineerd. Het voordeel van een lineaire omrekening voor alle opnemers vervalt dan.

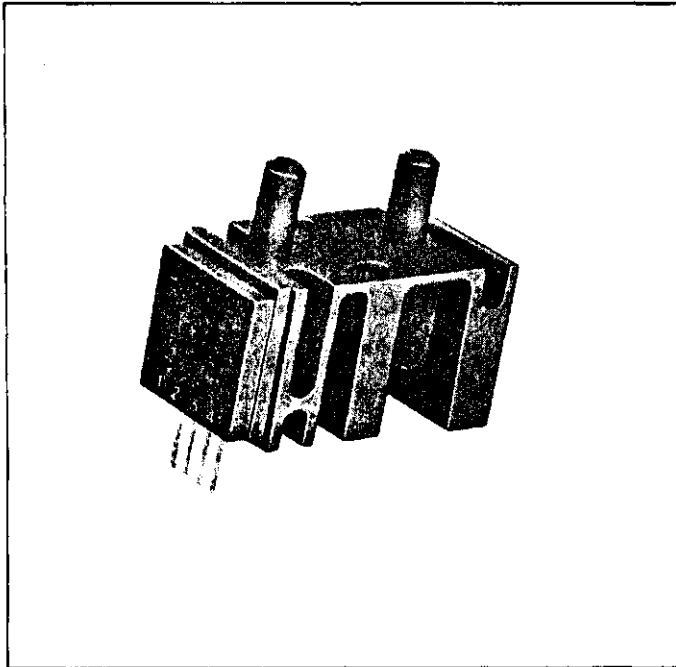
Voor veldmetingen is een meter annex voeding ontwikkeld welke bij een juiste afregeling van de opnemers is afgesteld op 10 mV voor elke cm grondwaterstandsverandering.

# MICRO SWITCH

a Honeywell Division

## Temperature compensated solid state pressure transducers

product sheet **126PC**  
preliminary



126PC Series pressure transducers are temperature compensated solid state piezoresistive devices. They are ideally suited to applications requiring exact measurement of pressure where the benefits of repeatability, low hysteresis, and long term stability are important. A thermistor and laser trimmed resistors (external to the sensor chip) provide close tolerances on null and full scale output, and low sensitivity shift (typically  $\pm 1.5\%$ ) with temperature. 126PC pressure transducers are available in differential and gage types, in three pressure ranges (0-5, 0-15, 0-30 psi).

The heart of each device is a .100" square silicon sensor chip. The sensing diaphragm and four piezoresistors are integral parts of the chip. Pressure applied on the diaphragm causes it to flex, changing the resistance, which results in an output voltage proportional to pressure. The sensing resistors are connected as a four active element bridge for best linearity and sensitivity. The bridge is operated with constant voltage excitation.

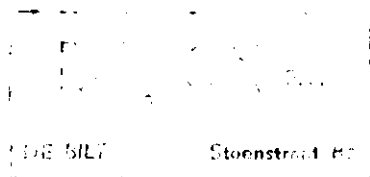
The sensor chip is enclosed in a black thermoplastic package, equipped with standard spaced printed circuit board terminals. It is designed for maximum mounting and interface flexibility, with mounting in three orientations, and lead exits in three orientations.

### FEATURES

- *Low sensitivity shift with temperature*
- *Interchangeability...trimmed offset and sensitivity*
- *High reliability*
- *Low cost*
- *Silicon sensor chip...diaphragm with implanted resistors is integral part of the chip*
- *Differential and gage types*
- *High sensitivity*
- *Excellent stability*
- *Linear output...proportional to pressure*
- *DC operation...ripple-free output*
- *Fast response*

### TYPICAL APPLICATIONS

- *Medical instruments*
- *Home appliances*
- *Engine controls*
- *Environmental control systems*
- *Water management*
- *Wind speed*
- *Altimeter*
- *Pneumatic controls*
- *Computer peripherals*



**Temperature compensated solid state pressure transducers**

*product sheet 126PC*

**126PC SERIES SPECIFICATIONS**

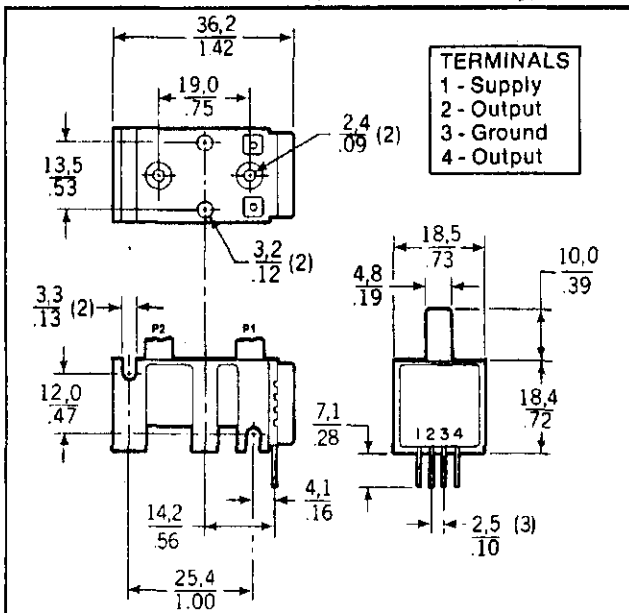
1 PSI = 703,05 mm waterkolom  
5 PSI ≈ 350 cm waterkolom

10.0 ± 0.01 VDC Excitation, 25°C (unless otherwise noted)

Parameter	Pressure Range									Units
	0-5 psi			0-15 psi			0-30 psi			
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
1. F.S.O.* (Full Scale Output)	48.5	50.0	51.5	98.5	100	101.5	148	150	152	mV
2. Null offset	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	mV
3. Sensitivity (per psi)	9.7	10	10.3	6.57	6.67	6.77	4.93	5.0	5.07	mV
4. Overpressure			20			45			60	psi
5. Response time			1			1			1	ms
6. Voltage Excitation			16			16			16	VDC
7. Linearity (Best Fit Straight Line)										
Greatest pressure at port P1		± .75%			± .50%			± 1.5%		F.S.O.
Greatest pressure at port P2		± 1.50%			± 1.00%			± 3.0%		F.S.O.
8. Temperature Error (0 to 50°C)		± 1.5%			± 1.5%			± 1.5%		F.S.O.
Sensitivity Shift		± 1.5%			± 1.5%			± 1.5%		F.S.O.
Null Shift		± 2			± 2			± 2		mV
9. Repeatability & Hysteresis		± .15%			± .15%			± .15%		F.S.O.
10. Stability (over one year)		± 1%			± 1%			± 1%		F.S.O.
11. Input Resistance		8K ± 20%			8K ± 20%			8K ± 20%		Ohms
Shock	Qualification tested to 150 g									
Vibration	Qualification tested to 0 to 2 kHz at 20g sine									
Operating Temperature	-55°C to + 125°C (-65°F to + 257° F)									
Media Compatibility	Contact MICRO SWITCH									
Weight	12 grams nominal									
Termination	0.025" nominal square printed circuit board terminals									

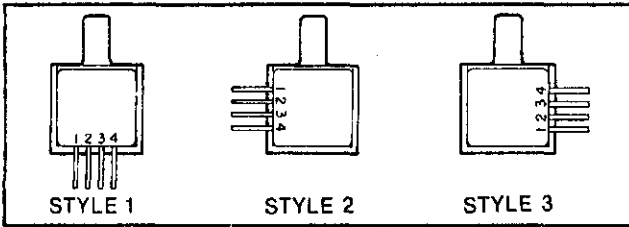
\*F.S.O. is the algebraic difference between the end points.

**MOUNTING DIMENSIONS (For reference only)**



**TERMINALS**  
1 - Supply  
2 - Output  
3 - Ground  
4 - Output

**TERMINAL STYLES**



**126PC ORDER GUIDE**

Type	Pressure Range & Catalog Listings		
	0-5 psi	0-15 psi	0-30 psi
Differential	126PC05D1	126PC15D1	126PC30D1
Gage	126PC05G1	126PC15G1	126PC30G1

Catalog listings are given with terminal style 1. To order style 2 or 3, substitute the number 2 or 3 for the 1 at the end of the listing.

Example: 126PC15D1 becomes 126PC15D2 with style 2 terminals.

**MICRO SWITCH Worldwide Sales and Service**

MICRO SWITCH serves its customers through a worldwide network of sales offices and distributors. For application assistance, pricing or the name of the nearest Authorized Distributor, contact a nearby MICRO SWITCH sales office. Or, write MICRO SWITCH, Freeport, Illinois 61032; phone 815/235-6600.

While we provide application assistance on MICRO SWITCH products, personally and through our literature, it is up to the customer to determine the suitability of the products in his application.

**MICRO SWITCH**  
a Honeywell Division