

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

D e B i l t

Verslagen

V - 291

G.J. Prangma

Instrumentatie voor het oceanisch menglaagonderzoek

De Bilt, 1977

Publikationsnummer: K.N.M.I. V-291. (00).

U.D.C.: 551.46.087 :  
551.46.083 :  
621.317.7

## Inhoudsopgave.

### 1. Inleiding.

p. 1

Ingegaan wordt op de achtergrond van het menglaag-onderzoek en de methoden die in het experimentele onderzoek mogelijk zijn. De gemaakte keuze wordt toegelicht.

### 2. CTD-meter.

p. 3

- 2.1. De nauwkeurigheidseisen worden toegelicht, uitgaande van het onderzoek dat op basis van de verzamelde gegevens zal worden verricht.
- 2.2. De gemaakte keuze berust meer op ervaringen van andere instituten, dan op de officiële fabrieksspecificaties van de commercieel verkrijgbare apparaten.
- 2.3. De werking van het gekozen Guildline type 8700 instrument wordt beschreven met een aparte toelichting op elk van de drie gemeten grootheden (conductiviteit, temperatuur en druk).

### 3. Kabel, lier en slipringen.

p. 6

- 3.1. De eisen aan en specificaties van de draagkabel worden besproken. Op de wijze van bevestiging aan het onderwatergedeelte van de CTD-meter wordt apart ingegaan.
- 3.2. De specificaties voor de lier worden toegelicht en de wijze waarop daaraan in de realisatie is voldaan.
- 3.3. De overbrenging van de gemeten signalen van het draaiende deel van de opstelling (liertrommel en kabel) naar de stilstaande registratie-kabel wordt besproken. De gekozen slipring-set is speciaal voor Guildline ontwikkeld. Het effect van optredende storingen blijkt goed te verhelpen te zijn.

### 4. Registraties.

p. 8

Uitvoerig wordt ingegaan op de eisen die aan de gegevensvastlegging moeten worden gesteld en op welke wijze daarvoor een oplossing is gevonden. Kernpunt is een zekere mate van verdubbeling van de registratie-apparatuur, waardoor storingen makkelijk opgevangen kunnen worden zonder stagnatie in het onderzoek op zee.

5. A/D conversie.

p. 10

De voornaamste wijze van gegevensverzameling en -opslag is in een vorm die geschikt is voor computer-verwerking.

- 5.1. De snelheids- en nauwkeurigheidseisen voor de analoog-digitaal omzetting (A/D) worden geformuleerd, evenals de randvoorwaarden (de aanwezigheid van een PDP8/E minicomputer) waarmee rekening gehouden moest worden bij de apparaats-keuze.
- 5.2. De gekozen oplossing wordt beschreven.
- 5.3. De opbouw en werking van het gekozen Analogic AN5800 data-conversiesysteem wordt beschreven.
- 5.4. De -elektronische- aanpassing van de meetsignalen aan de karakteristieken van het AN5800 systeem wordt in principe en voor elke meetgrootte apart beschreven.

6. IJkingen.

p. 13

Uiteengezet wordt hoe de hoge nauwkeurigheidseisen in de praktijk bewaakt worden en welke methoden daarbij gehanteerd worden.

7. XBT-instrumentatie.

p. 14

De overwegingen die tot de aanschaf van een expendable bathythermograph-(XBT)-systeem hebben geleid, worden nogmaals toegelicht. De wijze van gegevensopslag wordt besproken.

8. Ervaringen.

p. 15

De ervaringsfeiten van de eerste 4 vaartochten met de beschreven instrumenten worden samengevat. De resultaten tot nu toe zijn alleszins positief te noemen.

## Inleiding.

In het voorjaar van 1973 werd in principe besloten het onderzoek van het dynamisch gedrag van de oceanische menglaag in het onderzoekspakket van de afdeling Oceanografisch Onderzoek op te nemen. Dit onderzoek zou aandacht dienen te geven aan zowel de theoretische als de experimentele aspecten, waarbij aangetekend werd dat meetcampagnes door de aard van het zeegaand onderzoek vooral in internationaal te coördineren programma's zouden moeten plaatsvinden.

Waar het onderhavige verslag over de instrumentatie voor het menglaagonderzoek handelt, zullen we in dit verslag de theoretische aspecten buiten beschouwing laten, behalve daar waar experimentele (nauwkeurigheds-)eisen slechts te verstaan zijn vanuit de theoretische achtergrond.

Bij het uitwerken van een experimentele opzet dienen zich vele mogelijkheden aan die elk op een specifieke manier inzicht geven in bepaalde eigenschappen van de gemeten grootheden. Een voorbeeld ter illustratie (zie voor een uitgebreide behandeling van meet-theoretische aspecten Woods, 1977):

Gesteld men wil de temperatuur- en zoutgehalte-verdeling in de menglaag en de seizoensthermokliene in zowel ruimte als tijd zo goed mogelijk en met een bepaalde nauwkeurigheid leren kennen.

Hiervoor zijn in principe een aantal verschillende apparaten/technieken te gebruiken of combinaties daarvan (zie fig. 1):

- a. een CTD/STD meter\* vanaf een drijvend schip
- b. een CTD/STD meter gesleept door een varend schip (Batfish)
- c. een thermistor-ketting vanaf een drijvend schip of in een verankerd systeem
- d. een gesleepte thermistor-ketting
- e. een XBT-raai\*, d.w.z. vanaf een varend schip snel achter elkaar een groter of kleiner aantal XBT-profielen.

- Allereerst valt op dat sommige combinaties technisch uitgesloten zijn (varend vs drijvend schip).
- Verder ontbreekt in de thermistor-ketting en de XBT de zoutgehalte-informatie.
- Een drijvend schip of een verankerd systeem geeft een tijdreeks op één punt in de ruimte, waarbij de CTD/STD meter nog anders gebruikt wordt dan de thermistor-ketting: één (eventueel herhaald) continu vertikaal profiel (CTD) versus tijdreeksen op enkele diepten (thermistor-ketting).
- Een gesleept instrument geeft een ruimtelijk beeld, wat voor iedere plaats echter één punt in de tijd is. (Voor elke plaats is die tijd bovendien verschillend).

Een batfish (CTD), die gesleept wordt op een variërende diepte, geeft weer een andere informatie dan de thermistor-ketting, nl. een continu "profiel" over een zekere gevaren lengte (als regel ca. 1.5 km tussen 2 "profielen" vs. continu doorsneden op enkele vaste diepten.

- XBT's (en vele thermistor-kettingen) zijn minder nauwkeurig dan de moderne CTD-meters.
- De resultaten van XBT en CTD/STD zijn als regel direkt (d.w.z. tijdens de meting) zichtbaar (te maken).  
De meest bekende thermistor-kettingen werken met interne, automatische registraties, die achteraf op speciale apparatuur moet worden uitgelezen/vertaald.

\* CTD: conductivity-temperature-depth  
STD: salinity-temperature-depth  
XBT: expandable bathythermograph

Naast de hierboven gegeven opsomming -die allerminst uitputtend is- spelen ook andere factoren een rol. Met name gaat het daarbij om de vragen:

- is voldoende technisch personeel beschikbaar om de apparatuur gebruiksklaar te houden. Dit geldt in het bijzonder voor de gesleepte apparatuur
- is voldoende mankracht (en tijd) aanwezig voor uitwerking, controle en interpretatie van de verwachte gegevens-stroom.

Tenslotte speelt in de uiteindelijke keuze ook het financiële aspect nog een rol.

Naast andere, in de geschiedenis verdwenen, al of niet bewuste factoren, heeft uiteindelijk vooral de volgende overweging een zeer voorname rol gespeeld: "Het gaat om nieuwe ons onbekende instrumenten en technieken. Kies nu een combinatie, die binnen de beperkte hoeveelheid mankracht, zonder uitvoerig eigen ontwikkelingswerk in een zo kort mogelijke tijd tot een bruikbaar en betrouwbaar resultaat leidt en waarvan de gegevens met een minimum aan na-controle en correcties aan de gestelde nauwkeurigheidseisen voldoen. Houdt verder de gegevens-stroom binnen de grenzen van hetgeen met de beschikbare onderzoekscapaciteit zinvol kan worden verwerkt".

Zoals uit het vervolg blijkt, is daarom voor het menglaag-onderzoek op de afdeling OO gekozen voor een combinatie van a. en e.: een CTD-meter te gebruiken vanaf een drijvend schip aan te vullen met ruimtelijke informatie uit XBT-metingen.

Hoewel ervaring met het interpreteren van stroommeterreeksen in ruime mate voor handen is, werd om twee redenen, althans voorlopig, afgezien van stroommetingen in en vlak onder de menglaag:

- met de benodigde diepzee-verankering zou eerst kennis en ervaring moeten worden opgedaan.\*
- in het onderzoek zal, zoals reeds eerder vermeld, aansluiting bij buitenlandse instituten gezocht worden, waar veelal wel kennis en ervaring met stroommetingen in de diepzee aanwezig is, zodat op uitwisseling van gegevens gerekend mag worden.

In dit rapport zal voor elk van de samenstellende delen van het instrumentarium ingegaan worden op de gestelde eisen en hoe daaraan getracht is te voldoen, op de wijze van registratie, de ijkprocedures en de tot dusver opgedane ervaringen.

De problemen van en oplossingen voor de computer-gestuurde gegevens-verwerking zullen in een apart verslag behandeld worden.

De in dit verslag genoemde procedures en gebruiksvoorschriften zijn in een aparte handleiding/instructie samengevat.

\* Een "shear"-meting vanaf een schip is "vervuild" door golfinvloeden en derhalve buiten beschouwing gelaten.

## 2. CTD-meter.

### 2.1. Eisen.

De nauwkeurigheidseisen, die aan een CTD-meter systeem gesteld moeten worden, kunnen afgeleid worden uit een foutenbeschouwing aan de hand van de te bestuderen behoudswetten (zie b.v. Pollard, 1975).

Massa-behoud, energie-behoud, en warmte-budget voor de menglaag zijn dan de voornaamste en leiden tot de volgende criteria:

- dichtheid beter dan  $10^{-5}$  gr/cm<sup>3</sup>
- temperatuur beter dan  $10^{-2}$  °C
- druk beter dan 1 dbar (is ongeveer 1 m in diepte)

Dit leidt tot de volgende fouten:

- 0,01°C voor een menglaag van -typisch- 30 m geeft een fout van ca. 30 cal. Dit is 5 à 10% van de dagelijkse instraling in de zomer, die tot op ca. 3% of 10 cal. direct te meten is.
- een fout van 1 m in de dieptebepaling leidt voor diezelfde menglaag tot een fout van ca. 3% in de warmte-inhoud.
- een fout van  $10^{-5}$  gr/cm<sup>3</sup> in de dichtheid geeft aanleiding tot drukgradienten van ca. 1 mbar over enige afstand in een laag van 2000 m en dit leidt weer tot -soms aanzienlijke- fouten in de te berekenen geostrofische stroomcomponent in de gehele waterkolom. Daarnaast is deze fout in de dichtheid bepalend voor de nauwkeurigheid van de dichtheidsflux door de seizoensthermokliene, welke flux een belangrijke term in de energie-balans is.

De nauwkeurigheidseis in de dichtheid laat zich gemakkelijk vertalen -via de saliniteit- in een nauwkeurigheidseis voor de -gemeten- elektrische geleidendheid van het zeewater:

$$10^{-5} \text{ gr/cm}^3 \rightarrow 0,01 \text{ o/oo in saliniteit} \rightarrow$$

$$2 \times 10^{-4} \text{ in } R_{\text{CTD}} = C_{\text{STP}}/C_{35,15,0}$$

waarin  $R_{\text{CTD}}$  de geleidendheidsverhouding is en  $C_{\text{STP}}$  de elektrische geleidendheid bij saliniteit S, temperatuur T en druk P.

$C_{35,15,0} = 42,900 \text{ m mho/cm}$ , de waarde van  $C_{\text{STP}}$  bij 35 o/oo en 15°C. Daarnaast geldt nog de eis van een zodanig responsie-snelheid van de sensoren dat geen uitvoerige correcties nodig zijn bij vier/hieuw-snelheden tot 2 m/sec. Volgen we de redenering van Dantzler, 1974, dan betekent dit dat de responsie-tijden van met name de geleidendheidscel en de thermometer kleiner moeten zijn dan: 100 msec om in een spronglaag extra correcties overbodig te maken (vierversnelheid 2 m/sec,  $dS/dz = 0,01 \text{ o/oo/m}$ ,  $dT/dz = 0,1 \text{ °C/m}$ ,  $\delta S \leq 0,002 \text{ o/oo}$ ). Verder moet het oplossend vermogen van de sensoren zodanig zijn dat het oplossend vermogen in de dichtheid van het zeewater in 1 meting 2 à 3 x  $10^{-6}$  gr/cm<sup>3</sup> bedraagt.

Naast deze eisen komen nog een paar belangrijke factoren, die het gemak en daarmee de snelheid van de gegevens-controle en -reductie bepalen:

- de ijkings van de sensoren moeten voor de duur van tenminste 1 meetreis (ca. 1 maand) constant zijn.
- controle op de ijkings moet op eenvoudige wijze, zo nodig ook aan boord mogelijk zijn met de vereiste precisie.

Tenslotte moet het apparaat ook op zee eenvoudig te repareren zijn, eventueel door verwisseling van componenten.

## 2.2. Apparaatskeuze.

Bij het marktonderzoek, dat aan de hand van bovengemelde eisen is verricht, bleek dat volgens de officiële fabrieks-specificaties eigenlijk geen enkel apparaat aan alle eisen voldeed.

Daarom is ook de ervaring van buitenlandse onderzoekers, mondeling dan wel uit de literatuur verkregen, in de beoordeling betrokken.

Hierdoor kwam met name aan het licht, dat sommige fabrikanten de best mogelijke of minstens gemiddelde resultaten gaven en dat met name één fabrikant de slechtst geconstateerde resultaten als specificatie gaf.

Tegen deze achtergrond zijn de fabrieks-specificaties nogmaals met de eisen vergeleken, waaruit de Guildline CTD-meter type 8700 als enige naar voren kwam die uiteindelijk toch geheel bleek te voldoen, terwijl de Plessey CTD/STD type 9040 op een groot aantal punten ook binnen de eisen kwam. Hier echter voldeed de responsie-tijd in het geheel niet (specificatie 0,35 sec., de ervaring lopen tussen 0,5 en 3 sec.) terwijl elke waarneming aan de hand van meerdere gelijktijdig te nemen watermonsters opnieuw geijkt moet worden.

Op grond van deze gegevens lag de keus voor het Guildline instrument voor de hand.

## 2.3. Meetprincipe.

Het Guildline CTD-meter-systeem type 8700 bestaat in essentie uit 2 gedeelten:

1. de dek-eenheid, die de nodige voedingsspanningen levert en de versterkers voor de besturing van (analoge) papier-recorders bevat.
2. het onderwater-gedeelte ("vis"), dat als drager voor de 3 sensoren fungeert en verder de meetversterkers voor elk van de sensoren alsmede een stabilisatie voor de voeding van deze versterkers bevat.

De verbinding tussen beide gedeelten wordt gevormd door de draagkabel waarin 7 elektrische geleiders zijn opgenomen:

- 3 voor de voedingsstroom naar het onderwater gedeelte +, - en 0
- 4 voor de omhooggaande uitgangssignalen, conductiviteit, temperatuur en druk alsmede een "signaal-nul".

De dek-eenheid fungeert als stroombron voor de spanningsstabilisator in de "vis".

### 2.3.1. Conductiviteitscel.

De sensor voor de elektrische geleidendheid bestaat uit een buis van pyrex-glas, waarin de 4 zij-armen 4 platina-elektroden zijn aangebracht (zie fig. 2).

De meting volgt de methode van de klassieke weerstandsmeting: 2 stroom- en 2 potentiaal-draden.

Daar zeewater een elektrolyt is, moeten voorzorgen genomen worden ter vermindering van fouten door optredende contactpotentialen. Daarom is een schakeling ontworpen waardoor de stroom regelmatig van richting omkeert.

Vervolgens wordt de potentiaal vergeleken met een vaste weerstand die overeenkomt met de weerstandswaarde van de cel bij 35 o/oo saliniteit, 15°C en druk nul.



Daarna vindt langs elektronische weg de bewerking plaats, totdat de uitgangsspanning is:

$$V_{\text{cond}} = -4 (1 - R_{\text{CTD}}) \text{ volt} \quad (1)$$

waarin  $R_{\text{CTD}} = C_{\text{STP}}/C_{35,15,0}$ , de geleidendheidsverhouding.

De absolute nauwkeurigheid in  $R_{\text{CTD}}$  ( $1 \times 10^{-4}$ ) komt overeen met een fout in  $S$  van  $\pm 0,005$  o/oo in het gebied  $30 - 40$  o/oo; het oplossend vermogen met  $\pm 0,002$  à  $0,003$  o/oo (Deze gegevens zijn in ons instrument gemeten).

De responstijd bedraagt volgens de fabrieksopgave 5 msec of minder, hetgeen door onderzoek op het Bedford Institute of Oceanography bevestigd is.

Moet men om enigerlei reden de sensor vervangen, dan wordt ook de corresponderende gedrukte schakeling in het onderwatergedeelte vervangen, zodat de uitgangsspanning aan de relatie (1) blijft voldoen.

### 2.3.2. Thermometer.

Ook de temperatuurmeting berust op een weerstandsmeting, ditmaal van een koperdraad die in een roestvrijstalen buisje getrokken is. Het geheel is gespiraliseerd. De gemeten spanning wordt vergeleken met een vaste weerstand, de waarde van de thermometer bij  $0^{\circ}\text{C}$ , en versterkt tot een uitgangsspanning:

$$V_{\text{temp}} = 0,100 T \text{ volt}$$

waarin  $T$  de temperatuur in  $^{\circ}\text{C}$  is.

In de praktijk is gebleken, dat de nulpuntscompensatie niet in alle gevallen exact is. Hiervoor is echter achteraf door een vaste correctie, die per sensor verschilt, te voorzien. De correctie wordt bepaald uit een uitvoerige ijking en van tijd tot tijd aan een ijspunt gecontroleerd (zie par. 6).

Uit de eigen waarnemingen blijkt dan dat de nauwkeurigheid beter is dan  $0,01^{\circ}$  (ligt in de buurt van  $0,005 - 0,007^{\circ}$ ) en het oplossend vermogen  $0,002$  à  $0,003^{\circ}$  bedraagt. De fabrieksopgave voor de responsietijd is "minder dan" 50 msec; Bedford Institute of Oceanography meldt 40 msec of beter.

Ook hier moet bij vervanging van de sensor de corresponderende gedrukte schakeling met de compensatiweerstand en de versterkingsfactor meevervangen worden.

### 2.3.3. De drukopnemer.

De druk wordt gemeten met een rekstrookje opgenomen in een Wheatstone-brugschakeling.

De versterking is zodanig, dat de uitgangsspanning voldoet aan:

$$V_{\text{depth}} = 0,001 D \text{ volt}$$

waarin  $D$  de druk in dbar is.

Uit onze ervaring blijkt, dat de nauwkeurigheid - na correctie (deze is in het algemeen  $< 2$  dm) voor de atmosferische druk - beter dan 1 m is en het oplossend vermogen ca. 0,2 m bedraagt.

Deze druksensor kan zo nodig verwisseld worden zonder verdere aanpassing van de elektronica.

### 3. Kabel, lier en slipringen.

#### 3.1.1. Kabel.

Als verbinding tussen schip en het onderwatergedeelte van de CTD-meter is de door Guildline aanbevolen (en ook door b.v. Bedford Institute for Oceanography gebruikte) kabel van het fabriekaats United States Steel gekozen.

Deze kabel (zie fig. 3), van het type Amergraph 7J30SB-MI, bestaat uit 7 elektrische geleiders omgeven door 2 tegen elkaar in gewikkelde lagen staaldraden.

De belangrijkste eigenschappen van deze kabel zijn in tabel 3.1 samengevat.

Tijdens de vaartochten in 1975 t/m 1977 zijn geen problemen opgetreden, die op de kabel terug te voeren zijn. De zeewaterbestendigheid is zonder meer goed te noemen. Het onderhoud zoals thans gegeven bestaat uit af en toe spaarzaam invetten met zeewaterbestendig vet. (Rhodina 2). In de afgelopen 3 jaar is een dergelijk behandeling maar 1 x nodig gebleken.

#### 3.1.2. Verbinding tussen kabel en onderwater gedeelte CTD-meter.

Het meest kwetsbare gedeelte in de verbinding tussen CTD-vis en dek-eenheid wordt zonder twijfel gevormd door de overgang van de in paragraaf 3.1.1. beschreven "draagkabel" naar de (rubberen) aansluitkabel van het onderwatergedeelte.

De beste resultaten tot nu toe zijn behaald met een werkwijze, gebaseerd op het gebruik van siliconenrubber en krimpkoos, die voorzien is van een plastische binnenlaag.

Eén van de belangrijkste punten is, dat een goede hechting op de isolatielaag van elke geleider verkregen wordt en dat nergens in de gehele procedure luchtballen ingesloten worden.

Elke nieuwe laag moet goed glad worden afgewerkt (tissue-papier is een geschikt hulpmiddel) en volledig droog/uitgehard zijn voor de volgende laag wordt aangebracht. De gehele procedure vergt circa 3 dagen.

#### 3.2. Lier.

De eisen, waaraan de lier voor het menglaagonderzoek van de afdeling OO moet voldoen, zijn de volgende:

- 2000 m kabel, diameter 7,6 mm
- continu variabele vier/hieuw snelheid tot maximaal 3 m/sec
- minimum trommeldiameter 33 cm
- holle as en ruimte voor sleepringset.
- benodigde trekkracht 400 kg
- automatische opwind/geleide mechanisme.

Aan de hand van deze specificaties zijn bij enkele firma's offertes en inlichtingen gevraagd. Slechts de firma Baensch (Hamburg) kon aan alle eisen voldoen zonder dat -soms essentiële- vragen onbeantwoord bleven.

Aangezien deze firma op het gebied van oceanografische lieren e.d. gespecialiseerd is (zo zijn bv de oceanografische werktuigen voor o.m. de "Planet" en de "Tydeman" door Baensch verzorgd) is een lier conform de offerte besteld.

Het vermogen voor deze hydraulische lier wordt door een elektrisch aangedreven pomp geleverd.

Tabel 3.I.

Eigenschappen draagkabel voor CTD-meter.

Type : USS Amergraph 7J30SB-MI  
Geleiders : 7, 0,23 mm vertind koper, 6,4  $\Omega$ /100 m  
Max.spanning: 200 V  
Capaciteit : 10,5 nF/100 m  
Diameter : 7,6 mm ( $\pm$  0,2)  
Gewicht : 19,8 kg/100 m  
Breeksterkte: 3040 kg  
Minimum trommel diameter: 33 cm

De bediening, d.w.z. zowel snelheid als richting, geschiedt continu met één handwiel. Een rem, die aangrijpt bij het wegvallen van de voedingsspanning, kan een kracht tot 600 kg vasthouden.

Het geleidemechanisme voldoet - zeker na een geringe aanpassing - volledig aan de verwachtingen.

Het onderhoudswerk omvat -naast schilderen- alleen olieverversen (1 maal per 2 jaar of 2000 bedrijfsuren) en doorsmeren (1 à 2 maal per meetcampagne).

### 3.3. Slipringen.

Omdat de CTD-vis de resultaten van de metingen als gelijkspanningssignalen doorgeeft, moeten zeer hoge eisen gesteld worden aan de slipring-contacten, die de spanningen van de -draaiende- lierkabel overbrengen op de -vaste- dekkabel.

Deze eisen betreffen contactpotentiaal en overgangsweerstand. Het gebruikelijke contact-materiaal zilver-grafiet voldoet door de grote variatie van beide grootheden voor deze CTD-meter niet. Medewerkers van het Bedford Institute for Oceanography hebben daarom een andere type ontwikkeld, dat door Guildline (de CTD-leverancier) gefabriceerd en op de markt gebracht wordt. In wezen is het een contact van een propje staalwol op een messing contactring. Het geheel bevindt zich in een laagje siliconen-olie.

De ervaringen opgedaan tijdens de vaartochten in 1975 t/m 1977 zijn zeer bevredigend te noemen.

Twee problemen met de slipringset hebben zich geopenbaard:

- als in het geperste propje staalwol de richting van de draadjes niet geheel optimaal is, kan door slijtage een draadje losschieten en dan soms aanleiding geven tot een -ongewenst- contact tussen twee naast elkaar gelegen contactringen en tot een verhoogde ruis.
- bij vier/hieuwsnelheden van ca. 1 m/sec en meer treedt toch nog enige variatie in de overgangsweerstand op die in het registratie-gedeelte als ruis geconstateerd wordt.

Gebleken is dat een lopende middeling van de resultaten (evt. reeds tijdens de gegevens-inzameling numeriek uit te voeren) deze ruis tot een fractie van het oplossende vermogen terug kan brengen en dat geen detailverlies hoeft op te treden, als de bemonsterings-snelheid hoog genoeg (ca. 5 - 10 Hz) is. Zie fig. 4.

#### 4. Registraties.

Uitgangspunten voor het vastleggen van de CTD-waarnemingen zijn tweërlei. Enerzijds is er de noodzaak om tijdens de meting een controle te hebben op de werking van het gehele systeem. Anderzijds is de omvangrijke gegevensstroom alleen langs machinale weg te hanteren zodat de meetresultaten ook in een voor computerverwerking geëigende vorm moeten worden vastgelegd.

Wil men reeds tijdens meetcampagnes de te volgen meettactiek kunnen aanpassen dan legt dit zekere voorwaarden op aan de vorm waarin de gegevens direct toegankelijk zijn.

Voorts zal de opzet voor het hele registratie-gedeelte zo moeten zijn dat storingen in onderdelen zonder ophoud opgevangen kunnen worden. M.a.w. in dit gedeelte van het gehele instrumentatie is met name flexibiliteit en een zekere (beperkte) mate van verdubbeling een belangrijke eis.

Tenslotte zal de nauwkeurigheid van de CTD-meter zonodig in (vrijwel) alle te kiezen registratie-vormen realiseerbaar moeten zijn, juist met het oog op de uitwisselbaarheid.

In fig. 5 is de gekozen opzet schetsmatig weergegeven. In de dekenheid zijn bij de fabricage twee soorten uitgangen voorzien: een zgn. datalogger- en een recorder-uitgang.

Op het KNMI is de eerste om redenen en op een wijze als in paragraaf 5 beschreven aangepast. De tweede is met een aantal regelbare versterkers en nulpuntsinstellingen uitgerust om aan een veelheid van recordergevoeligheden te kunnen aanpassen.

Beide groepen uitgangen worden in de KNMI opzet aan de ingangen van een kruisverdeler aangesloten.

De uitgangen van de kruisverdeler zijn verdeeld over de 8 ingangskanalen van een analoog-digitaal omzetter en de ingangen van 2 dubbelpenspapierrecorders en van een analoge X-Y recorder.

De A/D-omzetter is verder verbonden met een PDP8-minicomputer die de besturing voor de omzetting verzorgt, alsmede de gegevensopslag en een weergave op een incrementele X-Y plotter. (Dit computer-gedeelte zal in een apart verslag beschreven worden.)

Zoals uit fig. 5 is te zien, is ook de XBT-instrumentatie (zie paragraaf 8) in het kruisverdeler-systeem opgenomen. Ten behoeve van de bediening van het gehele systeem is nog een vier/hieuwsnelheids-indicator aanwezig, die tezamen met de druk (= diepte) ook bij de lierbediening zichtbaar gemaakt is.

Op welke wijze is nu aan de in het begin van paragraaf 4 genoemde uitgangspunten en eisen voldaan?

Met behulp van de kruisverdeler kan elk meet-kanaal (XBT, CTD-datalogger en CTD-recorder) aan elke registratiekanaal (8-kanaals-A/D converter, 2 dubbelpens- en X/Y recorder) verbonden worden.

Door geschikte combinaties van de gevoeligheidsinstellingen te kiezen is dus aan de eis van flexibiliteit en nauwkeurigheid te voldoen.

De bewaking van de juiste werking van het systeem gebeurt in 2 stappen:

- de registratie van de dubbelpensrecorders (zie fig. 6) geven een goed beeld van de kwaliteit van de analoge spanningen.
- de weergave (door de minicomputer) van de bewerkte, gedigitaliseerde gegevens, die aan het opslag-apparaat worden aangeboden, geschiedt op de X/Y plotter. Storingen in het digitale gedeelte komen hier tot uiting (behalve uiteraard in het opslag-gedeelte).

De beoordeling van de gekozen meettactiek - en de eventuele aanpassing - is vooral gebaseerd op de registraties van de (analoge) X-Y recorder (zie fig. 7).

Het te onderzoeken diepte-interval is hieruit direkt af te lezen, terwijl de weergave op de (digitale) X/Y plotter (zie fig. 8) vooral gehanteerd wordt bij de analyse van het tijdsverloop van de verschijnselen.

De registraties van de dubbelpensrecorders worden tijdens de controle van de vastgelegde gegevens gebruikt om de oorzaak van onregelmatigheden achteraf te kunnen opsporen. Daarom ook worden alle opmerkingen tijdens de meting op deze stroken genoteerd.

Mocht door een of andere oorzaak de gegevensopslag door de computer mislukt zijn, dan kan met behulp van b.v. een digitaal-tafel vanuit de recorderstroken alsnog een ponsband vervaardigd worden, zonder veel nauwkeurighedsverlies, als de recorders op een voldoende gevoeligheid waren ingesteld ( $0,01^{\circ}\text{C}$ ,  $0,02$  o/oo en  $1$  dbar zijn realiseerbare marges).

Tenslotte zij nog opgemerkt dat de kruisverdeler als kern voor de gekozen opstelling bijzonder goed blijkt te voldoen en van voldoende omvang is om aan toekomstige wensen plaats te kunnen bieden.

## 5. A/D conversie.

### 5.1. Eisen en uitgangspunten.

De eisen die aan de snelheid en de nauwkeurigheid van een analoog-digitaal omzetter gesteld moeten worden, zijn rechtstreeks uit de specificaties van de sensoren (zie paragraaf 2) af te leiden:

- de langzaamste sensor heeft een responsietijd van 50 msec of minder, zodat een bemonsteringsfrequentie van tenminste 20 à 25 maal per seconde realiseerbaar moet zijn zonder nauwkeurighedsverlies
- het oplossend vermogen van de sensoren is -uitgedrukt in spanning-

|                |          |
|----------------|----------|
| temperatuur    | 0,0003 V |
| conductiviteit | 0,0004 V |
| druk           | 0,0005 V |

Het oplossend vermogen van de A/D omzetting zal dus kleiner moeten zijn dan 0,3 mV om te bereiken dat de sensoren en niet de A/D-conversie de uiteindelijke nauwkeurigheid in de digitaal vastgelegde gegevens bepalen.

Daarnaast moet nog rekening gehouden worden met het spanningsbereik van de verschillende meetkanalen:

|   |      |   |      |
|---|------|---|------|
| T | -0.2 | - | +3 V |
| C | -4   | - | +4 V |
| D | 0    | - | +2 V |

Wil men te verwachten verbeteringen (met name voor de temperatuur is een verbetering tot  $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$  en een responsietijd van 5 à 10 msec binnen de grenzen van wat zinvol en mogelijk is) in de nabije toekomst ook binnen dit systeem kunnen realiseren, dan resulteert als eis:

- een nauwkeurigheid van 1 op ca. 32000 (komt overeen met 15 bits)
- een bemonsteringsfrequentie van tenminste 50 maal per seconde.

De besturing van de A/D omzetter zal moeten kunnen geschieden vanuit een reeds aanwezig PDP 8/E minicomputersysteem.

### 5.2. Apparaatskeuze.

Uitgaande van bovengeschetste specificatie is gezocht naar apparatuur, die met een minimum aan ontwikkelingswerk voor de noodzakelijke aanpassingen aan alle eisen en wensen voldeed.

- Een tweetal oplossingen is daarna in detail onderzocht, t.w.:
- een opzet samen te stellen uit bouwstenen van de firma Digital Equipment Corp (DEC, de PDP8 leverancier)
  - een A/D converter-systeem van het type Analogic AN5800, aan te vullen met een aanpassing van de meetkanalen.

Bij de definitieve keuze voor de laatste oplossing hebben met name de marginale nauwkeurigheid en de complexiteit van de oplossing met DEC-onderdelen de doorslag gegeven.

### 5.3. Analogic AN5800 data conversie-systeem.

Het gekozen Analogic AN5800 A/D conversie-systeem is modulair van opbouw.

D.w.z. binnen één en dezelfde behuizing kan door geschikte keuze van de diverse onderdelen een apparaat opgebouwd worden, dat aangepast is aan de eisen van de gebruiker.

Voor de in dit verslag beschreven opzet, bestaat het systeem uit (zie fig. 9)

- een 8-kanaals differentiele multiplexer-vertersterker type AN215
- een 15-bit A/D converter type AN2715M
- een computer interface en controller, die speciaal voor koppeling aan de PDP8 ontworpen is.

De belangrijkste karakteristieken van dit systeem zijn:

- spanningsbereik 0 - +10V
- 15-bits d.w.z. oplossend vermogen 0,30518 mV
- stabiliteit over 24 uur 0,3 mV
- snelheid max. 40.000 conversies per seconde
- ingangsweerstand 2000 M $\Omega$
- overdracht van 15-bits-resultaat naar 12-bits PDP8 in 2 stappen onder programmabesturing.

In een afzonderlijk verslag over de programmatuur zal nader op de besturing van multiplexer en A/D converter worden ingegaan.

#### 5.4. Aanpassing van de meetkanalen.

Zoals uit de gegeven karakteristieken van het A/D omzettingssysteem blijkt, is er een belangrijk verschil in meetbereik:

|   |      |        |     |            |
|---|------|--------|-----|------------|
| T | -0,2 | - +3 V |     |            |
| C | -4   | - +4 V | A/D | 0 - + 10 V |
| D | 0    | - +2 V |     |            |

Als eerste valt dan op dat de A/D omzetter niet geschikt is voor negatieve spanningen. Ten tweede blijkt de omvang in absolute maat groter te zijn dan voor elk van de sensoren nodig is. Koppelt men nu dit laatste gegeven aan de in paragraaf 5.1. genoemde eis dat het oplossend vermogen van de A/D-conversie beter moet zijn dan van de sensoren, dan komt men tot de volgende oplossing voor de aanpassing tussen de CTD-signalen en de A/D-omzetter:

In elk van de meetkanalen wordt een vaste referentie-spanning ("offset") toegepast gevolgd door een -eveneens vaste- versterking. Aan de stabiliteit van zowel de referentiespanningen als de versterkingsfactoren worden uiteraard hoge eisen gesteld.

De spanningsbron in de CTD-dekeenheid bleek van zo goede kwaliteit en stabiliteit dat de aanpassingen en de bijbehorende afregelingen in deze dekeenheid zijn ondergebracht (vgl. paragraaf 4 en fig. 5).

##### 5.4.1. De temperatuur-aanpassing.

In het temperatuur-kanaal zijn een referentiespanning van -0,2 V en een versterkingsfactor van 3,0518 gebruikt.

Daardoor is het effectieve oplossende vermogen op 0,001 graad gebracht met behoud van het volle bereik van -2 - +30°C.

##### 5.4.2. De conductiviteitsaanpassing.

Voor oceanische omstandigheden, d.w.z. buiten de directe kustzone en buiten de invloed van (smeltend) zee-ijs is de variatie in het zoutgehalte zodanig beperkt dat de meetspanning in het conductiviteitskanaal niet buiten het gebied -2 - +1,3 V komt.



Daarom wordt in dit meetkanaal een referentiespanning van -2V en een versterkingsfactor 3,000 gebruikt.

Daardoor is een bereik voor de geleidendheidsverhouding  $R_{CTD}$ , van 0,5 - 1,3 mogelijk bij een effectief oplossend vermogen van  $2 \times 10^{-5}$ .

Om echter ook het volle bereik van de sensor te kunnen gebruiken is ook de mogelijkheid van een referentiespanning van -4V met een versterkingsfactor van 1,25 aanwezig.

Het effectief oplossend vermogen bedraagt in dat geval  $6 \times 10^{-7}$  in  $R_{CTD}$ .

#### 5.4.3. De aanpassing in het drukkanaal.

In het druk-kanaal zijn een referentiespanning van 0V en een versterkingsfactor van 3,0518 gebruikt. Het bereik blijft daarvoor 0-2000 dbar met een effectief oplossend vermogen van 0,1 dbar.

## 6. IJkingen.

Waar uit het voorgaande blijkt, dat zeer hoge eisen aan nauwkeurigheid en stabiliteit van het meet- en registratiesysteem gesteld worden, is het nodig tevens na te gaan in hoeverre de karakteristieken van de verschillende elementen in de tijd veranderen.

Om dit na te gaan zijn -en worden- de volgende controles met enige regelmaat uitgevoerd.

- Nadat de weerstand van de thermometer éénmaal door de Dienst van het IJkwezen over het gehele relevante bereik geijkt is, wordt tenminste jaarlijks het ijspunt (de weerstand bij 0°C) gecontroleerd. Verder wordt tijdens een vaartocht een paar maal een vergelijking met betrouwbaar gebleken omkeerthermometers uitgevoerd.

Tot nu toe is het verloop van de nulpuntsweerstand niet groter gebleken dan het oplossend vermogen.

- De resultaten van de gemeten conductiviteit worden enkele malen per vaartocht vergeleken met waterschepper-monsters.

Binnen het oplossend vermogen van de sensor is de overeenstemming, uitgaande van de door de fabriek opgegeven ijkfactor, steeds goed geweest.

- Voor de druk is met de aanwezige middelen alleen een vergelijking met de thermometrische diepte (berekend uit het verschil tussen beschermde en onbeschermde kantelthermometers) mogelijk. Daaruit is geen reden voor twijfel aan de fabrieksijking gebleken.
- De aanpassingsversterkers en de registratie-apparatuur wordt getest door in plaats van de CTD-meter een geijkte spanningsbron op de CTD-dekeenheid aan te sluiten.

Gebleken is dat na een opwarm-periode van ca. 24 uur voor met name de aanpassingsversterkers geen noemenswaard verloop optreedt en dat alle aflezingen binnen de nauwkeurigheidsgrenzen blijven die voor de CTD-sensoren gelden.

Bij een spanningsonderbreking van langere duur moet opnieuw een opwarm/controle periode in acht genomen worden van tenminste 12 uur teneinde aan de specificaties te voldoen.

## 7. XBT-Instrumentatie.

Zoals reeds in de inleiding uiteengezet is, levert een CTD-meter gehanteerd vanaf een drijvend schip slechts informatie over de verticale verdeling van temperatuur en zoutgehalte op één plaats.

Het is derhalve uit overwegingen van een economisch gebruik van scheepstijd nodig om het uit een -beperkt- aantal van dergelijke CTD-metingen verkregen beeld te verfijnen in de ruimte door tijdens de vaart aanvullende informatie te verzamelen.

Hiervoor is een eenvoudig instrument als de XBT (Expendable Bathy Thermograph) bij uitstek geschikt.

Weliswaar wordt geen zoutgehalte-meting gedaan, maar deze grootte is -uitzonderingen daargelaten- veel minder aan variatie onderhevig dan de temperatuur.

Ook is de absolute nauwkeurigheid van een XBT minder dan van een CTD-meter, nl. ca.  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

De snelheid waarmee een beeld van de ruimtelijke verdeling van menglaag-dikte en -temperatuur wordt verkregen, weegt echter duidelijk op tegen de genoemde bezwaren.

Aangezien slechts één fabrikant de benodigde apparatuur vervaardigt, is geen keuze mogelijk.

Wel is bij de recorder als aanvulling een analoge uitlezing besteld die via de in paragraaf 4 beschreven kruisverdeler met de A/D omzetter voor computer-verwerking toegankelijk is.

## 8. Ervaringen.

Probeert men de ervaringen met de beschreven apparatuur opgedaan tijdens de eerste 4 vaartochten samen te vatten, dan kan zonder meer gesteld worden dat die gunstig tot zeer gunstig zijn.

Van de geconstateerde problemen is steeds de oorzaak opgespoord en verholpen kunnen worden.

Op slechts twee punten bleken nadere voorzieningen nodig:

- de sleeprijngset introduceert bij vier/hieuwsnelheden van ca. 1 m/sec en meer een ruissignaal in alle meetkanalen.

Een numeriek filter (nl. lopend middelen) in het inzamelprogramma of achteraf, gecombineerd met een voldoende hoge bemonsteringsfrequentie, is hiertegen een voldoende remedie.

- De A/D-converter geeft als eerste resultaat na een verandering van het bemonsterde kanaal in de multiplexer, een niet geheel betrouwbaar resultaat. Het is gebleken, dat een herhaalde omzetting op hetzelfde kanaal, een resultaat geeft dat binnen alle eisen van nauwkeurigheid en oplossend vermogen ligt. Een overeenkomstige voorziening is in het inzamelingsprogramma van de PDP opgenomen.

Over de XBT-instrumentatie moet nog worden opgemerkt, dat -ook naar de ervaring van b.v. de Kon.Marine- zelfs bij varend schip aardingsproblemen kunnen optreden die wellicht veroorzaakt zouden kunnen worden door contactpotentiaalverschillen tussen de weglopende draad en het schip en die in de registraties als stoorpulsen te voorschijn komen. Dit lijkt bij ca. 10% van de (wegwerp-) "probes" voor te komen zonder duidelijke oorzaak en ook zonder bekende remedie.

Tenslotte kan gesteld worden dat het consequent vasthouden aan de oorspronkelijke nauwkeurigheidsspecificaties geleid heeft tot een systeem waarvan de resultaten aan alle te stellen eisen blijken te voldoen.

Het zal duidelijk zijn dat buiten de schrijver vele anderen in belangrijke mate hebben bijgedragen tot de in dit verslag beschreven werkzaamheden: binnen het K.N.M.I.: technici en oceanografische medewerkers van O.O. en mensen van INSA, MBW en CWD (Cumulus), daarbuiten mensen van de Koninklijke Marine (Hr.Ms. Tydeman).

Referentias.

- Woods, J.D., 1977: Information theory related to experiments in the upper ocean  
Hfdst. 15 in: Modelling and prediction of the ocean ed. E.B. Kraus, Pergamon Press..
- Pollard, R.T., 1975, in: The Joint Air-Sea Interaction Project, pp. 75-85  
The Royal Society, London.
- Dantzler, H.L., 1974, Dynamic salinity calibrations of continuous salinity/temperature/depth data,  
Deep-Sea Res. 21, 675-682.

## Figuren.

- Fig. 1. Verschillende methoden om informatie over de oceanische menglaag te verzamelen:
- a. CTD/STD meter vanaf drijvend schip
  - b. CTD/STD meter gesleept door varend schip (Batfish)
  - c. Thermistor-ketting vanaf drijvend schip of verankerd onder een (onderwater-) boei
  - d. Thermistor-ketting gesleept door varend schip.
- Fig. 2. De conductiviteitscel in de Guildline CTD-meter.
- Fig. 3. Doorsnede van Amergraph 7J30SB-MI kabel.
- Fig. 4. Plot van temperatuur tegen diepte voor en na numerieke filteren i.v.m. slipringen.
- Fig. 5. Registratie-systeem.
- Fig. 6. Recorderstroken van station 105/8 voor
- a. T en D tegen de tijd
  - b. T en C tegen de tijd
- Fig. 7. Registratie op X-Y recorder voor station 105/8. T als functie van D, waarbij elke volgende waarneming verschoven is.
- Fig. 8. Weergave door de computer op de X/Y plotter van het verloop met de tijd van de diepte van een aantal temperatuurvlakken. Station 771/34.
- Fig. 9. Schematische opzet van de A/D omzetter.

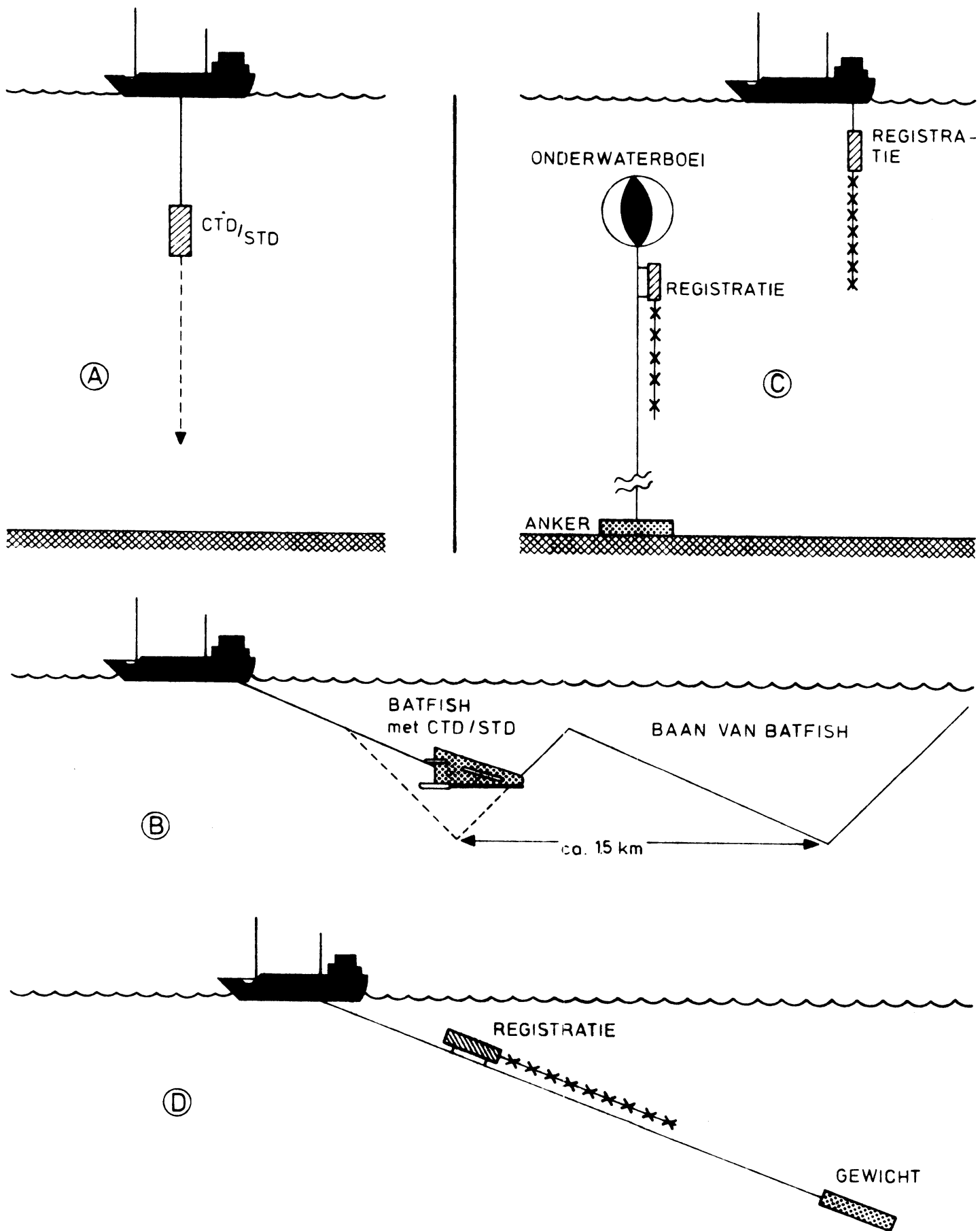


Fig. 1

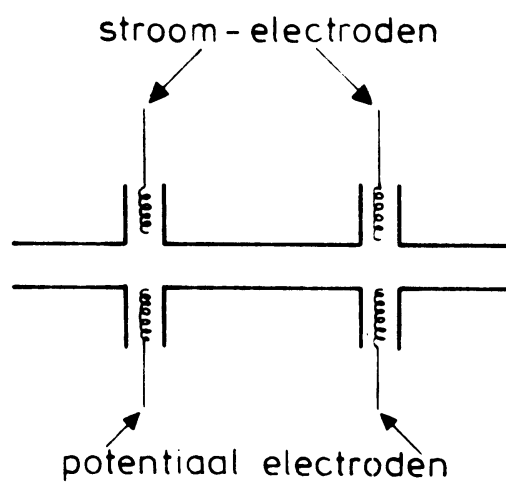


Fig. 2



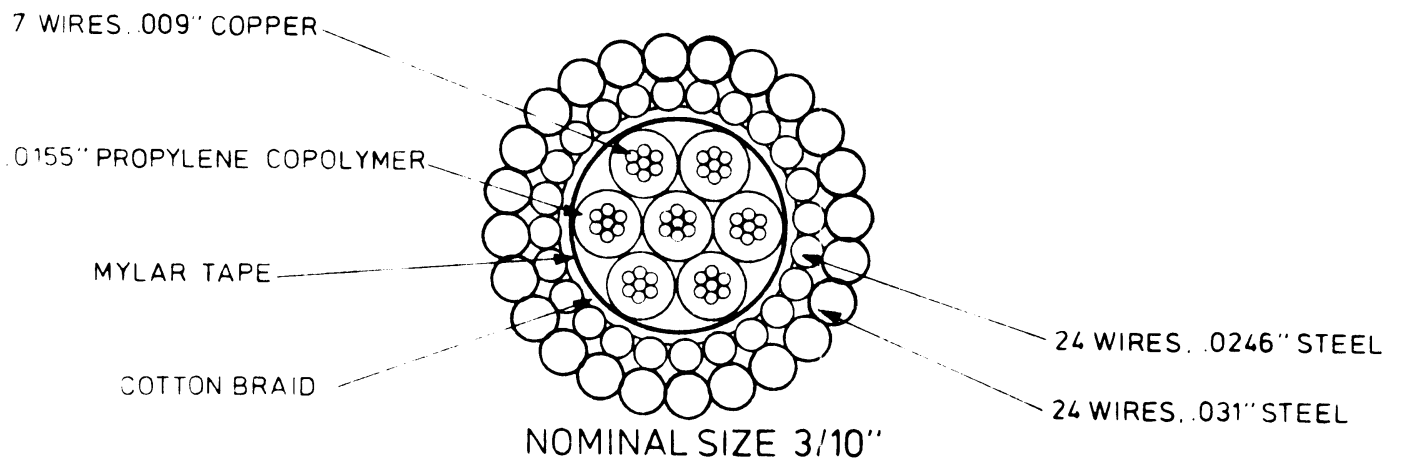
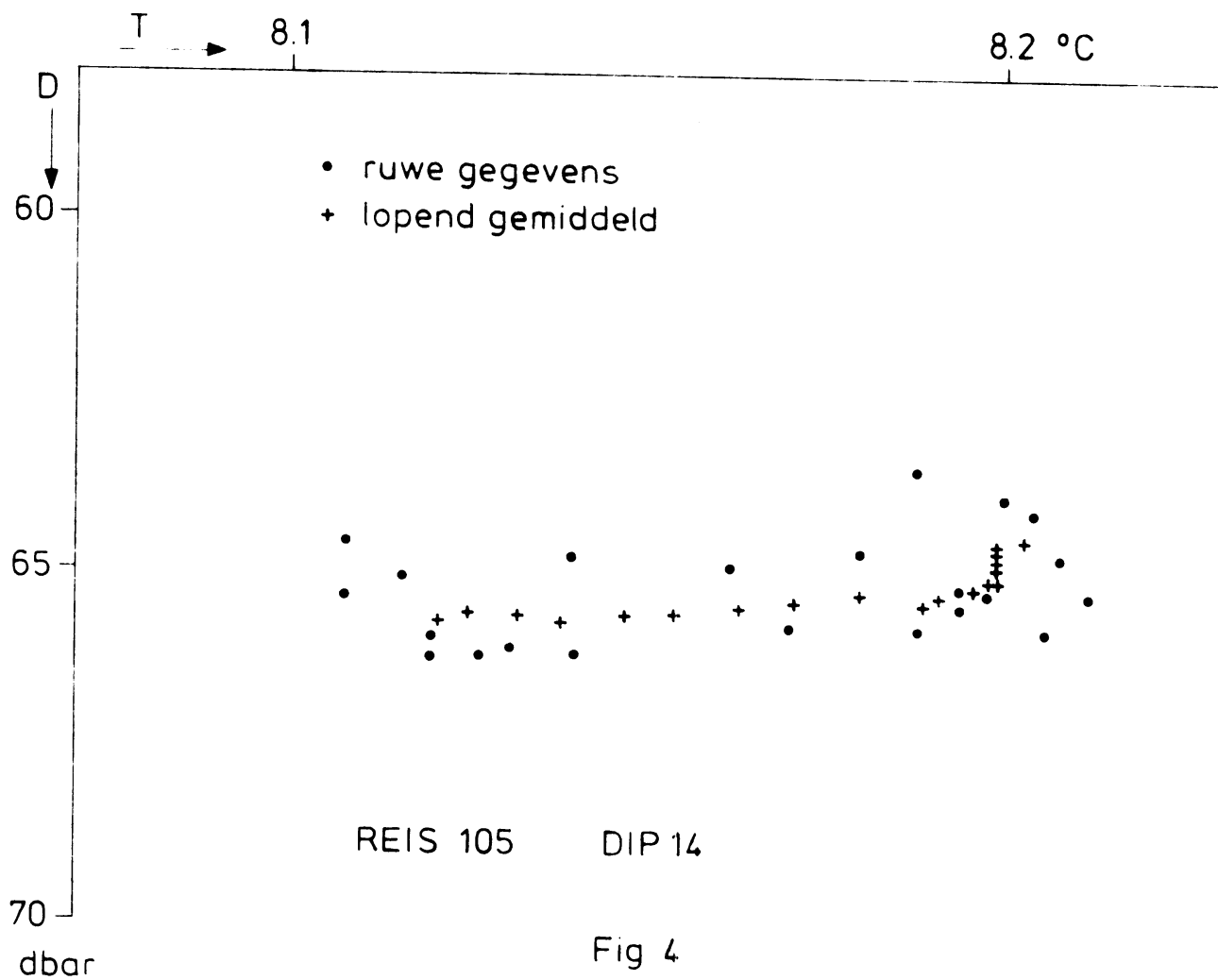


Fig. 3



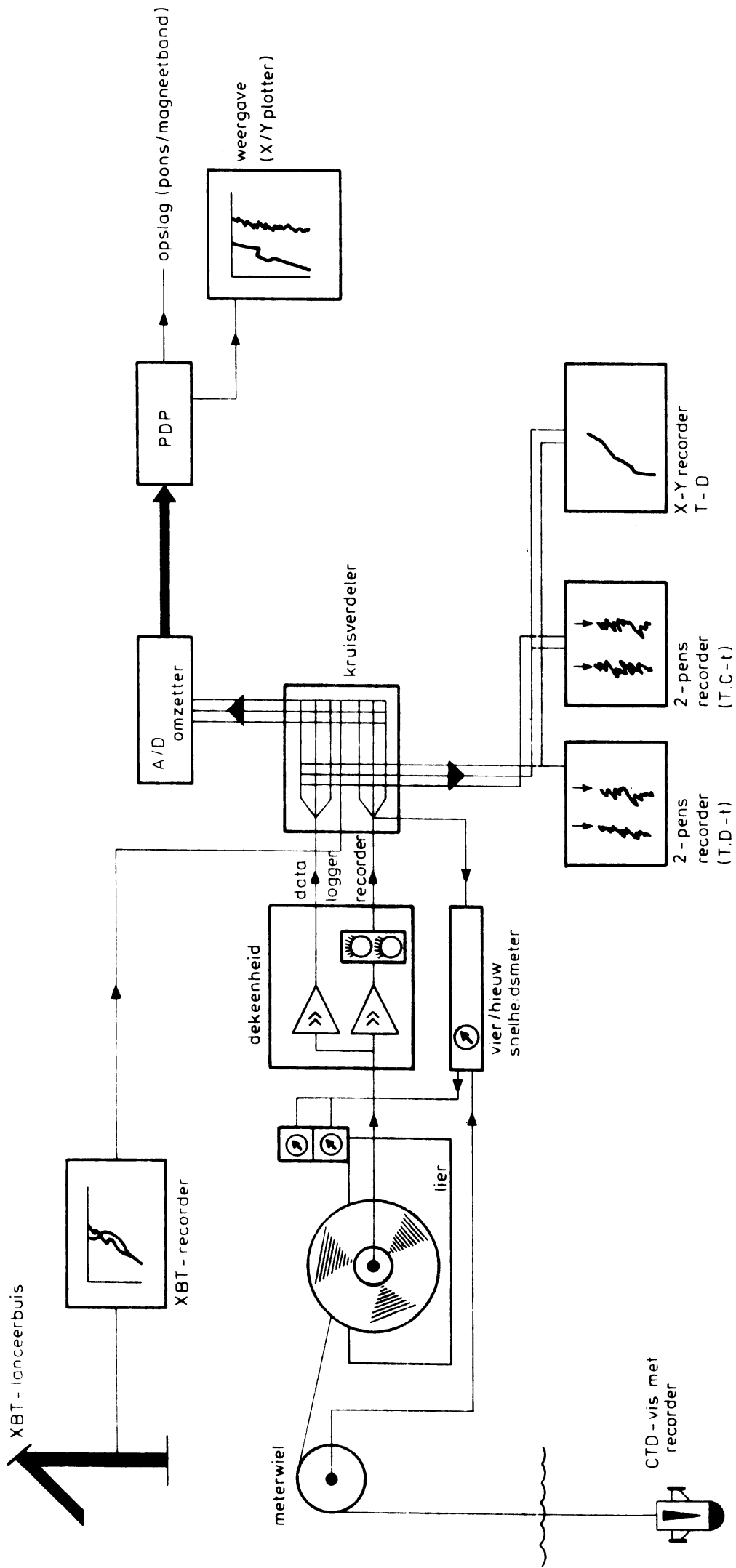


Fig. 5

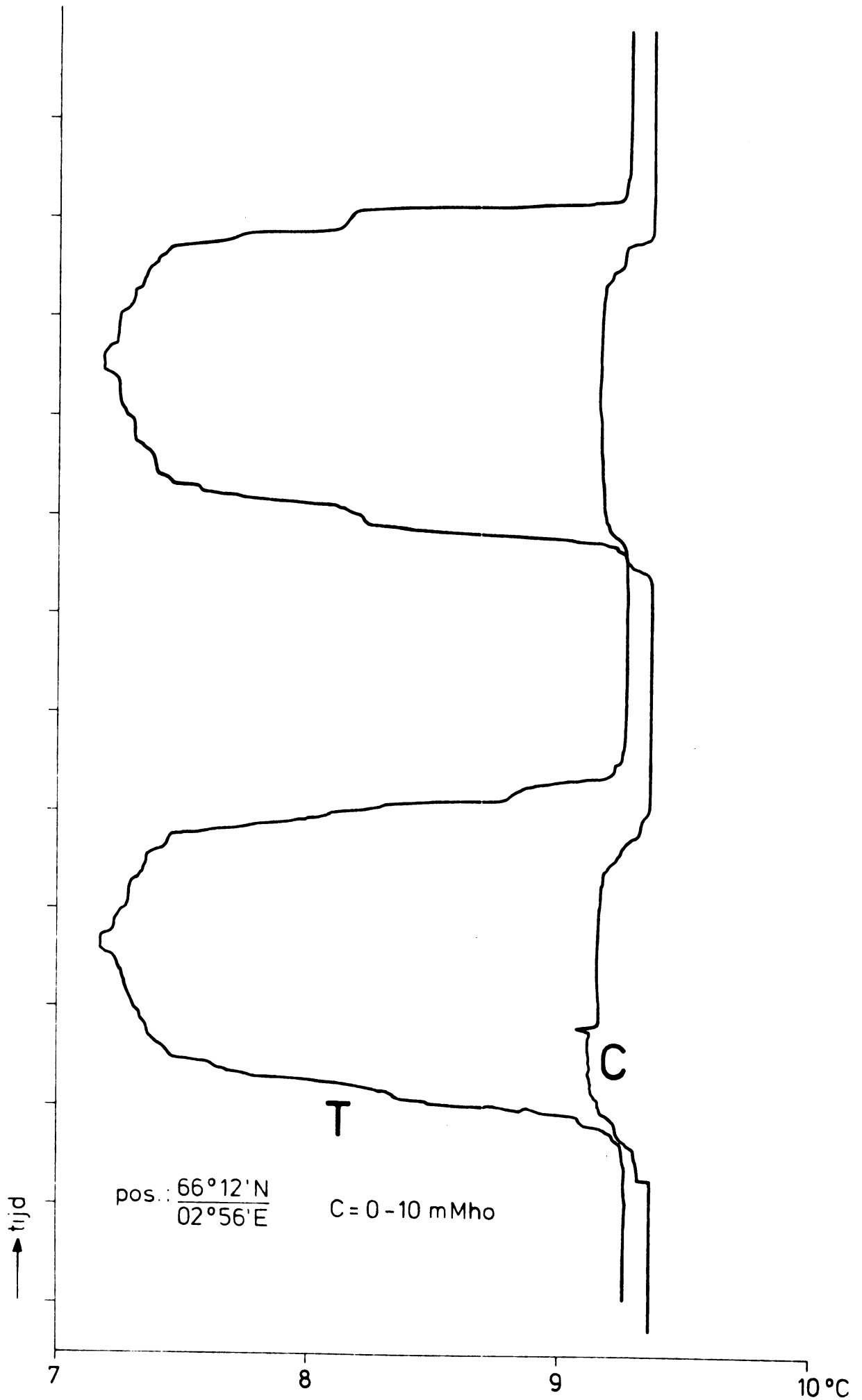
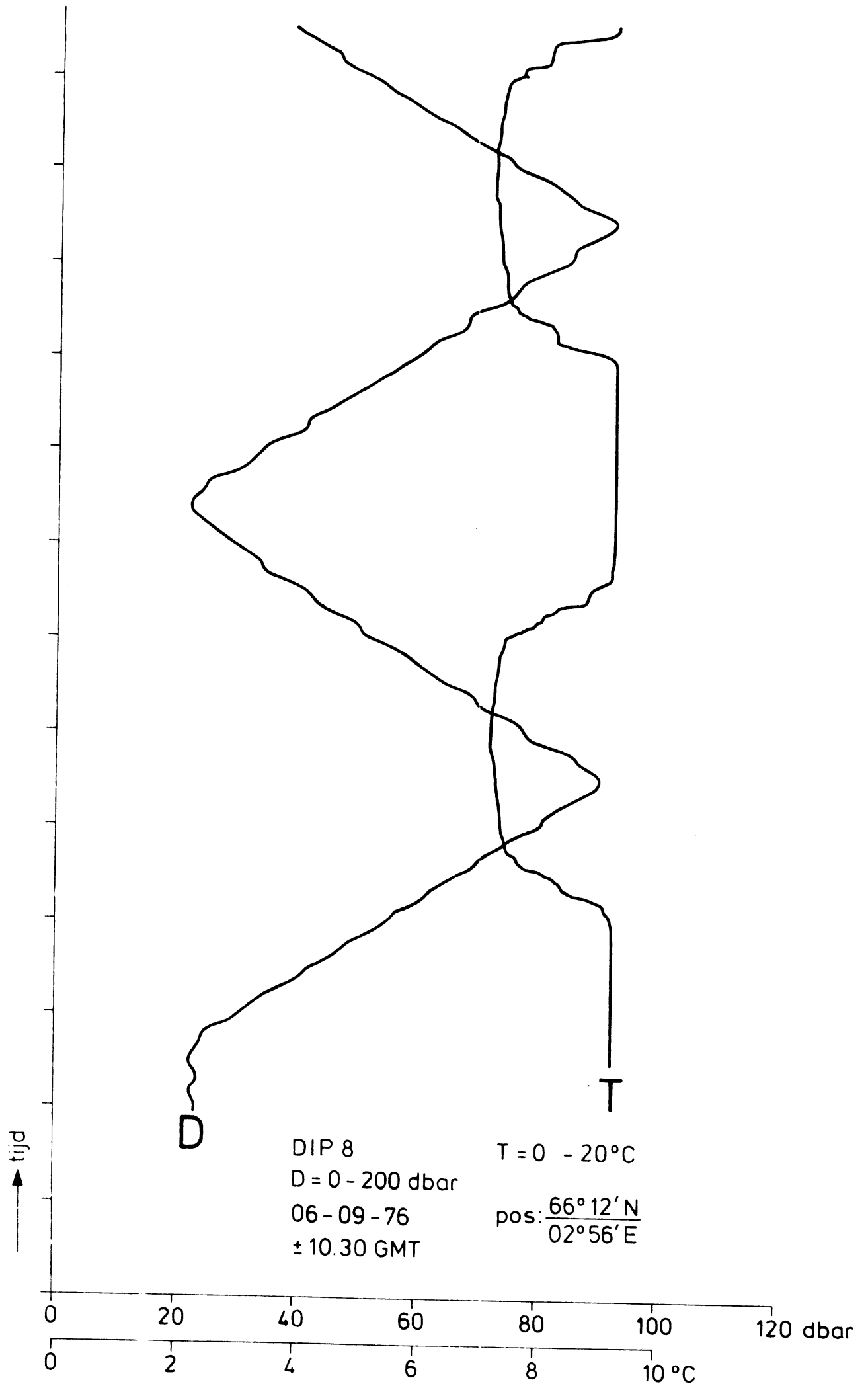


Fig. 6



DIP 8 1° GED. 06-09-76 ± 10.30 GMT

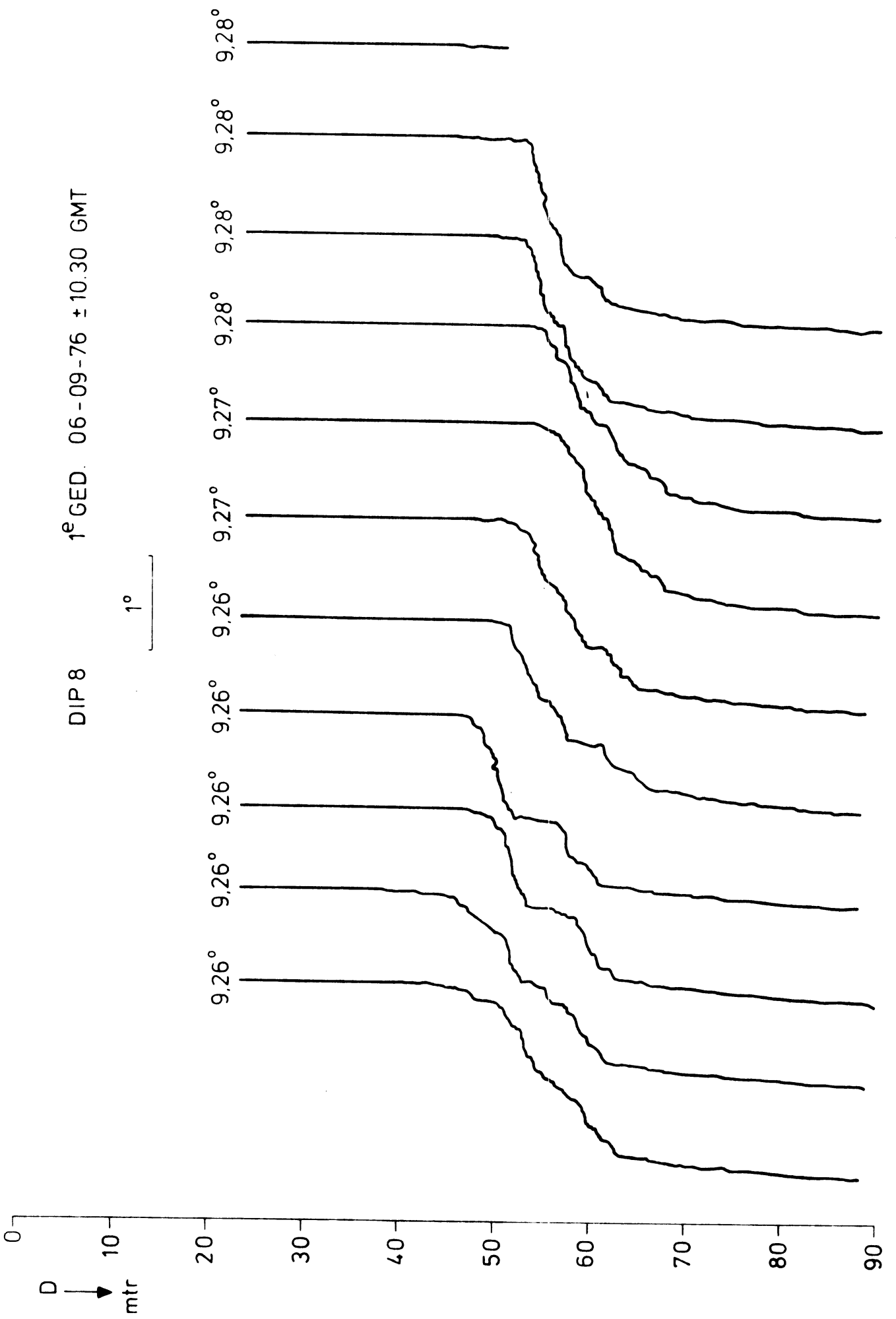


Fig 7

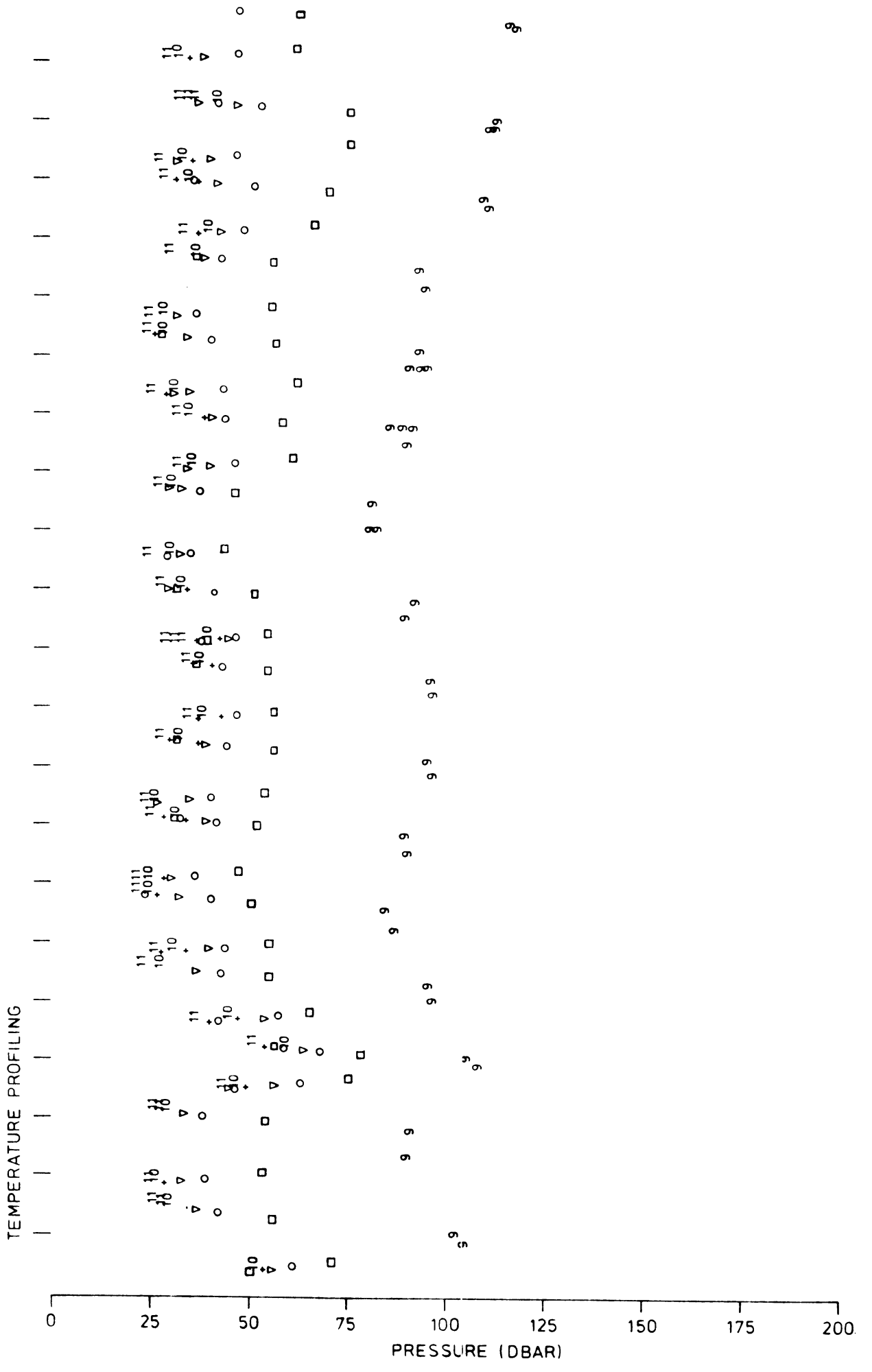


Fig. 8

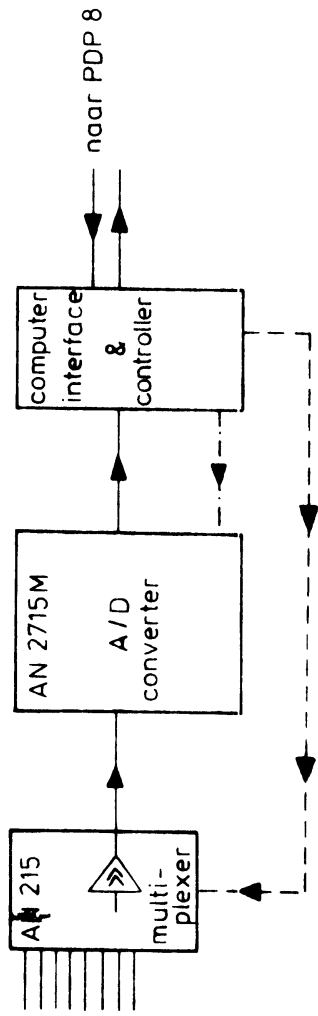


Fig. 9