

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

O-112/74

STRØM- OG SIKTNINGSMÅLINGER VED RAFNES, BAMBLE

Rapport 1. Tidligere undersøkelser

- rapport fra fase 1, vintersituasjonen

Saksbehandler: cand.real. Jarle Molvær

Medarbeider : tekn. assistent Frank Kjellberg

Rapporten avsluttet: 30. mai 1975

## F O R O R D

*Foreliggende rapport er utarbeidet etter oppdrag fra I/S Miljøplan som et ledd i vurderingen av utslippssted og innlagringsdyp for avløpsvann fra den planlagte petrokjemiske industri i Bamble.*

*Rapporten gir en oversikt over de strøm- og sjiktningmålinger Norsk institutt for varmforskning (NIVA) utførte i Frierfjorden februar-mars 1975, samt en sammenstilling av tidligere utførte hydrofysiske målinger i området. Gjennomføringen av oppdragets fase 2: undersøkelsen av vår-sommersituasjonen er også vurdert.*

*Porsgrunn Havnevesen takkes for velvillighet ved leie av båt og annen hjelp til gjennomføring av undersøkelsene.*

*Blindern 30. mai 1975*

*Jarle Molvær*  
Jarle Molvær

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
FIGURFORTEGNELSE	4
1. INNLEDNING	6
2. TIDLIGERE HYDROFYSISKE MÅLINGER I FRIERFJORDEN	7
3. VINTERSITUASJONEN 1975	10
3.1 Utført feltarbeid	10
3.2 Foreløpig vurdering av måleresultatene	11
4. GJENNOMFØRING AV FASE 2, VÅR-SOMMERSITUASJONEN	13
4.1 Hydrografi	14
4.2 Strømmålinger	14
5. ØKONOMI	15
5.1 Hydrografi	15
5.2 Strømmålinger	16
5.3 Rapportering	16
6. REFERANSER	16

FIGURFORTEGNELSE

- Figur 1 Område for resipientundersøkelse av Skiensvassdragets fjordområder
- Figur 2 Langsgående dybdesnitt. Frierfjorden - Langesundsbukta
- Figur 3 Overflatevannets saltholdighet og spranlagets beliggenhet målt på en stasjon midt i Frierfjorden i perioden 1961-62. Samtidig er vannføringen i Skienselva i samme periode tegnet inn (fra Brækken 1966)
- Figur 4 Overflatevannets saltholdighet målt i Frierfjorden og i Breviksfjorden i perioden 1961-62 (fra Brækken 1966)
- Figur 5 Oversikt over overflatestrømmer i Frier- og Langesundsfjorden (fra VHL 1965)
- Figur 6 Frierfjorden mai 1967. Målinger av strøm og saltholdighet (etter VHL 1967)
- Figur 7 Estimert innblanding i prosent av ellevann i Frierfjorden, november 1966-november 1967 (etter Carstens 1970)
- Figur 8 Vannføring fra Skienselva tilført Frierfjorden, november 1966-november 1967 (etter Carstens 1970)
- Figur 9 Tykkelse av øvre lag i Frierfjorden november 1966-november 1967 (etter Carstens 1970)
- Figur 10 Hydrografiske stasjoner i utslippsområdet
- Figur 11 Stasjoner for orienterende pendelstrømmålinger
- Figur 12 Stasjoner for kontinuerlige strømmålinger
- Figur 13 St. H2. Vertikal tetthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 13.2. og 17.3.1975
- Figur 14 St. H5. Vertikal tetthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 13.2. og 17.3. 1975
- Figur 15 St. H2. Vertikal temperaturfordeling 13.2. og 17.3. 1975
- Figur 16 St. H5. Vertikal temperaturfordeling 13.2. og 17.3. 1975

- Figur 17 St. H8. Vertikal temperatur- og tetthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 17.3. 1975
- Figur 18 Saltholdighetsprofil (‰) ved st. H4-H6 13.2. 1975
- Figur 19 Saltholdighetsprofil (‰) ved st. P7-P9 14.2. 1975
- Figur 20 St. P2, 14.2. 1975 kl. 1300. Strømretning og hastighet i måledypene
- Figur 21 St. P5, 14.2. 1975 kl. 1130. Strømretning og hastighet i måledypene
- Figur 22 St. P8, 14.2. 1975 kl. 1155. Strømretning og hastighet i måledypene
- Figur 23 St. P2 14.2. 1975 kl. 1300. Måling av strøm og saltholdighet. Strøm dekomponert langs  $105^\circ(+)$  -  $285^\circ(-)$
- Figur 24 St. P5 14.2. 1975 kl. 1130. Måling av strøm og saltholdighet. Strøm dekomponert langs  $160^\circ(+)$  -  $340^\circ(-)$
- Figur 25 St. P8 14.2. 1975 kl. 1155. Måling av strøm og saltholdighet. Strøm dekomponert langs  $155^\circ(+)$  -  $335^\circ(-)$
- Figur 26 St. P10 14.2. 1975 kl. 1545. Måling av strøm og saltholdighet. Strøm dekomponert langs  $120^\circ(+)$  -  $300^\circ(-)$
- Figur 27 Hastighetsprofil (cm/sek) ved st. P4-P6, 14.2. 1975. Strøm mot  $160^\circ$  positiv, strøm mot  $340^\circ$  negativ
- Figur 28 Hastighetsprofil (cm/sek) ved st. P7-P9 14.2. 1975. Strøm mot  $155^\circ$  positiv, strøm mot  $335^\circ$  negativ
- Figur 29 Kart over Frierfjorden med posisjonsangivelse for strømmålere

## 1. INNLEDNING

I møte hos Hydro Engineering den 6/12 1974, med deltakere fra Norsk Hydro A.S., Statens forurensningstilsyn, I/S Miljøplan, Norsk Teknisk Byggekontroll A.S og NIVA, var det enighet om at innlagring under brakkvannslaget er en nærliggende disponeringsmåte for alle former for avløpsvann fra de petrokjemiske anlegg i Bamble (I/S Miljøplan 1974).

Det var videre enighet om at for enkelte typer avløpsvann der kunnskapene om omsetning og nedbrytning er utilstrekkelige, bør tilstrebes innlagring i intermediære vannlag på en måte som sikrer størst mulig fortykning og lengst mulig oppholdstid av de forurensende stoffer innen disse fraktes ut av Frierfjorden. Dette er ønskelig for å beskytte de utenforliggende fjordområder mot ytterligere forurensning. Denne målsetting vil ikke bli videre vurdert i denne rapport.

Formålet med strøm- og sjiktningundersøkelsene er dermed å fremskaffe de nødvendige data for å oppnå innlagring av avløpsvann, samt kartlegge strømforholdene i utslippsområdet med sikte på å finne egnede utslippsteder og utslippsdyp.

Denne rapporten er skrevet for å:

1. Gi en kortfattet oversikt over tidligere utførte hydrografiske undersøkelser i Frierfjordområdet, og trekke fram resultater som kan være av verdi for det fortsatte arbeidet på dette oppdraget.
2. Gi en oversikt over de hydrografiske undersøkelser utført utenfor Rafnesområdet vinteren 1975, samt presentere en del data.
3. På grunnlag av pkt. 1 og 2 vurdere gjennomføringen av måleprogrammets fase 2: undersøkelse av strømforhold og lagdeling i Frierfjorden under en vårsituasjon.

En fullstendig rapport vil bli laget etter at undersøkelsens fase 2 er avsluttet, og vil foreligge i oktober 1970.

## 2. TIDLIGERE HYDROFYSISKE MÅLINGER I FRIERFJORDEN

Frierfjorden (se figur 1) består av et relativt vidt og dypt (maks. dyp ca. 96 m) fjordbasseng som i sør smalner av og har forbindelse med de utenforliggende fjordområder gjennom Brevikstrømmen med minste dyp 20 m og bredde ca. 220 m. Et langsgående dybdesnitt av Frierfjorden de utenforliggende fjordområder er vist i figur 2.

Frierfjordens vannmasser er karakterisert av et nesten ferskt, hurtig strømmende overflatelag av varierende tykkelse (oftest 1-8 m), og et overgangslag (sprangsjikt) som skiller overflatelaget fra et underliggende intermediært lag. Det intermediære vannlaget når ned til 30-35 m, og under dette ligger det ofttest stagnante dypvannet. Fjordens tilførsel av ferskt vann fra Skienselva er i middel ca.  $330 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De tidligste data om hydrografi i Frierfjorden skriver seg fra 1897-91 (Hjort og Gran 1900). Referansemateriale fra henholdsvis 1924 og 1933 fins i Dannevig(1930) og Strøm(1936). Spredte hydrografiske data ble innsamlet i 1950-årene (Kielland 1952), men det er særlig i forbindelse med økende bevissthet om følgene av fjordsystemets utnyttelse som resipient at det har blitt utført til dels omfattende undersøkelser av forskjellige forhold. En sammenstilling av de resultatene som er mest aktuelle for vannutskiftningsforhold og forurensningstilstand er gitt i NIVA(1973). I det følgende vil det bli presentert de resultater som særlig vil være av betydning for vurdering av strøm- og sjiktningsforholdene utenfor Rafnes.

Brækken(1966) målte forskjellige hydrografiske parametre og observerte deres variasjon i tidsrommet september 1961-august 1962. Undersøkelsen bygger i hovedsaken på målinger fra fire stasjoner, hvorav én stasjon midt i Frierfjorden mellom Herøya og Rafnes, én stasjon ved Saltbua i søndre del av Frierfjorden, én i Brevikstrømmen og én stasjon i Brevikfjorden.

Brækkens målinger viste at temperaturen i Frierfjorden varierte kraftig gjennom året i de øvre 30-35 m. I dypvannet ble det derimot registrert små variasjoner i temperaturen. Bunntemperaturen varierte mellom 5,72 og 5,95 °C.

Det ble påvist vann med saltholdighet fra 0 til 8 ‰ i overflaten gjennom hele undersøkelsesåret, med unntak av 23/2-62. Overflatelaget varierte i tykkelse og ble funnet ned til 6,5 m dyp i sommerhalvåret. Sprangsjiktet varierte fra 1,5 til 3,5 m i tykkelse med saltholdighet mellom 8 og 20 ‰. Beliggenheten av sprangsjiktet hadde en klar sammenheng med vannføringen i vassdraget, som det vil fremgå av figur 3. Det ble presset lengst ned når vannføringen i Skienselva var størst, mens sjiktet lå nær overflaten i årets første kvartal.

Brakkens observasjoner viste at den største økningen i overflatevannets saltholdighet fant sted i nedre del av Skienselva eller like utenfor dens munning. I selve Frierfjorden var det liten stigning utover i fjorden, men saltholdigheten økte etter passering av Brevik. Disse forholdene gjorde seg gjeldende gjennom hele året, som vist på figur 4. Tilsvarende observasjoner er likeledes gjort i 1952 (Kielland 1952).

Brakken fant videre at det intermediære vannlag ned til ca. 35-40 m dyp var sterkt utviklet i sommermånedene, men svant inn til nesten ingenting i tiden oktober-februar. Saltholdigheten i dette laget varierte her mellom 20 ‰ og 33 ‰. I dypvannet lå saltholdigheten stort sett mellom 33 ‰ og 34 ‰.

Innstrømninger over terskelen ble påvist i februar og mai 1962, og fornyet vannmassene ned til henholdsvis ca. 35 m og ca. 70 m. Under ca. 70 m ble det hele tiden registrert hydrogensulfid ( $H_2S$ ).

Brakken vurderte også hyppigheten av utskiftninger av Frierfjordens dypvann, og konkluderte med at disse trolig skjer med ikke særlig lange mellomrom.

Statens biologiske stasjon, Flødevigen, har i tidsrommet 1952-1972 tatt vannprøver i Frierfjorden/Langesundsfjorden. Prøvene er analysert på temperatur, saltholdighet og oppløst oksygen, og er presentert av Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt (Danielsen og Føyn 1973). Undersøkelsene er vesentlig blitt foretatt om høsten, og de hydrografiske data gir ikke tilstrekkelig grunnlag for en fullstendig beskrivelse av vannutskiftningen i fjordområdene. Målingene viste bl.a. det som har kommet



tydelig fram ved andre observasjoner, nemlig at pga. den store ferskvannstilførsel var saltholdigheten i overflatelaget liten, i 0 m dyp sjelden over 5-6 ‰ om høsten. Saltholdigheten på 10 m dyp derimot, var i alle observerte år over 20 ‰, som regel mellom 25 og 30 ‰.

I samme rapport ble også påvist en intermediær innstrømming av vann over Brevikterskelen (september 1957) og fullstendig utskiftning i Frierfjordens dypvann (våren 1972).

Vassdrags- og Havnelaboratoriet (VHL), Trondheim, har ved flere anledninger i perioden 1965-67 målt spesielt strøm- og tetthetsforhold i området fra Herøya og ut til Langesund.

Figur 5 viser en oversikt over overflatestrømmer i Frier- og Langesundfjorden (VHL 1965). Kartet er basert på observert forplantning av fargestoff og strømmålinger med flygel i faste punkter. Målingene ble utført i tiden 18-27/10 1965. Ferskvannstilførselen til fjordsystemet i denne perioden varierte mellom 209 og 250 m<sup>3</sup>/s. Man merker seg bakevjene på vestsiden av fjorden innenfor Brevik. Utstrømmingen skjedde i et 2,5-4 m tykt overflatelag i Frierfjorden.

Stort sett samme strømbilde fremkom under en tilsvarende undersøkelse 5-13/5 1966 (VHL 1966). Skienselvas vannføring var da 550-700 m<sup>3</sup>/s, og overflatestrømmens tykkelse i Frierfjorden 5-6 m.

I 1967 utførte Vassdrags- og Havnelaboratoriet målinger av strøm og lagdeling i Frierfjorden (VHL 1967). Figur 6 viser strøm og lagdeling på 4 stasjoner i Frierfjorden i mai 1967. Det var da flom i Skienselva, og vannføringen varierte fra 725 m<sup>3</sup>/s til 865 m<sup>3</sup>/s. Av samme figur fremgår også klart at det skjer bare små endringer i lagdeling og strømforhold mellom Herøya og Saltbua, noe som stemmer med Brækkens(1966) observasjoner.

Nord og sør for Balsøya ble samtidig gjort strømkorsmålinger for kartlegging av strømbanene i 10-30 m dyp i dette området. Målingene viste at det i Flakvarpbukta nordøst for Balsøyavar bakevjer i 10-30 m dyp.

I området like sør for Balsøya ble det registrert i hovedsaken sørgående strøm i 10 og 20 m dyp og en øst-nordøstlig strøm i 25 m dyp.

På grunnlag av VHLs målinger av strøm og lagdeling har Carstens(1970) beregnet hvor store mengder sjøvann som rives med av elvevannet fra Skienselva og transporteres ut fjorden sammen med dette. Resultatene er fremstilt i figur 7. Den samtidige vannføring i Skienselva er vist i figur 8.

Ut fra dette beregnet Carstens også tykkelsen av brakkvannslaget i Frierfjorden, figur 9. Avviket mellom teoretisk og målt tykkelse mener Carstens skyldes transport ved vertikal turbulent diffusjon.

### 3. VINTERSITUASJONEN 1975

#### 3.1 Utført feltarbeid

##### Hydrografi

Prøvetakingsstasjonene i utslippsområdet (figur 10) ble første gang tatt 13/2 1975. Vannføringen i Skienselva målt ved Skotfos var da  $240 \text{ m}^3/\text{s}$ . På de hydrografiske stasjonene ble det i en rekke dyp (0, 4, 8, 12, 16, 20, 30, 40 m osv. til bunn) tatt prøver for bestemmelse av vannmassenes temperatur, saltholdighet og oksygeninnhold.

På salinotermstasjonene ble temperatur og saltholdighet målt med nedsenkbar sonde. Det ble stort sett målt hver meter til 10 m og deretter annen hver meter til 20 m dyp. Målingene viste at det var relativt små variasjoner i temperatur og saltholdighet langs tverrsnittene.

Under det påfølgende tokt 17/3 1975 ble derfor salinotermstasjonene på begge sider av st. H2 og st. H5 sløyfet. Etter avtale med oppdragsgiver ble st. H8 tatt i tillegg. Vannføringen ved Skotfoss var da  $225 \text{ m}^3/\text{s}$ .

##### Strømmålinger

Den 14/2 1975 målte NIVA strøm på stasjonene P1-P12 (se figur 11). En del av stasjonene ble tatt to ganger. Det var kaldt og rolig vær, og vannføringen i Skienselva målt ved Skotfoss var  $260 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Den 20/2 1975 ble tre selvregistrerende strømmålere satt ut på st. S1 (se figur 12) i ca. 2,5 m dyp, 7 m og 14 m. Målerne ble tatt opp 18/3 1975.

### 3.2 Foreløpig vurdering av måleresultatene

Som nevnt innledningsvis tar man i denne rapporten sikte på å legge fram en del av måleresultatene fra undersøkelsene av vintersituasjonen. Vurderingene og tolkningen av dataene vil i hovedsaken bli gitt i slutt-rapporten.

#### Hydrografi

Figur 13-14 viser den vertikale tetthetsfordeling ved st. H2 og st. H5 under toktene i februar og mars 1975. Tettheten (egenvekten) er fremstilt ved størrelsen  $\sigma_t$  der

$$\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$$

og  $\rho$  er vannets egenvekt. Rette linjer er trukket mellom målepunktene. Man gjør oppmerksom på at denne fremstillingsmåten ikke får fram lokale variasjoner mellom målepunktene, som f.eks. i området 0-4 m hvor der er et noenlunde homogent overflatelag av varierende tykkelse.

Av figurene 13-14 fremgår at sprangsjiktet mellom overflatelaget og det underliggende intermediære vannlag nådde ned til ca. 8 m dyp. Det intermediære vannlag nådde ned til ca. 30 m dyp.

Det fremgår videre at tettheten i 4-16 m dyp var mindre i februar enn i mars, og øket noe mellom 16 og 30 m. Under 30 m dyp har tettheten vært nær konstant.

Den vertikale temperaturfordeling på stasjonene H2 og H5 er vist på figurene 15-16. Temperaturforholdene var de samme for begge stasjonene, med et maksimum på 8,5-9 °C i 20-25 m dyp. Som for tettheten var temperaturen i 4-16 m dyp lavere i mars enn i februar, og noe høyere mellom ca. 16 m og 20-25 m. Under ca. 30 m var temperaturen nær konstant.

Det vertikale temperatur- og tetthetsprofil på st. H8 den 17.3.1975 er fremstilt på figur 17. Stasjonen ligger på forholdsvis grunt vann, ca. 16 m dyp, og temperatur- og tetthetsprofilet er i hovedsaken lik st. H5.

I figurene 18-19 er vist saltholdighetsprofilene ved henholdsvis st. H4-H6 (13.2.75) og st. P7-P9 (14.2.75). Figurene gir også et bilde av tetthets-

forholdene, da tettheten i hovedsaken avhenger av saltholdigheten.

Av figurene fremgår hvordan brakkvannsstrømmen (saltholdighet ca. 3-6 ‰) blir presset over mot Rafneslandet. Under sprangsjiktet, ned til ca. 20 m, er variasjonene små mellom de tre stasjonene. Mellom ca. 20 m og 30 m øker saltholdigheten sterkt fra st. P8 til st. P7. Årsaken til dette er uvisst.

### Strømmålinger

En del resultater fra pendelstrømmålingene, som ble utført 14.2.1975, er vist i figurene 20-28.

I figur 20-22 er strømretning og hastighet på st. P2-P5 og P8 fremstilt på strømroser. På figurene er strømmens retning og styrke i de forskjellige måledyp fremstilt ved piler. Pilenes lengde er et mål for strømstyrken og deres retning angir strømretningen.

For st. P2, P5, P8 og st. P10 er strømkomponenten i overflatestrømmens retning beregnet for alle måledyp. Retning ut fjorden er valgt som positiv. I figur 23-26 er den dekomponerte strømmen på disse stasjonene plottet sammen med den vertikale saltholdighetsfordeling.

Felles for alle stasjoner er at strømstyrken avtar i sprangsjiktet. Under dette er imidlertid strømforholdene vidt forskjellig fra stasjon til stasjon. På st. P2 (se figur 20 og figur 23) er bildet uklart, og årsaken kan være den bakevjen som trolig fins i området.

På st. P5 (figur 21 og 24) var det i hovedsaken utgående strøm i alle dyp. Det er bemerkelsesverdig, ettersom man skulle vente å finne en motsatt rettet kompensasjonsstrøm under brakkvannsstrømmen.

Dette er imidlertid i høy grad tilfelle for st. P8 (figur 22 og 25) hvor strømmen fra ca. 3 m dyp og dypere var rettet inn fjorden og til dels med stor hastighet (ca. 14 cm/s i 40 m dyp).

Ved st. P10 (figur 26) merker man seg at overflatestrømmen var rettet inn fjorden. I dette området, mellom st. P10 og st. P11 er det muligens et strømskjær mellom det utstrømmende brakkvann på østsiden og det innstrømmende vann på vestsiden av fjorden.

I figur 27-28 er vist strømstyrken dekomponert normalt på snittene P4-P6 og P7-P9. Isolinjene er trukket på grunnlag av strømmålinger i en rekke dyp. Man gjør oppmerksom på at hastighetsprofilen i figur 27 inneholder en viss usikkerhet idet st. P6 er tatt ca. 4 timer etter st. P4 og st. P5.

For snitt P4-P6 fremgår at i nedre del av sprangsjiktet og like under dette er et hastighetsminimum som ved st. P6 opptrer i form av en svak og konsentrert kompensasjonsstrøm. Under ca. 12 m er strømstyrken meget liten.

Det mest fremtredende trekk ved snitt P7-P9 er den sterke kompensasjonsstrømmen på st. P8. Denne har man bare i liten grad funnet igjen på st. P7 og st. P9.

Databehandlingen av måleresultatene fra de selvregistrerende strømmålerne tok noe mer tid enn antatt, og man rekker derfor ikke å legge fram resultatene i denne rapporten. Målingene er foretatt nær st. P8 og kort kan sies at registreringene i 2,5 m og 14 m dyp viser at resultatene av pendelstrømmålingene i samme dyp er representative for hele måleperioden. Dette er imidlertid ikke tilfelle for 7 m dyp hvor pendelstrømmålerne viste inngående strøm, mens resultatene fra den selvregistrerende strømmåleren viser at strømmen snudde etter noen dager og at det i dette dyp i hovedsaken har vært utgående strøm. Dette viser nødvendigheten av å gjennomføre målinger med selvregistrerende strømmålere over et lengre tidsrom.

#### 4. GJENNOMFØRING AV FASE 2 I UNDERSØKELSEN VÅR - SOMMERSITUASJONEN

Som nevnt i innledningen er det ut fra visse forutsetninger ønskelig at enkelte typer avløpsvann har lengst mulig oppholdstid i Frierfjorden. Slikt avløpsvann bør i tilfellet innlagres i dyp hvor strømhastighetene er lave, eller hvor det vil delta i en mer eller mindre lukket sirkulasjon i fjorden. For **andre typer avløpsvann** kan man tillate en relativt rask transport ut i de ytre fjordområdene.

Noen fullstendig vurdering av måleresultatene fra vintersituasjonen har det hittil ikke vært anledning til. Det gjennomførte måleprogram synes imidlertid stort sett å ha gitt den informasjon man tok sikte på å frem-skaffe.

Måleresultatene tilsier at undersøkelsene bør videreføres og omfatte en vår-sommersituasjon. Man vil da konsentrere undersøkelsene om to områder:

1. Rafnes-Tråk:

Strømmålingene har påvist store variasjoner i strømretning og -hastighet utenfor utslippsområdet. Disse er det behov for å få videre kartlagt. Likeledes bør mulighetene for transport av avløpsvann til Herrebukta videre undersøkes.

2. Ringsholmene-Saltbua:

I dette området finner brakkvannsstrømmen veien ut av Frierfjorden, samtidig som noe av brakkvannet trolig deltar i en "lukket" sirkulasjon som transporterer vann nordover langs østsiden av fjorden. Ytterligere informasjon om dette strømmønsteret er nødvendig for vurderingen av hvor utslippene i området bør foretas.

På bakgrunn av dette vil man foreslå at feltarbeidet under fase 2 utføres som følger:

4.1 Hydrografi

Stasjonsnettets opprettholdes i hovedsaken som før. Salinotermstasjonene på begge sider av st. H2 og st. H5 tas innledningsvis én gang under vårflommen. Det vil så bli avgjort om de senere kan sløyfes.

De hydrografiske stasjonene H2, H5 og H8 bør inntil videre beholdes. Man vil imidlertid vurdere om st. H8 kan flyttes litt lenger sør.

Prøvetakingsfrekvensen bør også beholdes.

4.2 Strømmålinger

Pendelstrømmålingene i Rafnes-Tråk-området bør gjennomføres som planlagt for vår-sommersituasjonen (NIVA 1975). Søndre del av utslippsområdet, utenfor fabrikanleggene til Saga Petrokjemi må også undersøkes nærmere, med pendelstrømmålinger mellom Saltbua og Vestre land.

De planlagte strømkorsmålingene vil være til god hjelp som kartlegging av strømbanene i de øverste 10-12 m av vannmassene. Målingene bør koordineres

med de tilsvarende målinger som NIVA skal gjennomføre i nordre del av Frierfjorden i mai 1975. Disse er et ledd i den generelle resipientundersøkelsen av fjorden NIVA nå utfører.

Resultatene av de kontinuerlige strømmålingene gir grunn til fortsatt å gjøre målinger utenfor Rafnesområdet.

De utførte pendelstrømmålingene synes å bekrefte at det helt fra Saltbuaområdet er en nordgående strøm langs Frierfjordens østside. Denne sirkulasjonen er det ønskelig å få ytterligere klarlagt ved utsetting av to selvregistrerende strømmålere utenfor Åsstranda. Målerne vil bli plassert under sprangsjiktet hvor avløpsvannet er tenkt innlagret.

I Søndre del av Frierfjorden, nær st. P14, vil det likeledes være ønskelig med to selvregistrerende strømmålere under sprangsjiktet. Sammen med pendelstrømmålingene og sjiktningsmålingene bør disse gi tilstrekkelig informasjon med henblikk på en innlagring av avløpsvannet i tråd med den nevnte målsettingen.

Målestedene for selvregistrerende strømmålere er vist i figur 29.

## 5. ØKONOMI

Arbeidsoppgavene som er foreslått i pkt. 4.1 og 4.2 vil ikke i særlig grad endre budsjettet for fase 2 som det ble satt opp i NIVAs notat av 11.2.1975.

### 5.1 Hydrografi

Man vil kunne få en innsparing av kjemiske analyser på ca. kr 500,- hvis st. H2 og st. H5 slås sammen. Under feltarbeidet kan noe tid bli vunnet ved dette og eventuelt ved at antall salinotermstasjoner blir redusert. Noen nevneverdig innsparing kan imidlertid ikke påregnes da feltarbeidet allerede er kalkulert lavt. Om noe tid blir vunnet, inn vil den best kunne nyttes til en serie pendelstrømmålinger mens man er på stedet.

## 5.2 Strømmålinger

Kostnadene ved pendelstrømmålingene og strømkorsmålingene vil være som oppgitt i NIVAs notat av 11.2.1975.

Omkostningene ved de kontinuerlige strømmålingene vil øke med kr. 8 000,- ved at antall målere økes fra 5 til 7. De ekstra utgiftene skyldes kr. 3 600,- i ekstra instrumentleie, og kr. 2 000,- for databehandling av to ekstra bånd, og ca. 2 400,- i ekstra arbeidsutgifter ved utsetting og opptaking av målerne.

## 5.3 Rapportering

Det er lite sannsynlig at de ekstra strømmålingene som foresått i 5.2 vil føre til overskridelse av budsjettet for den endelige resultatrapporten for fase 1 og 2 av undersøkelsen. Skulle muligheten for overskridelse dukke opp, vil det straks bli tatt opp med oppdragsgiver.

## 6. REFERANSER

Brækken, A., 1966:

Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden. Hovedfagsoppgave i geografi (limnologi), Universitetet i Oslo, høsten 1966. Det mat. nat. fak. sekretariat, Blindern. Stensilert, 175 s (Upubl.).

Carstens, T., 1970:

Turbulent diffusion and entrainment in two-layer flow.  
*Journal of the Waterways and Harbors Division*, ASCE 96 (WW1). Proc. Paper 8081: 97-104. (Reprint 3/70 fra Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH).

Danielsen, D.S. & Føyn, L., 1973:

Frierfjorden - en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning.  
*Fisken og Havet*. Serie B (1973) 6: 1-19.

Dannevig, A., 1930:

The propagation of our common fishes during the cold winter 1924. *Rep. Norw. Fish. Mar. Invest.* 3(10): 1-60.



Hjort, J. & Gran, H.H., 1900:

Hydrographic-biological investigations of the Skagerrak and the Christiania Fjord. *Rep. Norw. Fish. Mar. Invest.* 1 (2): 1-56, pluss tabeller.

Kielland, J., 1952:

Momenter vedrørende plassering av anlegg for utvinning av kali fra sjøvann belyst ved alternativet Frierfjorden. Forsøk 57.1. Rapport 107, Herøya 14. juli 1952. Maskinskrevet, 21 s pluss tabeller og figurer (upubl.).

I/S Miljøplan, 1974:

Referat fra møte mellom I/S Miljøplan, NIVA, Norsk Hydro a.s., Statens forurensningstilsyn og Norsk Teknisk Byggekontroll A.S. Av Paul Liseth. Desember 1974.

NIVA, 1973:

0-111/70 Resipientvurderinger av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 1. Tidligere undersøkelser - Generelle forhold - Forurensningstilførsler. (Saksbehandlere: Ø. Johansen, S. Kolstad, T. Bokn og B. Rygg). Stensilert 93 sider. Juli 1973.

NIVA, 1975:

0-112/74 Notat vedrørende utslippsundersøkelse ved Rafnes. (Saksbehandler: Jarle Molvær). Februar 1975.

Strøm, K.M., 1936:

Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions. *Skr. Norske Vidensk.-Akad. I. Mat.-Naturv. Klasse.* 7: 1-85. Plansjer 1-9.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1965:

Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 6000235. III + 4 s pluss 13 bilag.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1966:

Utvidelse av skipsleden i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600262. VIII + 44 s pluss 64 bilag (figurer).

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1967:

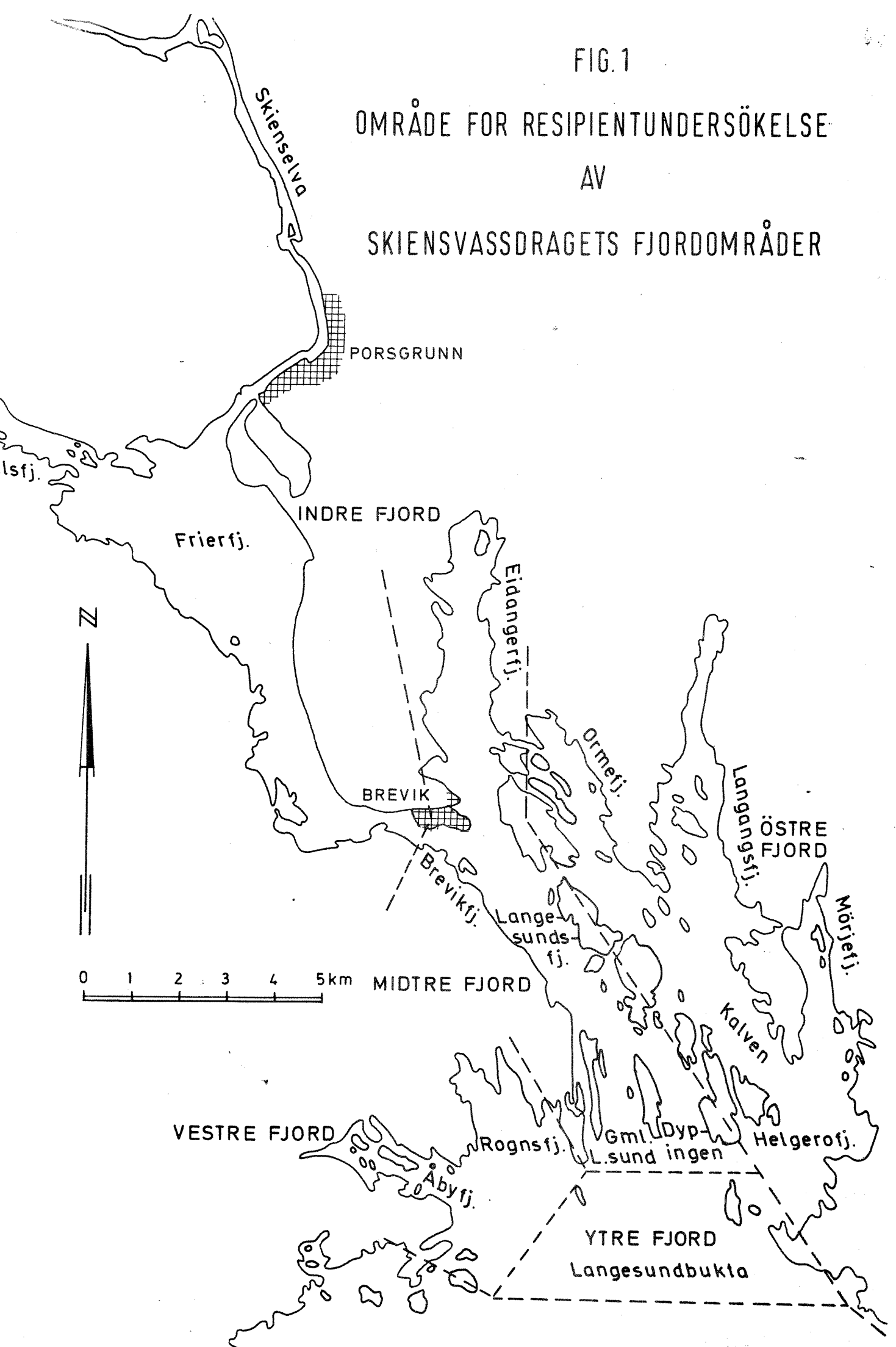
Kjølevannsanlegg. Delrapport nr. 1 for oppdragsnr. 600306.

Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden 22. - 26. mai 1967.

4 s pluss fig. 1-8.

FIG. 1

OMRÅDE FOR RESIPIENTUNDERSÖKELSE  
AV  
SKIENSVASSDRAGETS FJORDOMRÅDER



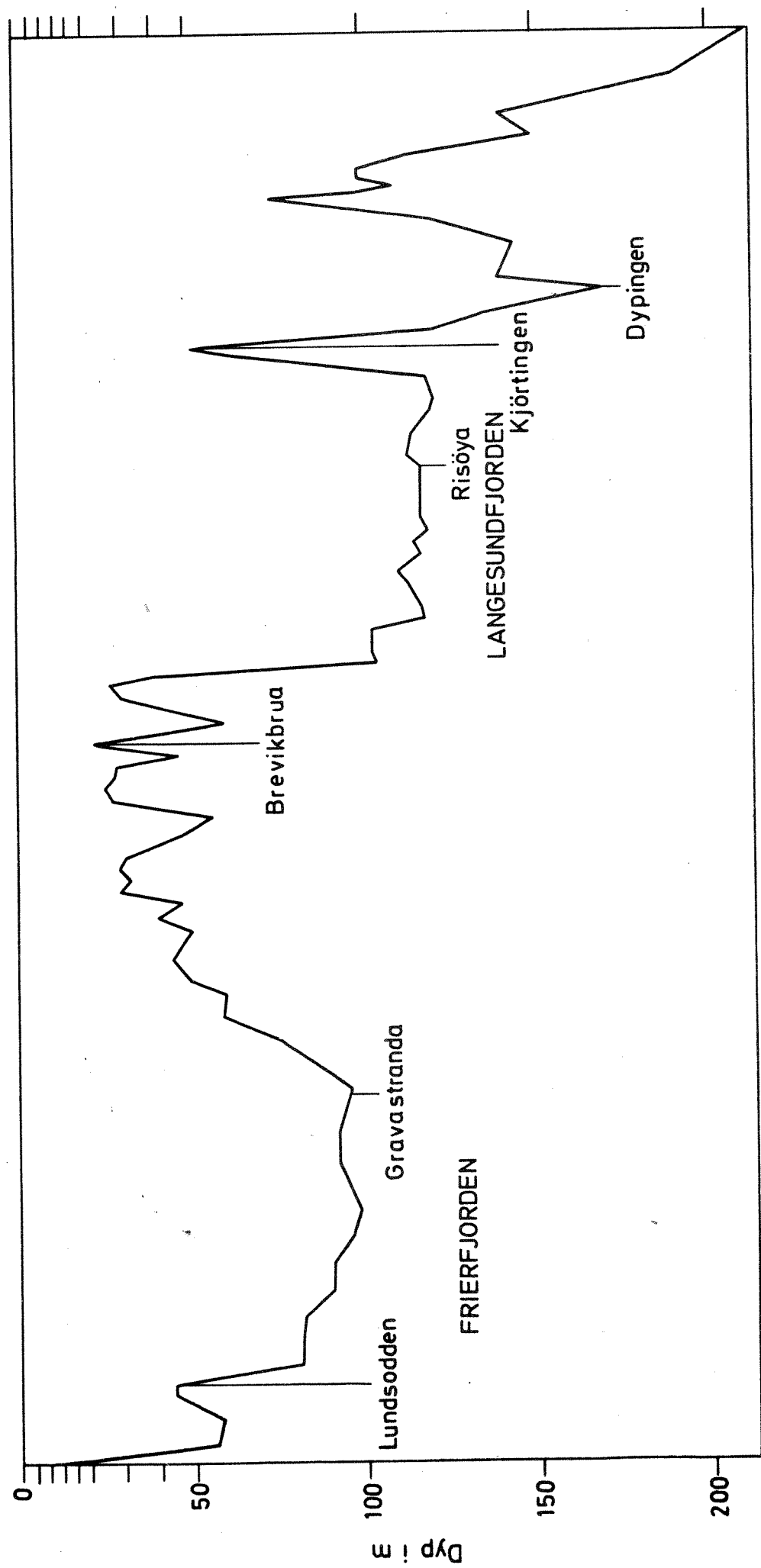


Fig.2 Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

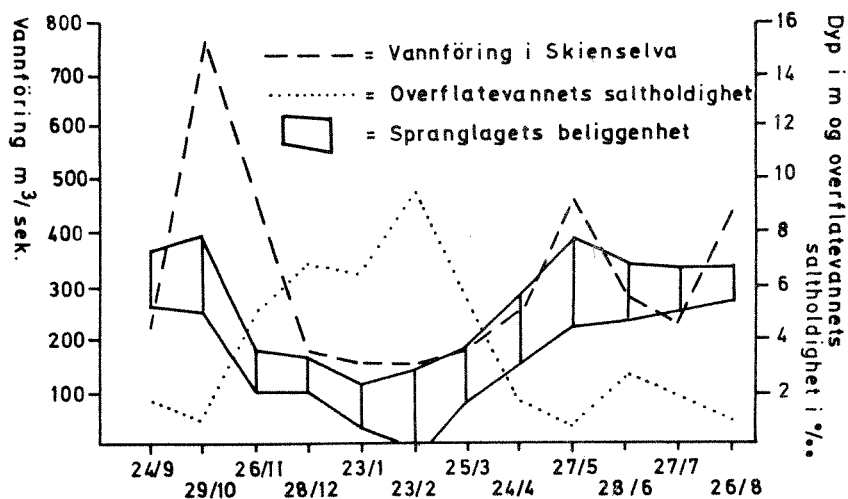


Fig. 3 Overflatevannets saltholdighet og sprannglagets beliggenhet målt på en stasjon midt i Frierfjorden i perioden 1961-1962. Samtidig er vannføringen i Skienselva i samme periode tegnet inn (fra Brækken 1966)

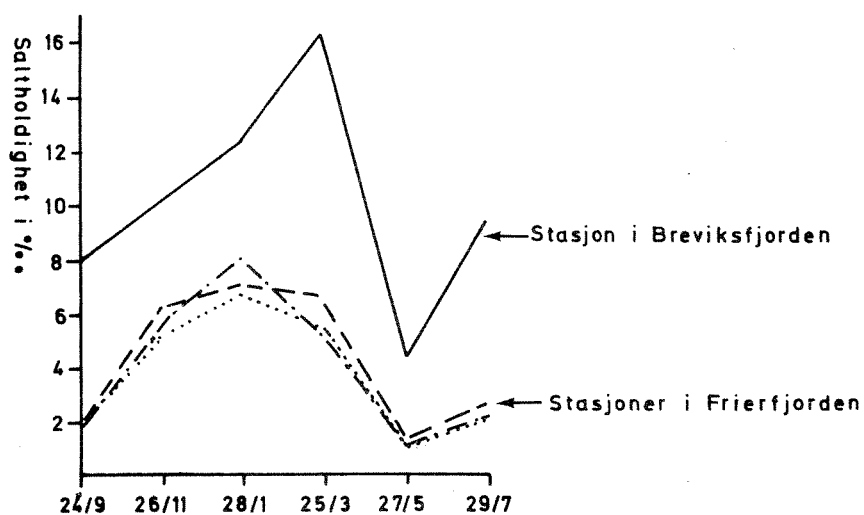


Fig. 4 Overflatevannets saltholdighet målt i Frierfjorden og i Breviksfjorden i perioden 1961-1962 (fra Brækken 1966)

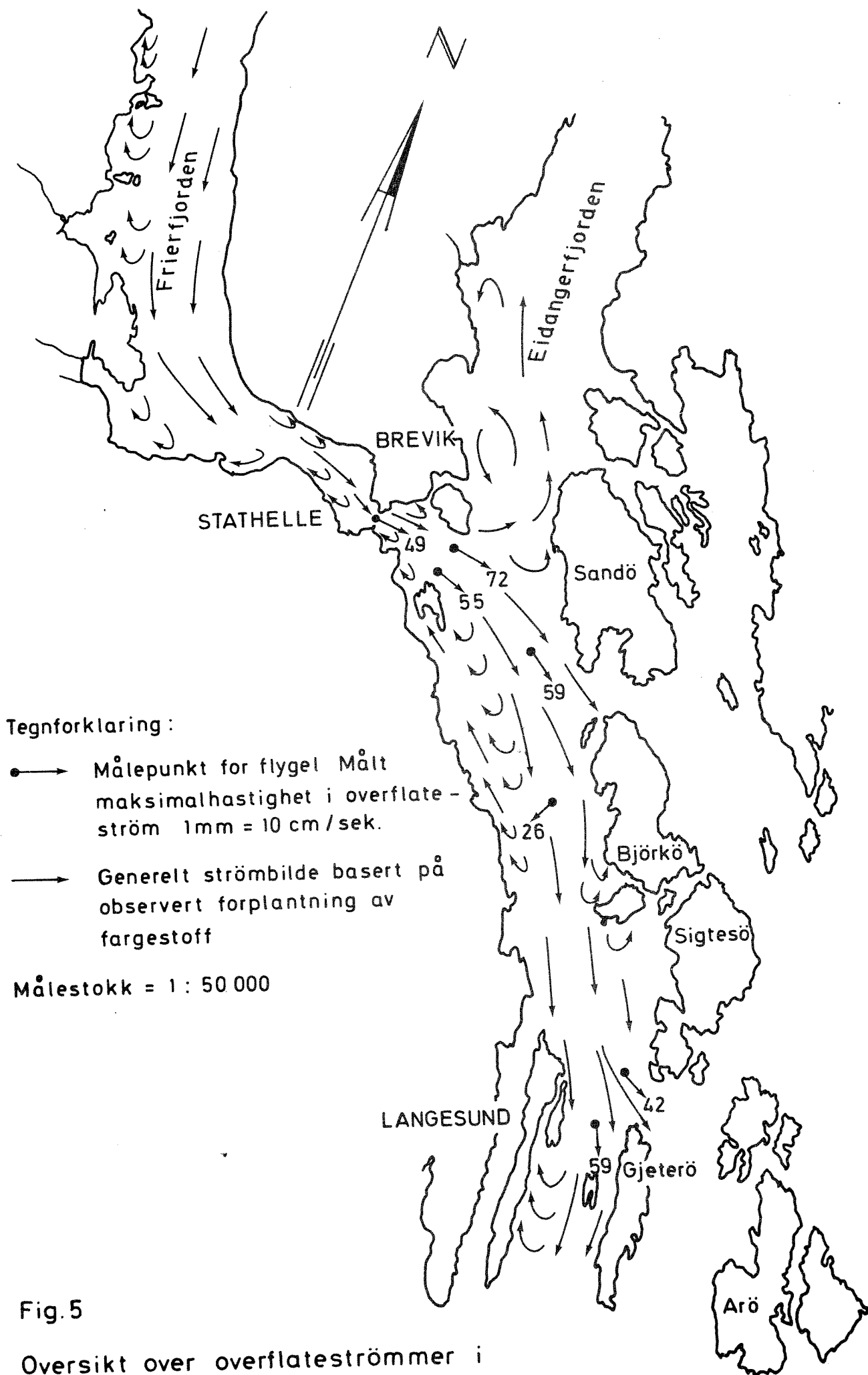


Fig. 5

Oversikt over overflatestrømmer i Frier - og Langesundsfjorden (etter VHL 1965)

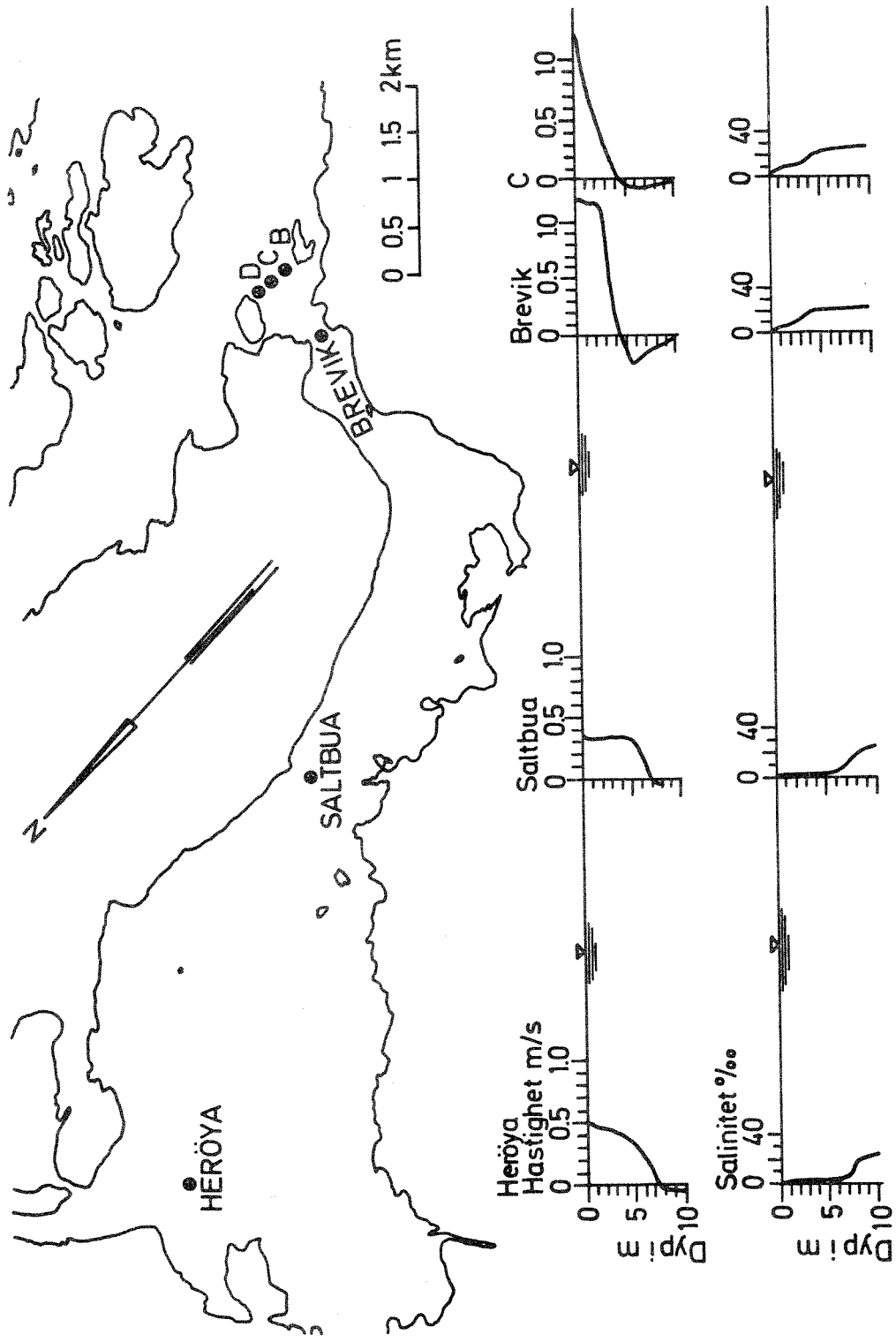


Fig.6 Frierfjorden mai 1967. Målinger av strøm og saltholdighet (etter VHL 1967)

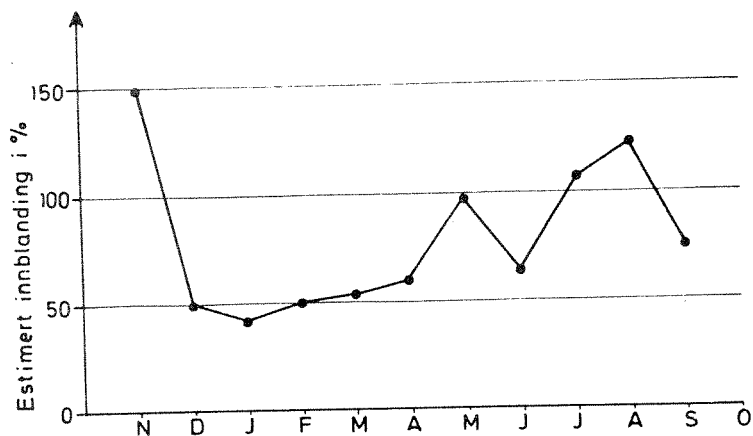


Fig. 7 Estimert innblanding i prosent av elvevann i Frierfjorden, november 1966 - november 1967 (etter Carstens 1970)

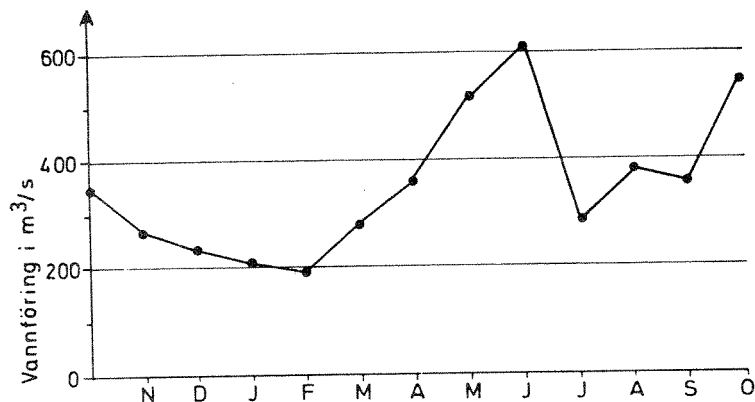


Fig. 8 Vannføring fra Skienselva tilført Frierfjorden, november 1966 - november 1967 (etter Carstens 1970)

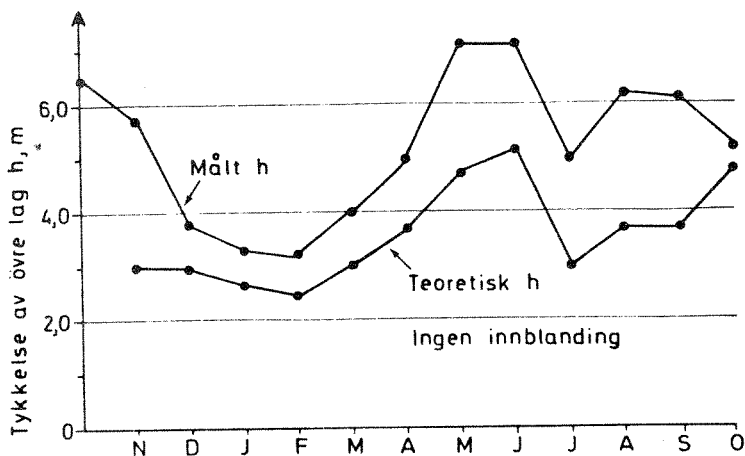


Fig. 9 Tykkelse av øvre lag i Frierfjorden, november 1966 - november 1967 (etter Carstens 1970)



Fig.10 Hydrografiske stasjoner i utslippsområdet

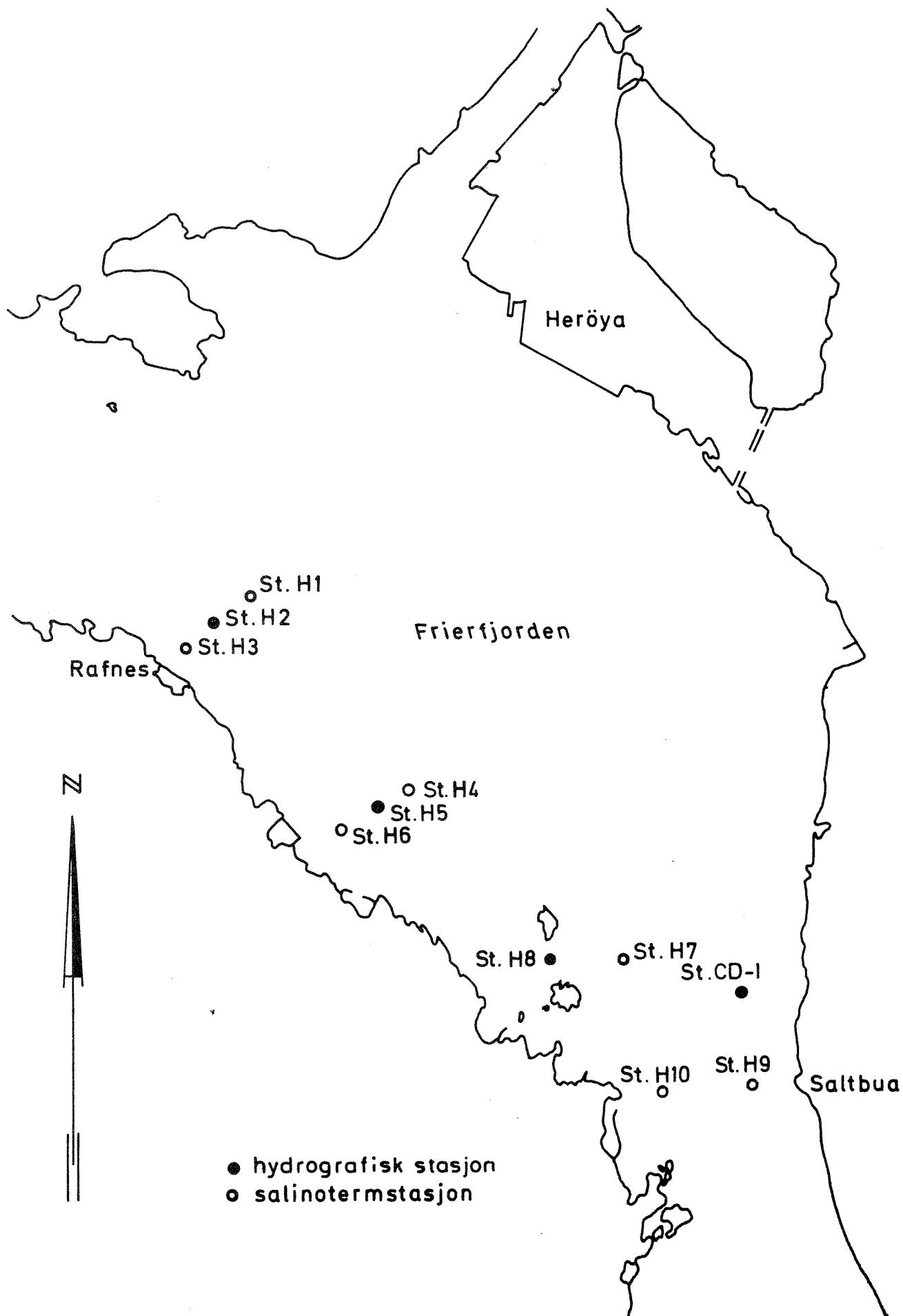


Fig.11 Stasjoner for orienterende pendelstrømmålinger

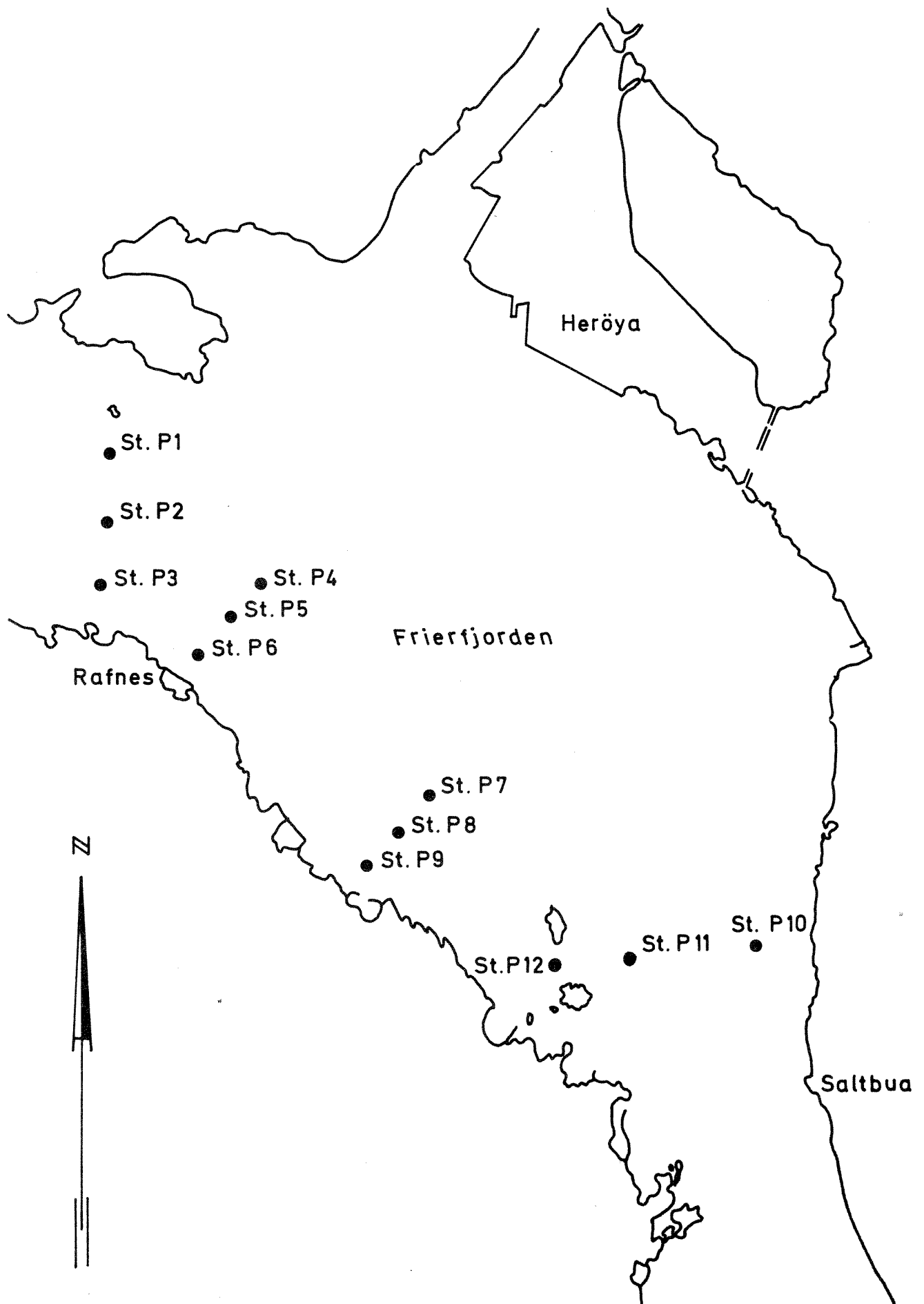
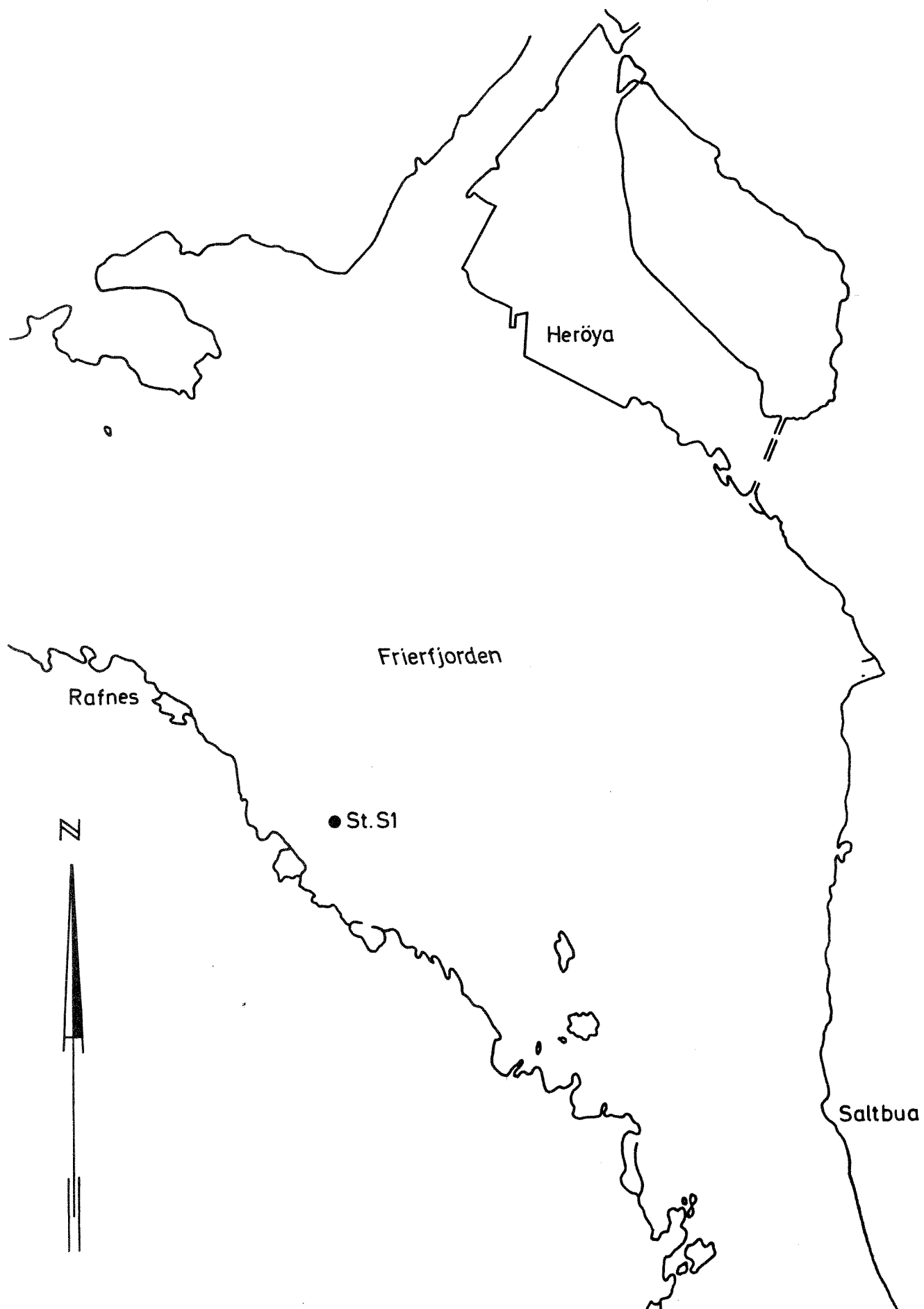


Fig.12 Stasjoner for kontinueringe strömmålinger



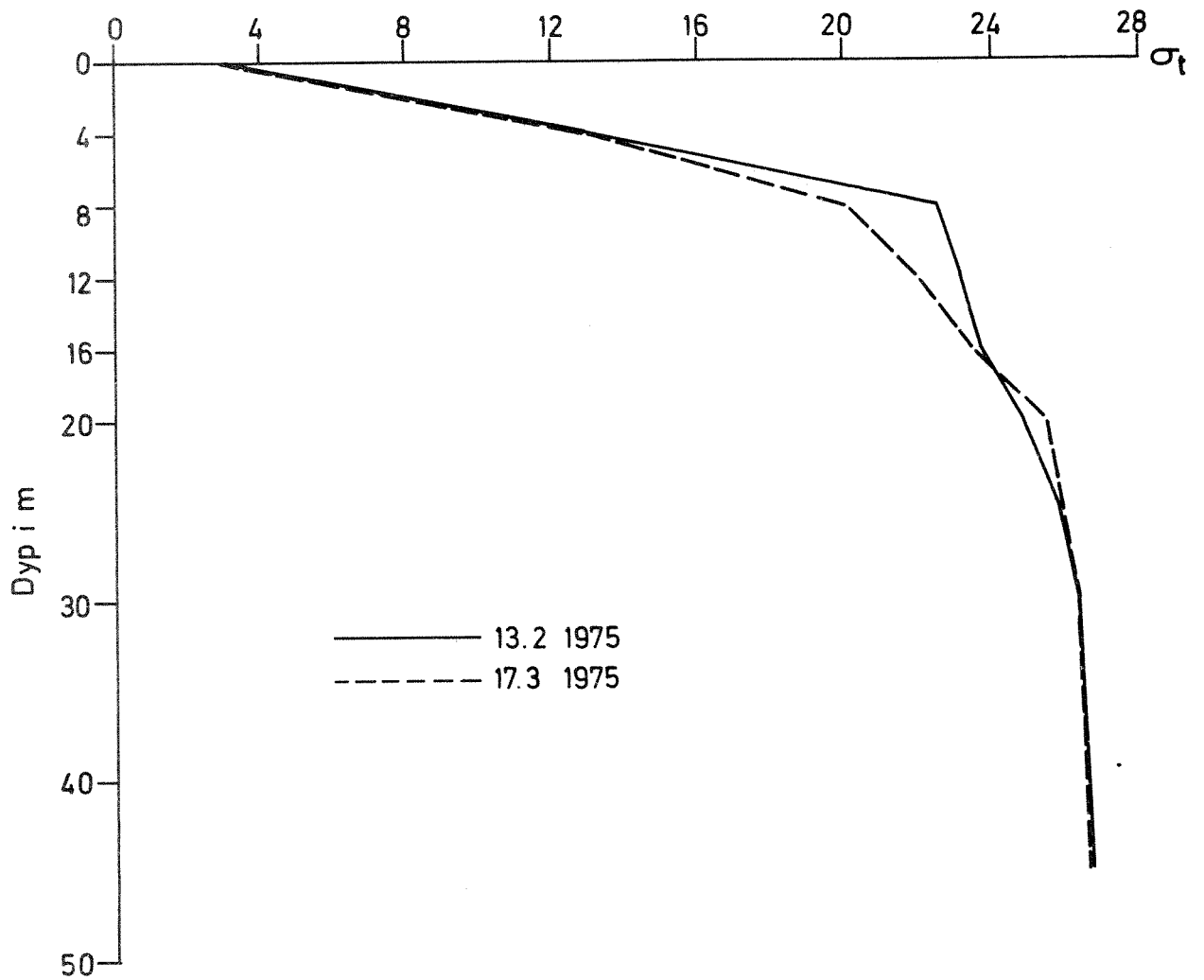


Fig.13 St. H2 Vertikal tetthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 13.2 og 17.3 1975

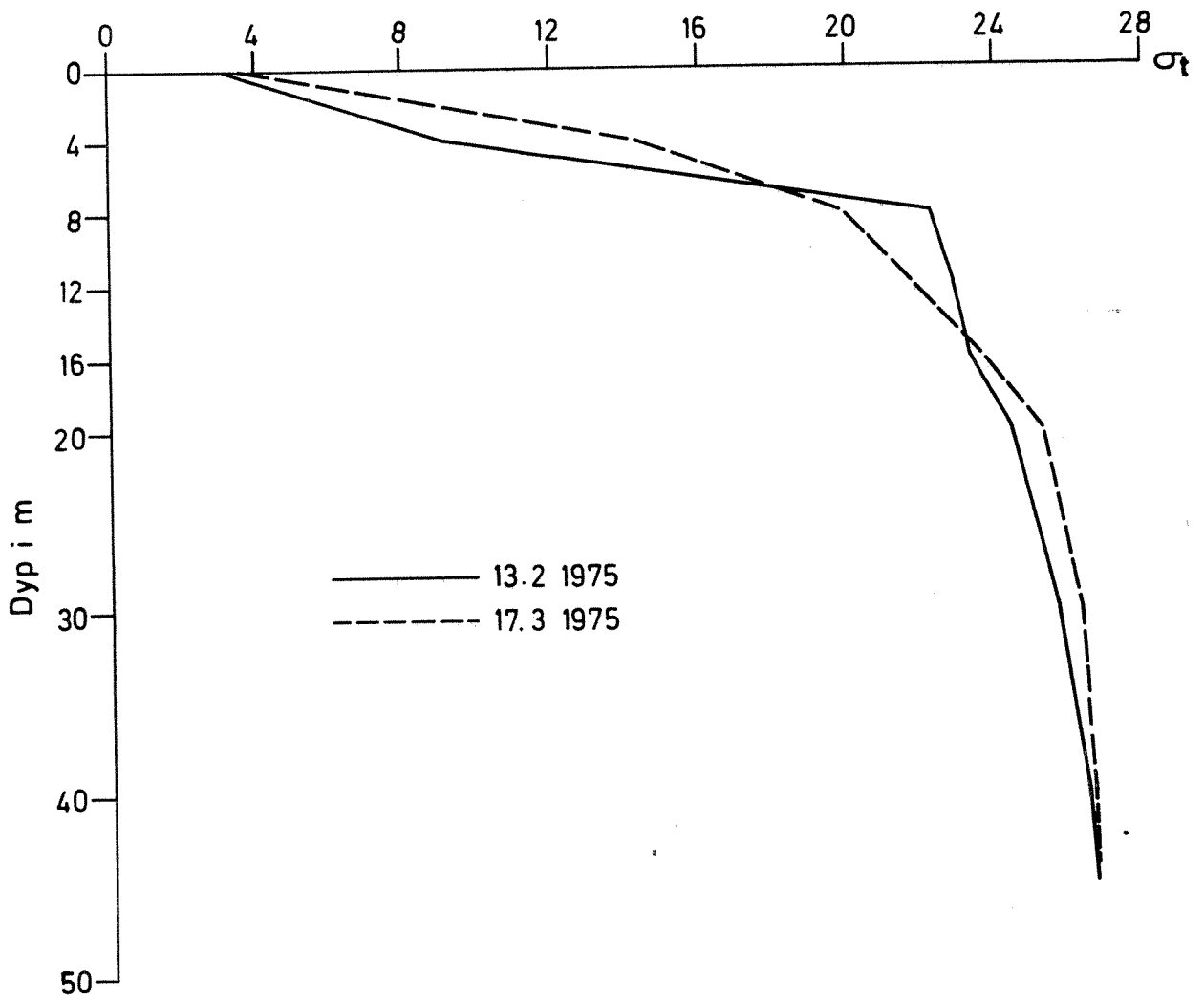


Fig.14 St. H5 Vertikal tetthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 13.2 og 17.3 1975

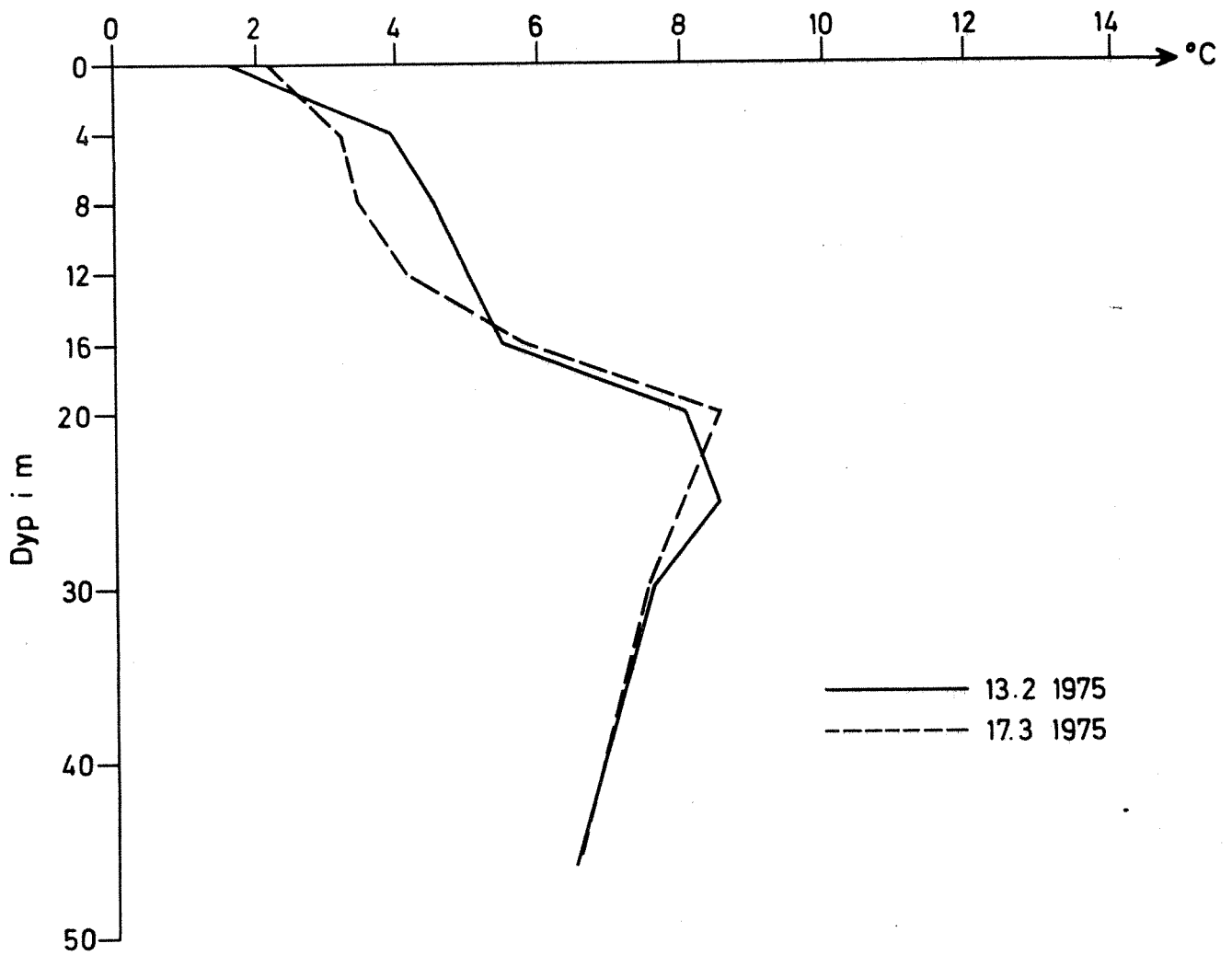


Fig.15 St. H2 Vertikal temperaturfordeling 13.2 og 17.3 1975

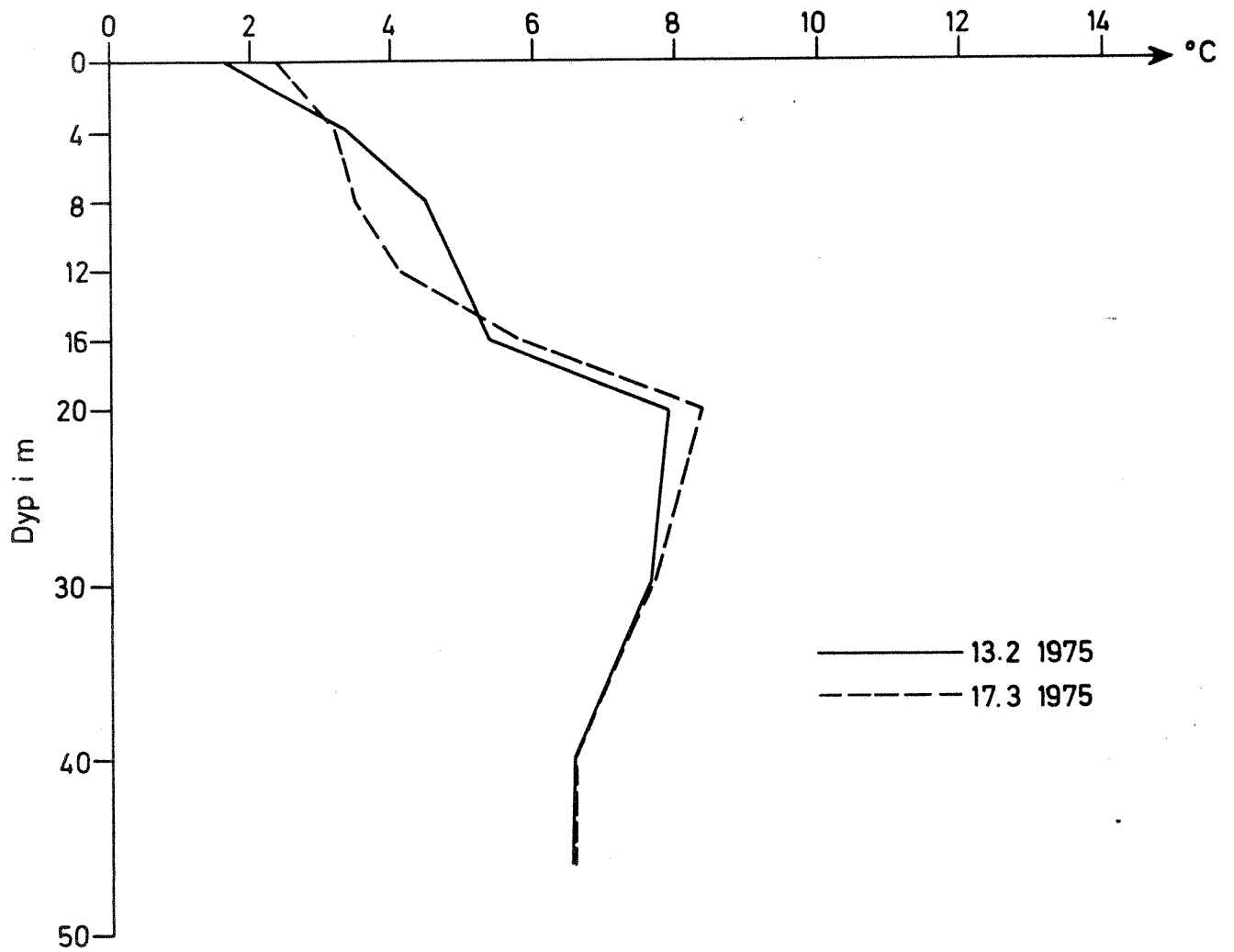


Fig.16 St.H5 Vertikal temperaturfordeling 13.2 og 17.3 1975

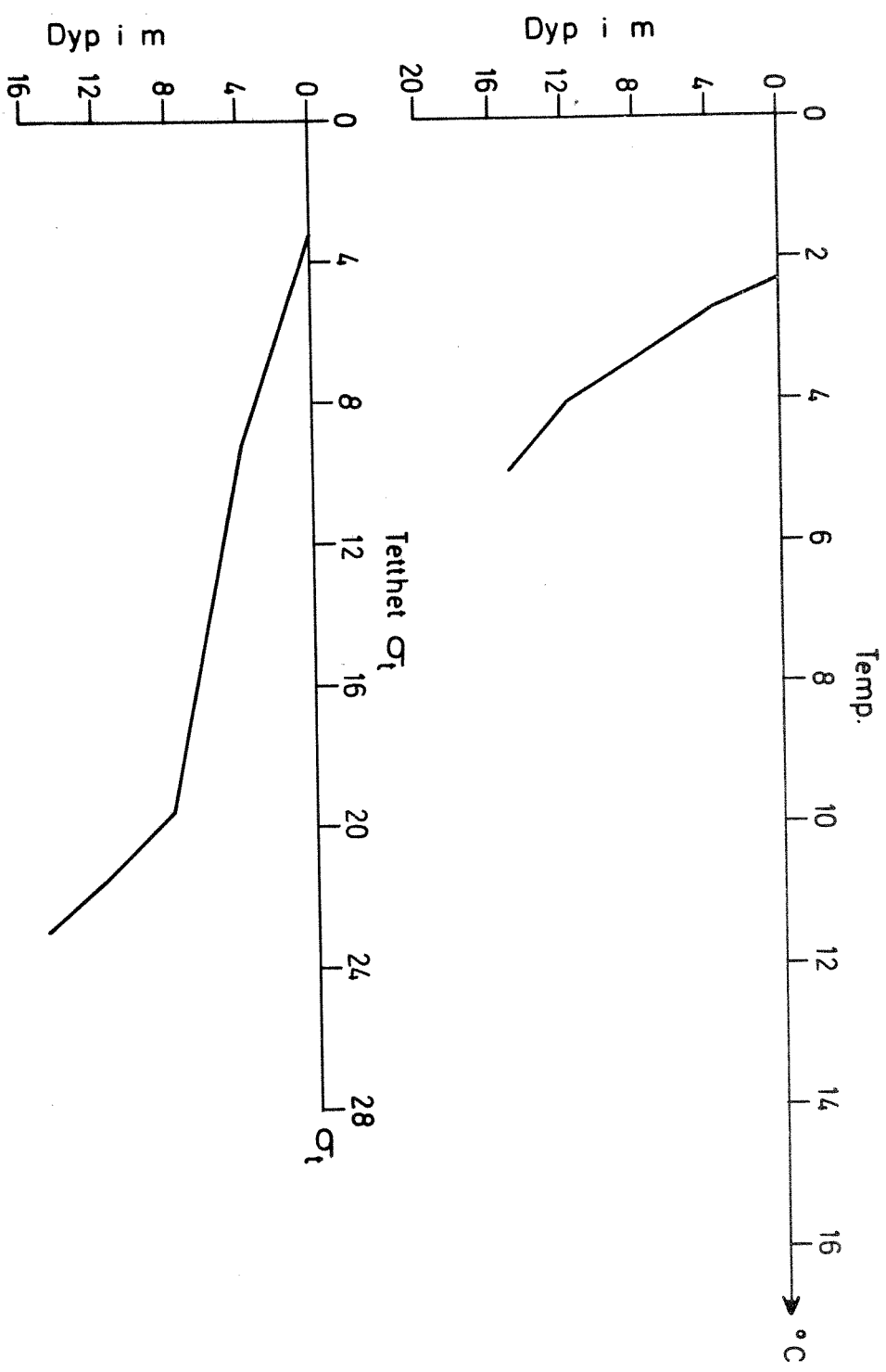


Fig. 17 St. H8 Vertikal temperatur og tæthetsfordeling ( $\sigma_t$ ) 17.3 1975



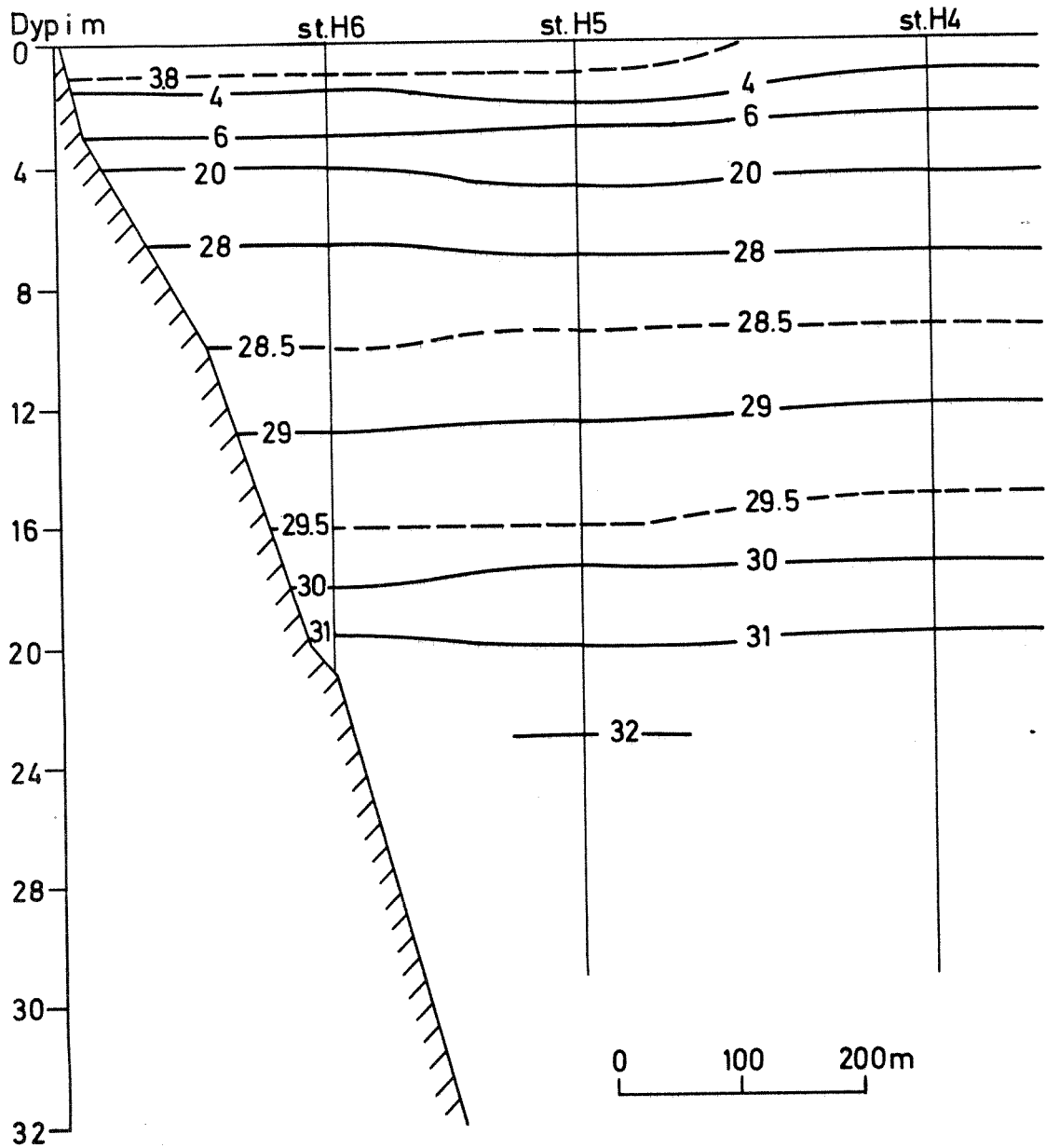


Fig.18 Saltholdighetsprofil (‰) ved st. H4-H6 13.2 1975

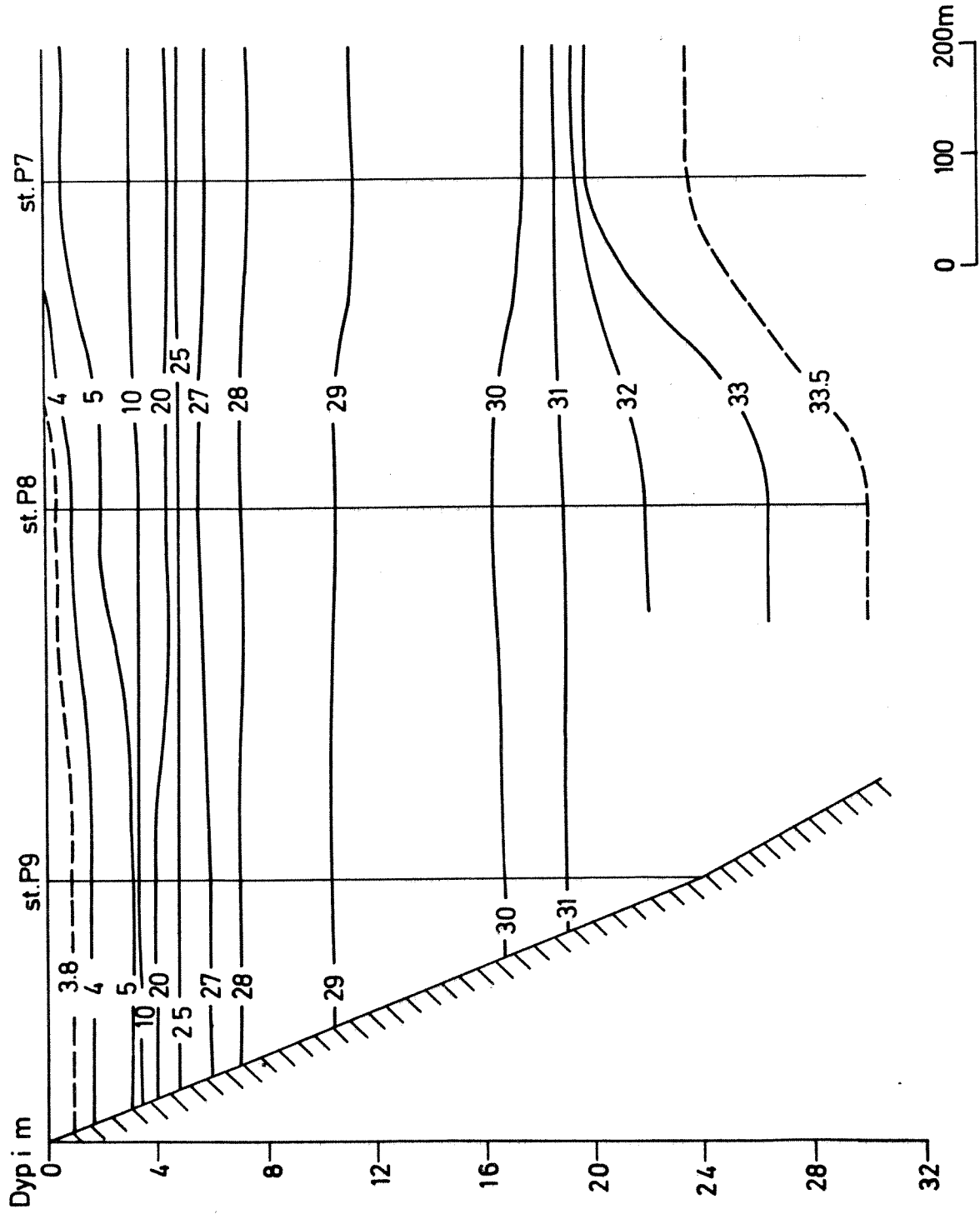


Fig.19 Saltholdighetsprofil (‰) ved st. P7-P9 14.2 1975

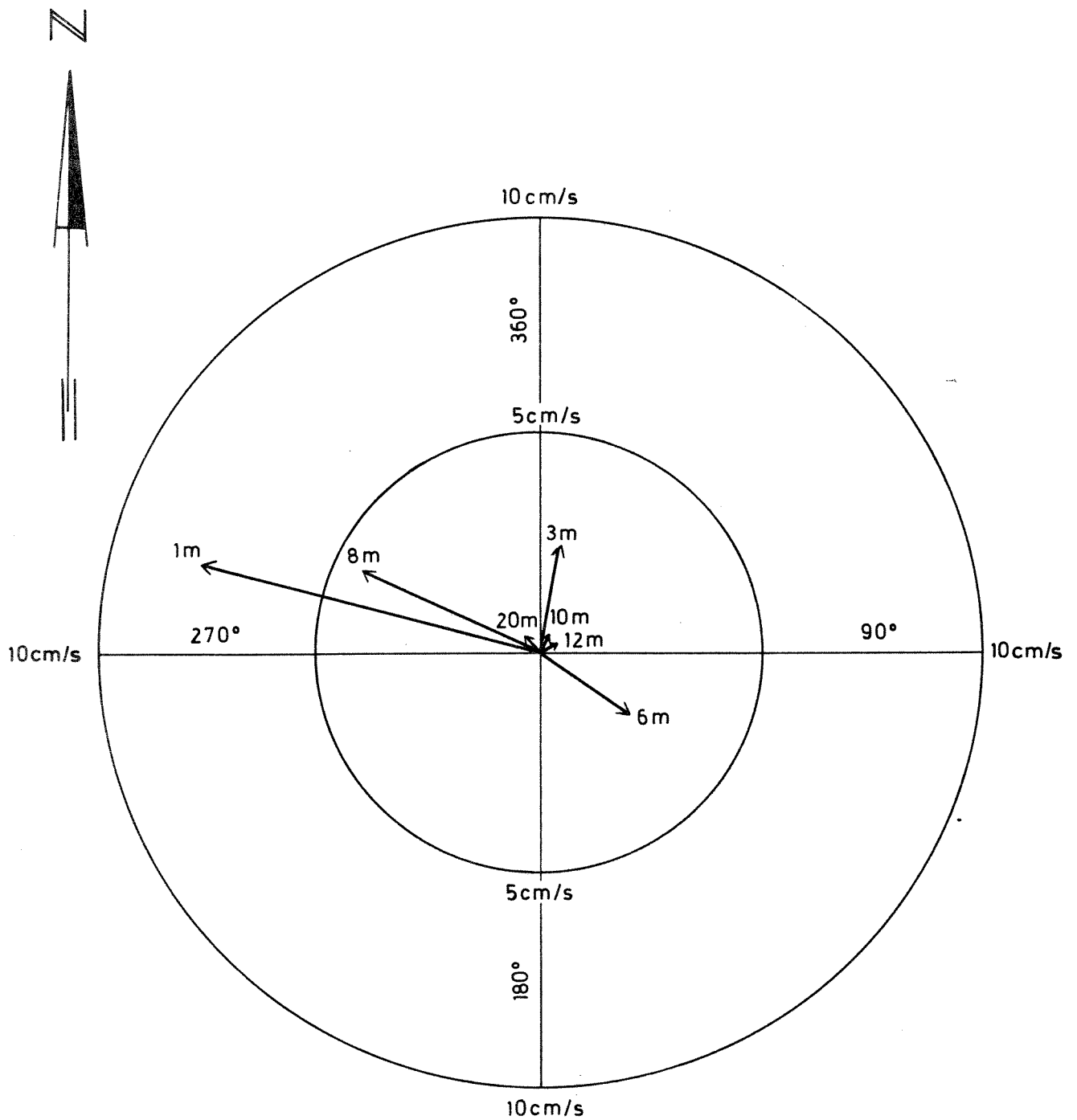


Fig.20 St. P2, 14/2 1975 kl. 1300  
 Strömretning og hastighet i måledypene

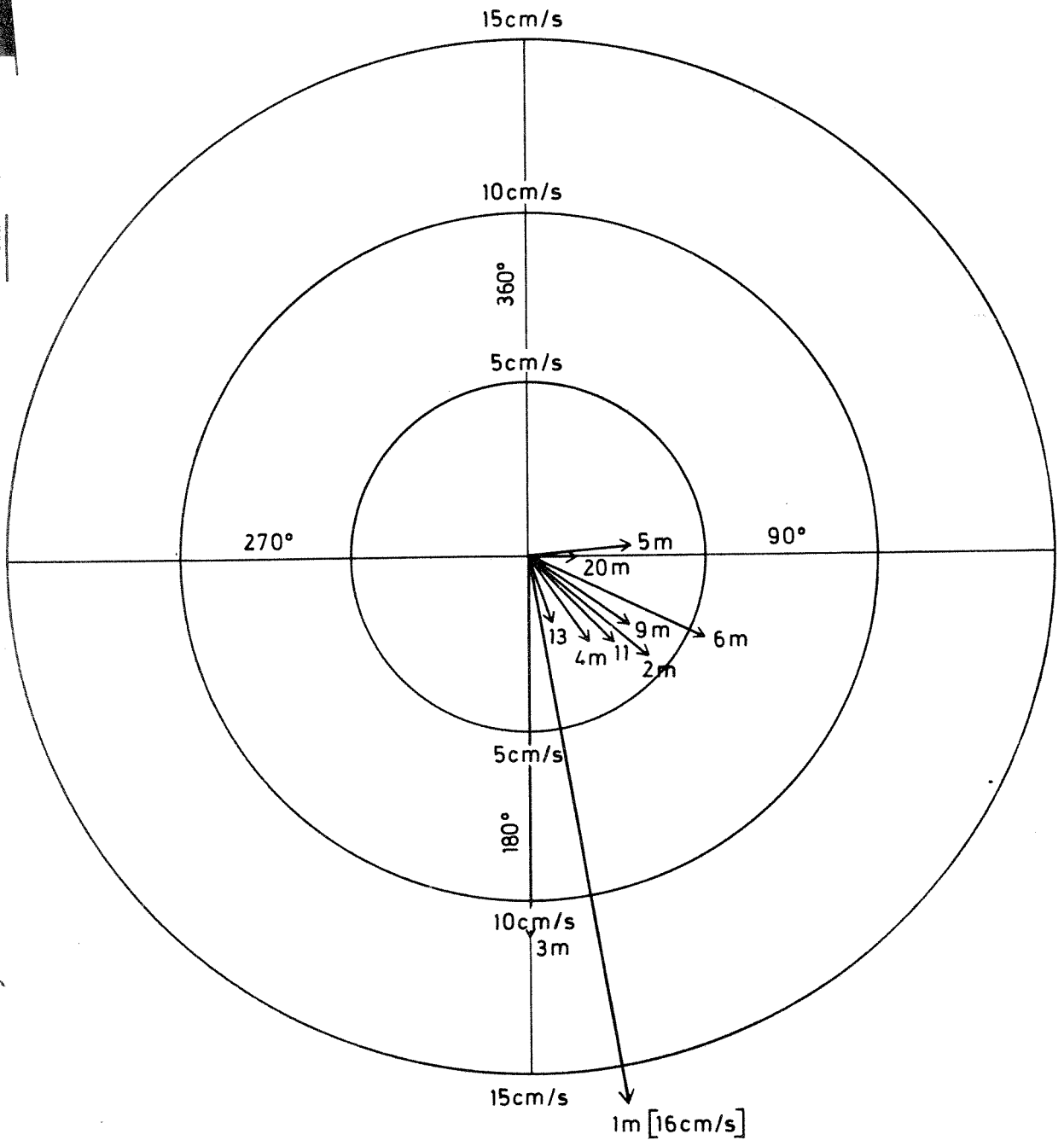


Fig.21 St. P5, 14/2 1975 kl. 1130  
Strömretning og hastighet i måledypene

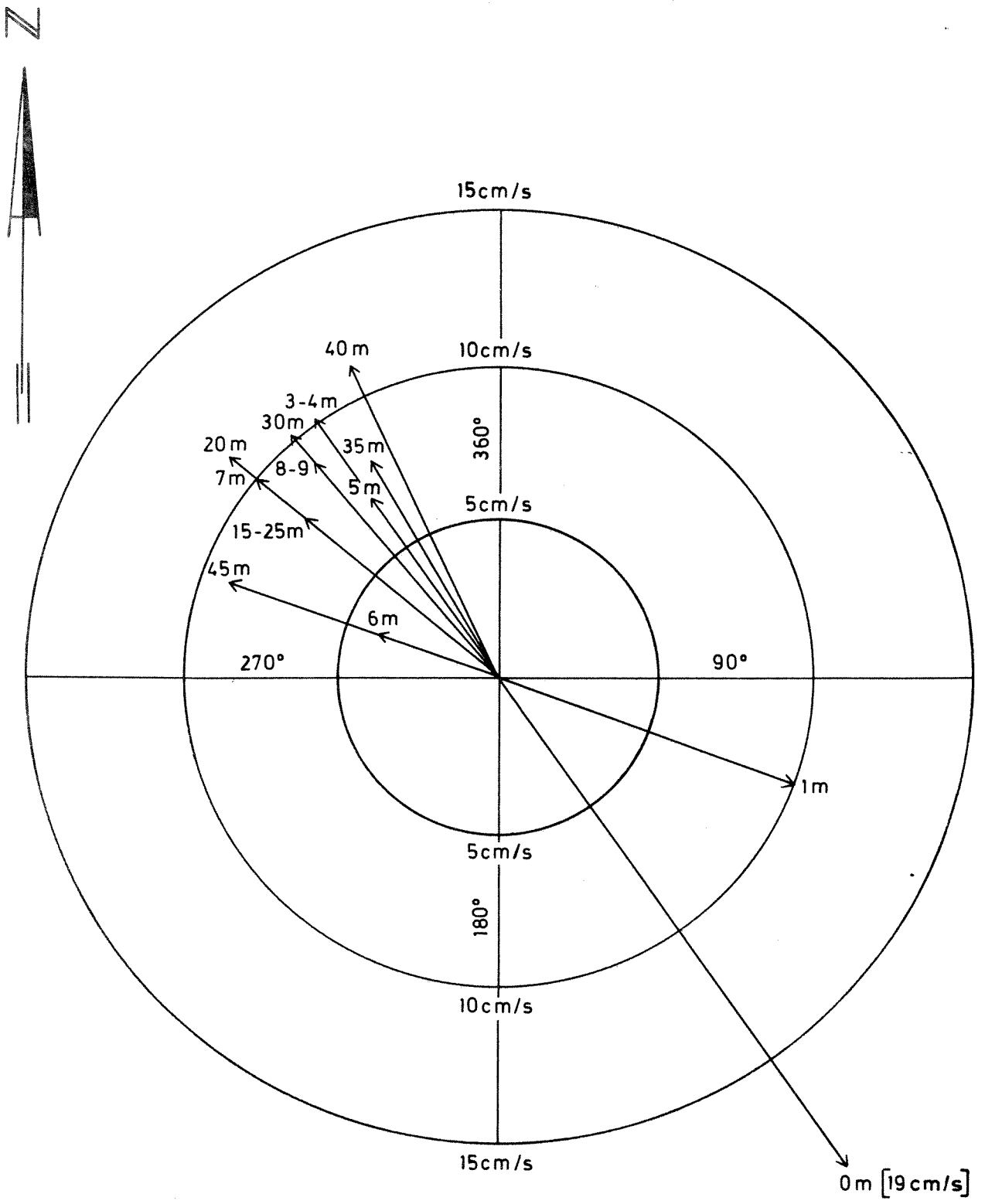


Fig.22 St. P8, 14/2 1975 kl. 1155  
 Strömretning og hastighet i måledypene

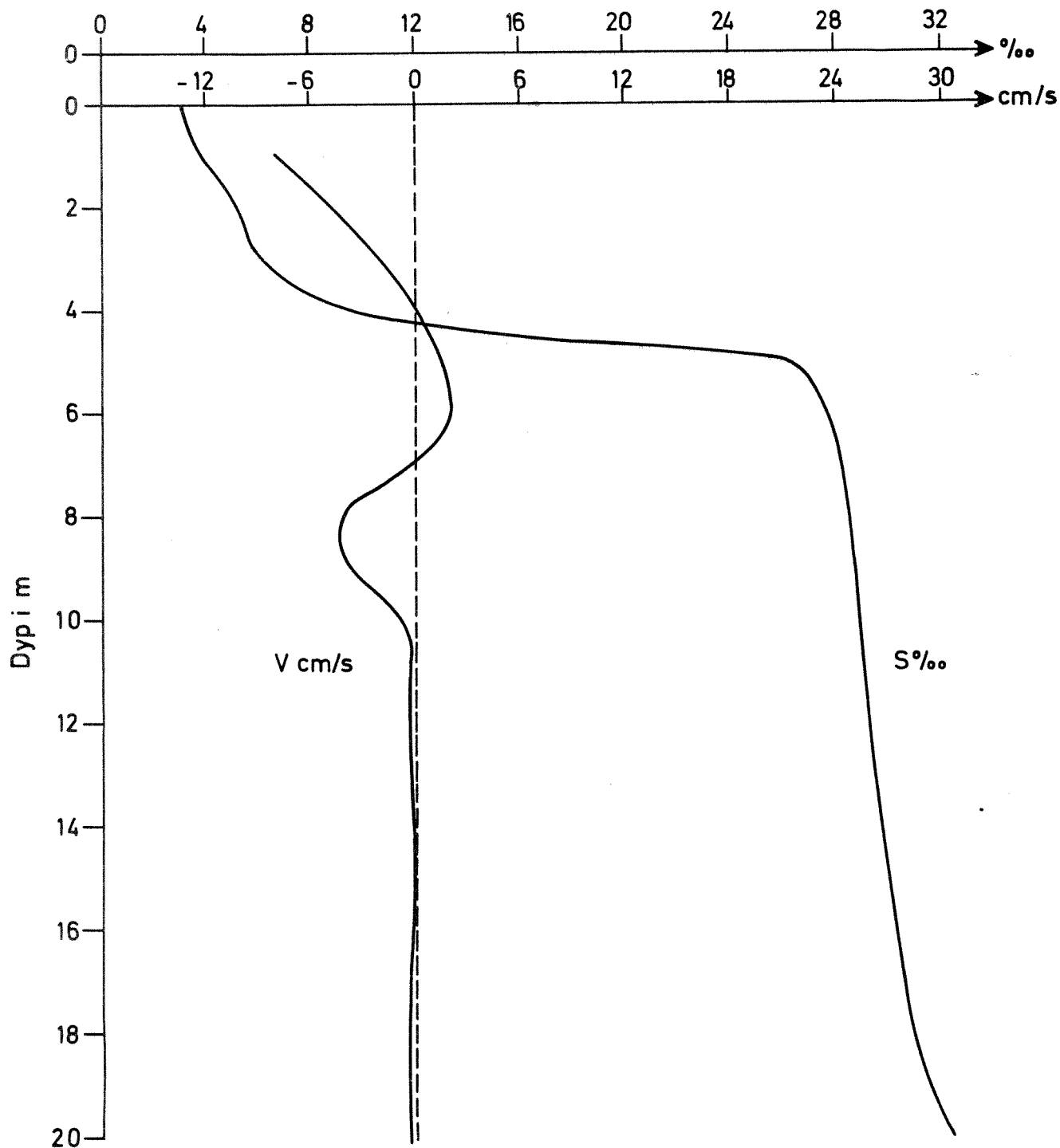


Fig. 23 St. P2 14.2 1975 kl. 13. Måling av ström og saltholdighet.  
 Ström dekomponert langs 105°(+)-285°(-)

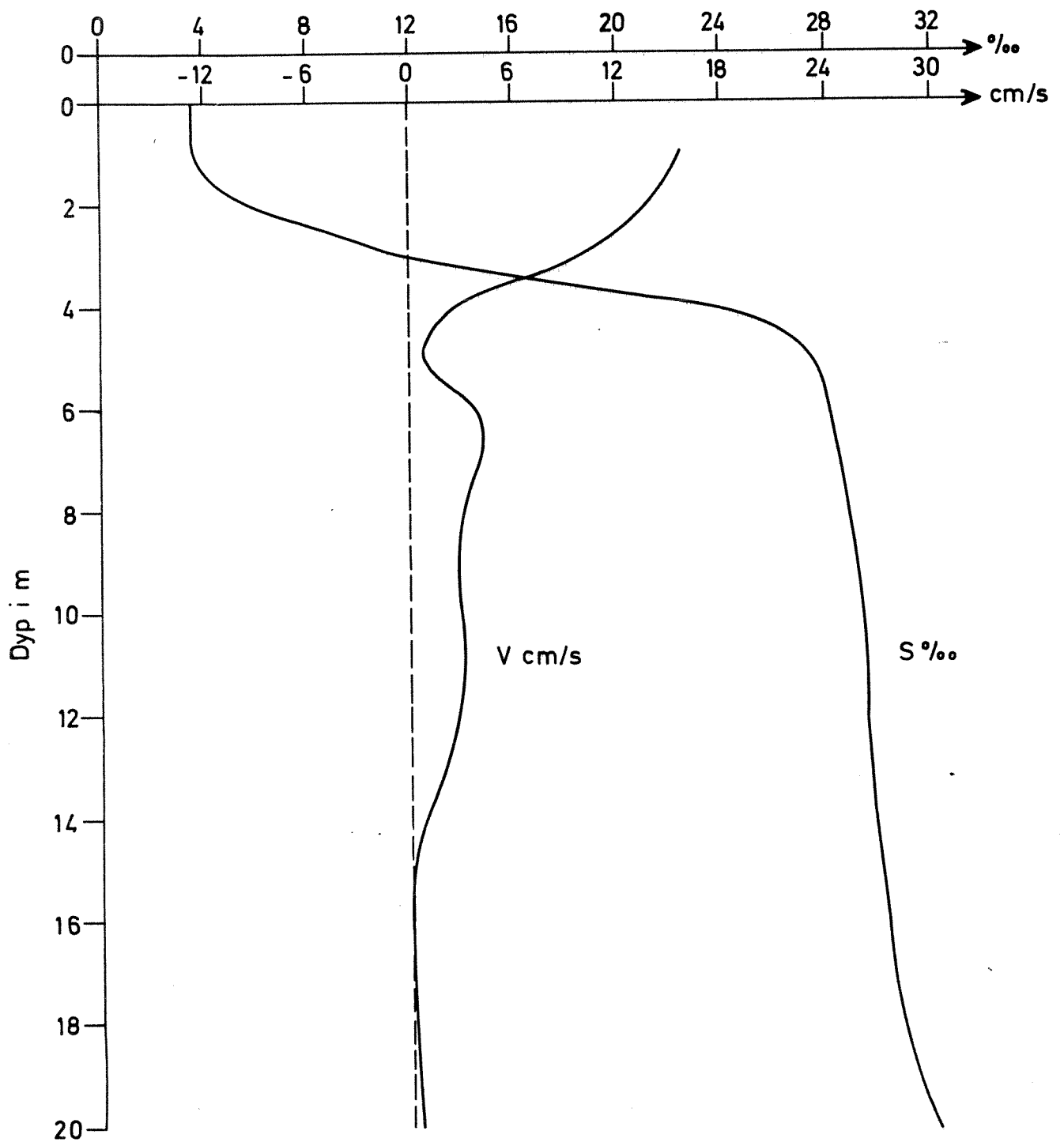


Fig.24 St. P5 14.2 1975 kl.1130. Måling av ström og saltholdighet. Ström dekomponert langs 160°(+)-340°(-)

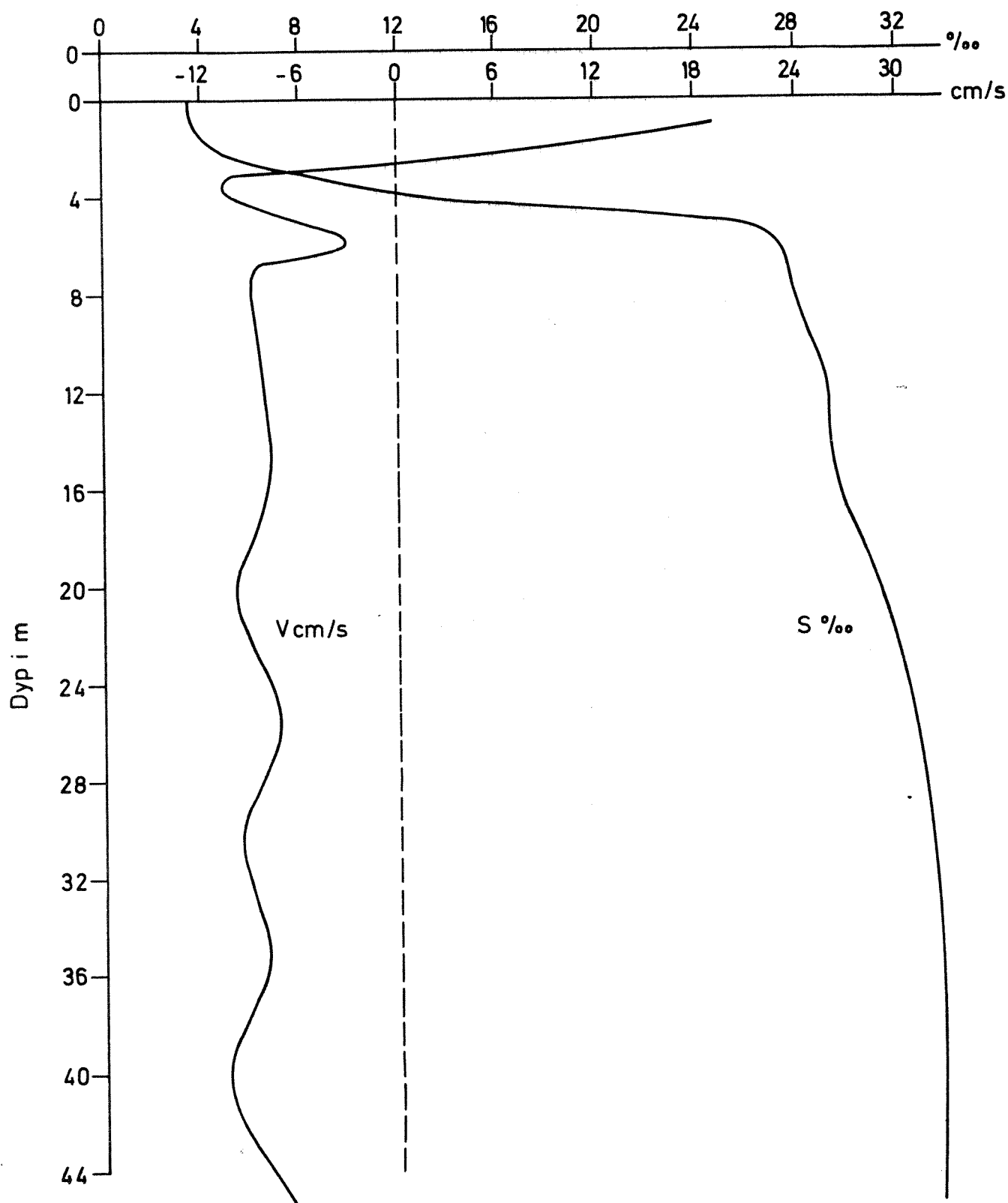


Fig. 25 St. P8 14.2 1975 kl. 1155. Måling av ström og saltholdighet. Ström dekomponert langs 155°(+)-335°(-)



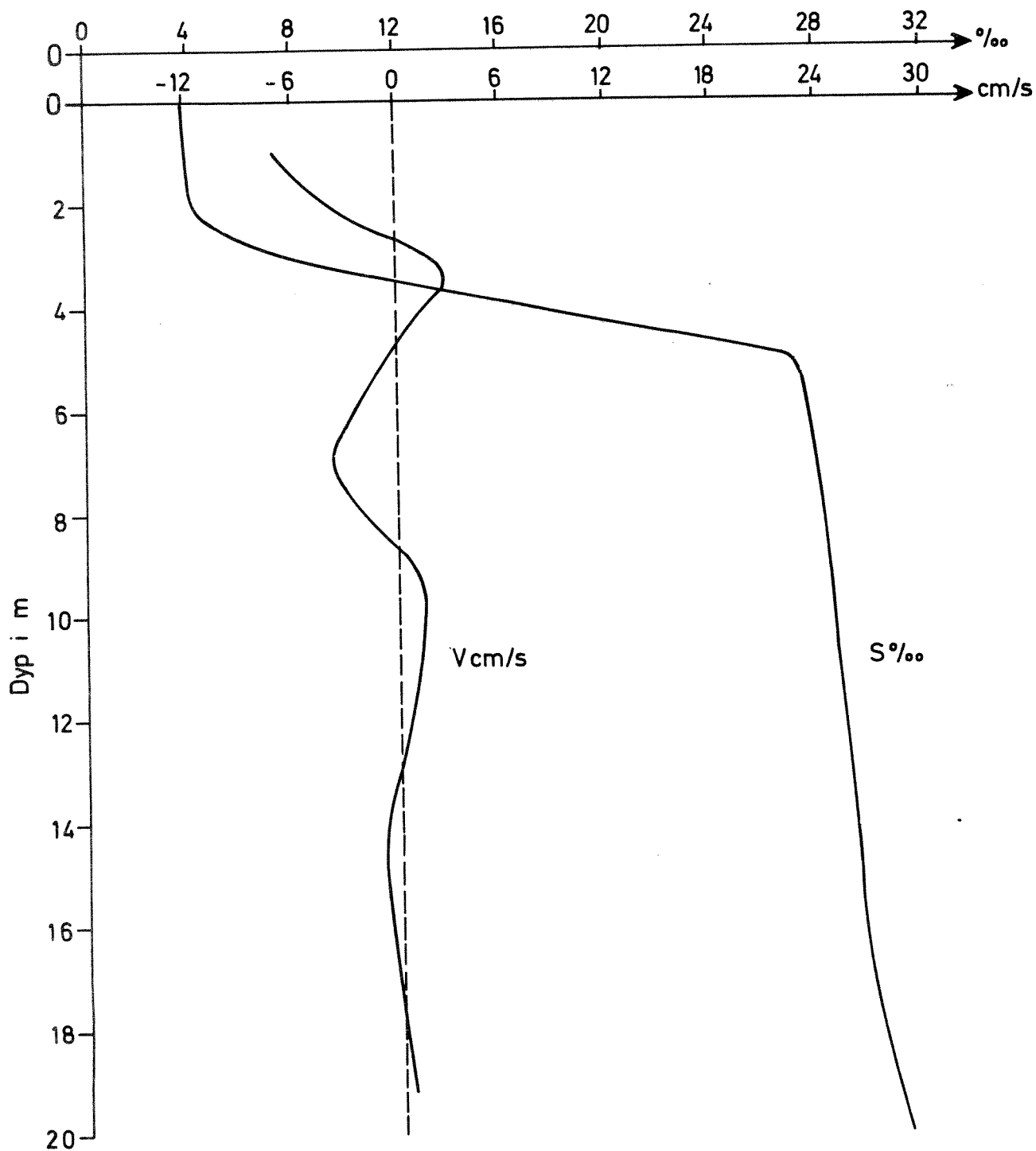


Fig.26 St. P10 14.2 1975 kl. 15.45. Måling av ström og saltholdighet. Ström dekomponert langs 120°(+)-300°(-)

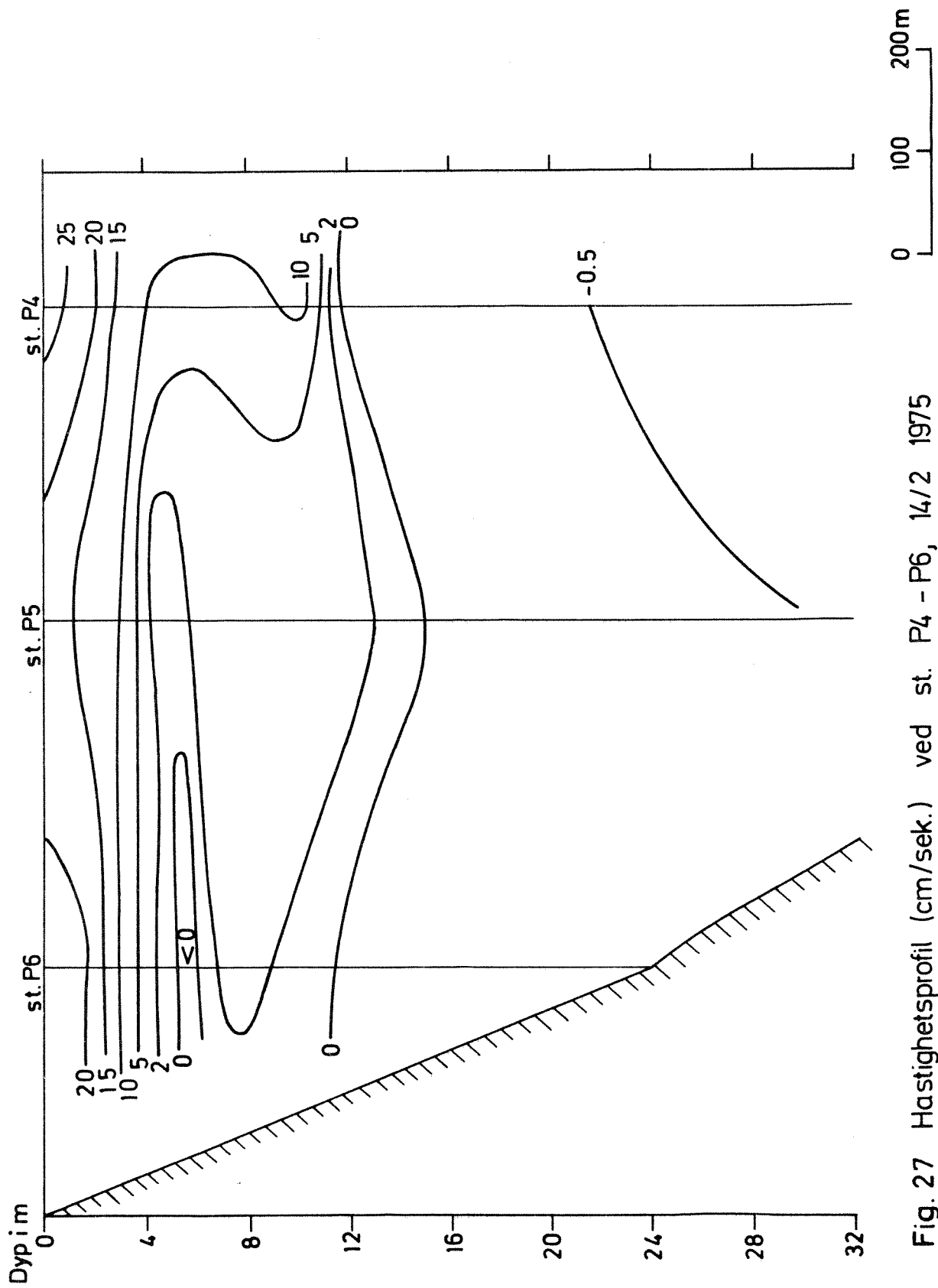


Fig. 27 Hastighetsprofil (cm/sek.) ved st. P4 - P6, 14/2 1975  
 Ström mot 160° positiv, ström mot 340° negativ

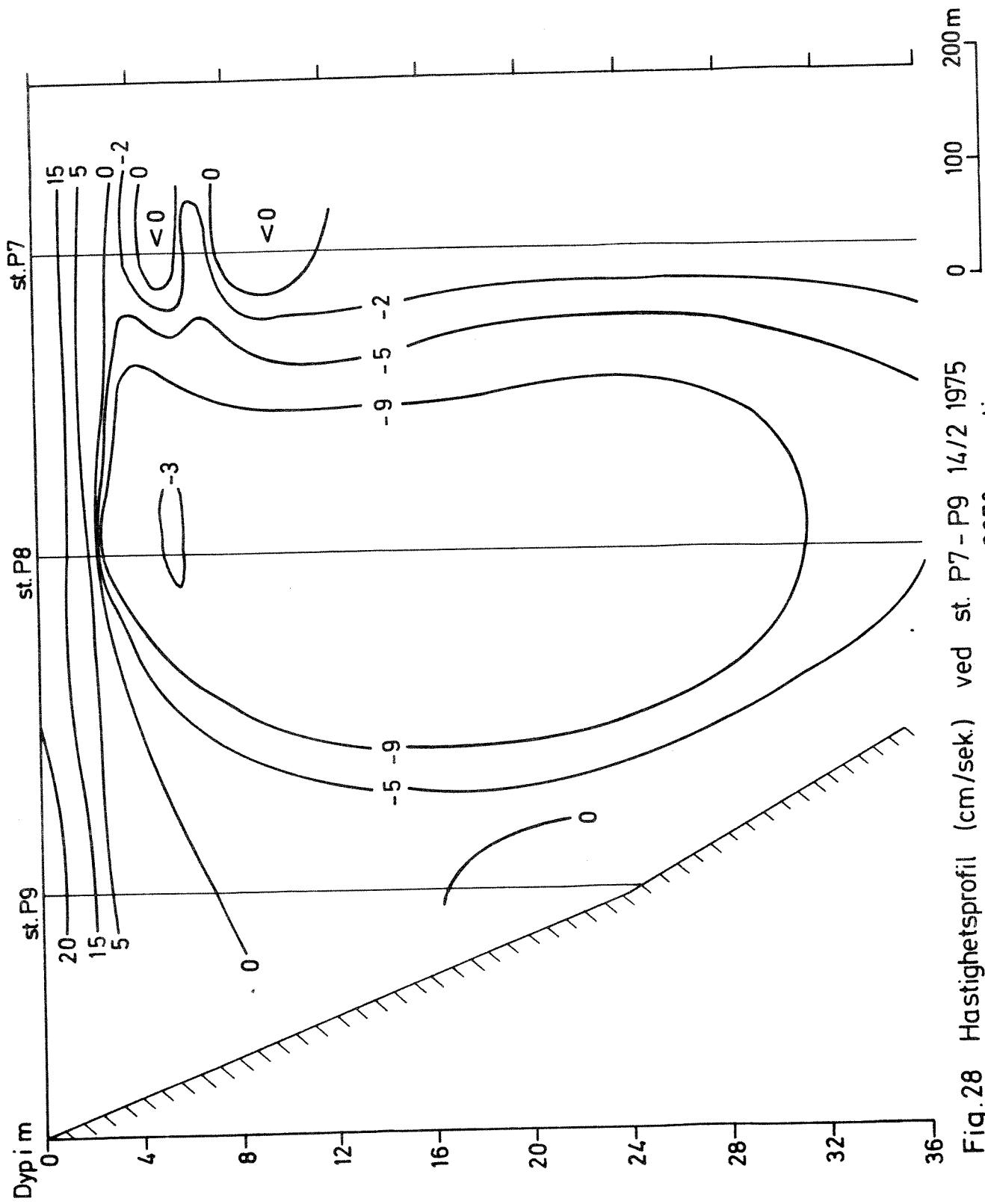
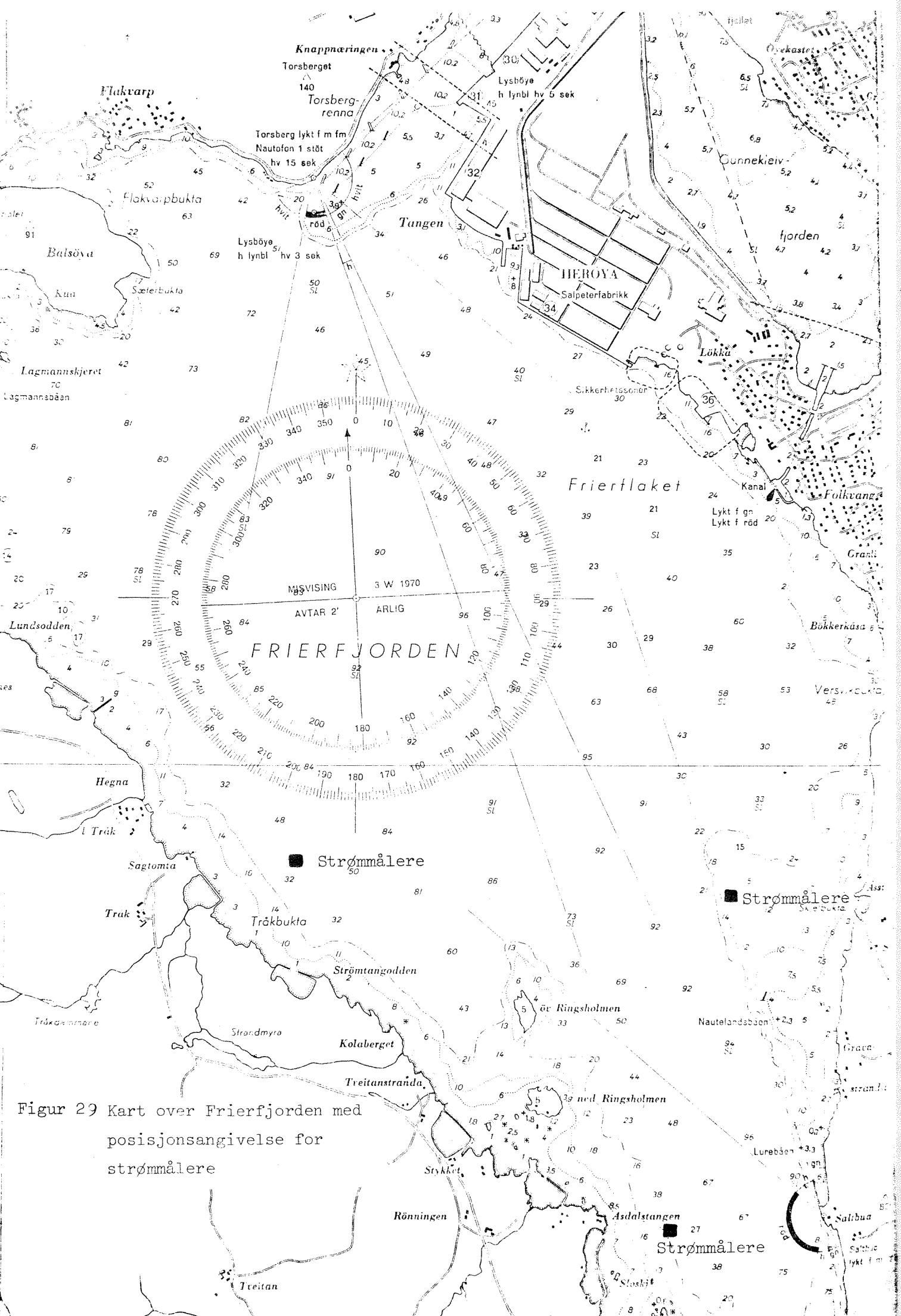


Fig.28 Hastighetsprofil (cm/sek.) ved st. P7 - P9 14/2 1975  
 Ström mot 155° positiv, ström mot 335° negativ



Figur 29 Kart over Frierfjorden med posisjonsangivelse for strømmålere