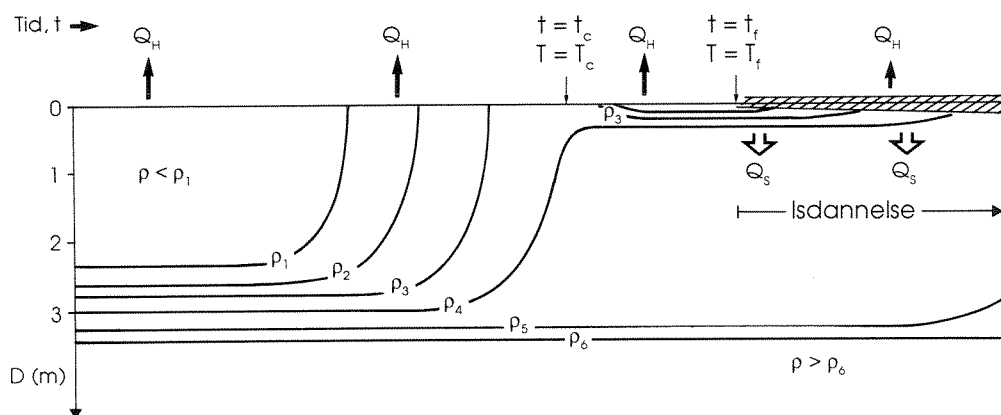




O-90217

# Vurdering av Rana Gruber AS sitt industriavløp i indre Ranafjorden



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: <b>90217</b>
Undernummer:
Løpenummer: <b>2656</b>
Begrenset distribusjon: <b>nei</b>

Rapportens tittel: <b>VURDERING AV RANA GRUBER A/S SITT INDUSTRIAVLØP I INDRE RANAFJORDEN</b>	Dato: <b>oktober 1991</b>
Forfatter (e): <b>L. G. Golmen</b>	Prosjektnummer: <b>90217</b>
	Faggruppe: <b>Industriforurensing</b>
	Geografisk område: <b>Nordland fylke</b>
	Antall sider (inkl. bilag): <b>62</b>

Oppdragsgiver: <b>RANA GRUBER A/S, v/ L. Schreiner 8630 Storforshei</b>	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

#### Ekstrakt:

Rana Gruber A/S skal i 1993 endre sitt utslipp av grovfraksjonsmasse i avgangen fra oppredningsvirksomheten. Det foreligger tre alternativer for framtidige utslipp i Indre Ranafjorden. Heri inngår også utslipp av finfraksjonsmasse, enten sammen med grovfraksjon gjennom felles ledning, eller i separat ledning. I rapporten vurderes spredningsbetingelsene for de ulike alternativene. For finfraksjonen konkluderes det med at utslipp gjennom ny ledning i 15 m dyp gir minst påvirkning utover i fjorden, men størst nærsonepåvirkning. Nytt utslipp i 50 meters dyp gir minst nærsonepåvirkning, men størst fjernsonepåvirkning. Utslipp for grovfraksjonsdelen anbefales ført til områder sør for jetéen, der hvor fylling tidligere foregikk.


4 emneord, norske:

1. Ranafjorden
2. Rana Gruber A/S
3. Dykkede utslipp
4. Konsekvensvurdering

4 emneord, engelske:


- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:



L. G. Golmen

For administrasjonen:



Torgeir Bakke

ISBN 82-577-1964-1

**O-90217**

**VURDERING AV RANA GRUBER A/S SITT  
INDUSTRIAVLØP I  
INDRE RANAFJORDEN**

NIVA Bergen/Oslo  
10. oktober 1991

Lars G. Golmen, prosj.leder  
Jan Magnusson, medarb.  
Torolf Tjomsland, "

## FORORD

Rana Gruber A/S i Mo i Rana skal i nær framtid legge om sitt utslipp av grovfraksjonsmasser fra oppredningsvirksomheten. Grovfraksjonen går i dag til fyllingsområdet i Mellomvika. I denne sammenheng ba Rana Gruber A/S i februar 1991 NIVA om å vurdere ulike alternativer til utslipp i fjorden, og å komme med anbefalinger i samband med dette.

For å få gjennomført de nødvendige undersøkelser, har NIVA vært avhengig av lokal hjelp undervegs. Det rettes i denne sammenheng spesiell takk til Havnekontoret v/Fagerheim, og til Rana Gruber A/S, v/ L. Schreiner. Sistnevnte har vært oppdragsgivers kontaktperson, og har supplert NIVA med diverse opplysninger og data undervegs.

Hos NIVA har Jan Magnusson, Terje Hopen og Torolv Tjomsland bistått med databehandling og modellkjøringer. Inger Midttun har bistått med tekstredigering og klargjøring av figurer. Lars G. Golmen har vært ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet.

Lars G. Golmen

## INNHOOLD

SAMMENDRAG . . . . .	1
HYDROFYSISKE UNDERSØKELSER I INDRE RANAFJORDEN I 1991 . .	3
1. INNLEDNING . . . . .	3
1.1. Bakgrunn for undersøkelsen . . . . .	3
1.1.1. <u>Dagens utslipps-situasjon</u> . . . . .	3
1.1.2. <u>Framtidige utslipp fra Rana Gruber</u> . . . . .	6
1.2. Tidligere undersøkelser i Ranafjorden . . . . .	7
1.3. Omfang av undersøkelsene i 1990-91 . . . . .	9
1.4. Beskrivelse av Ranafjorden . . . . .	11
1.5. Spesielle problemstillinger . . . . .	15
1.5.1. <u>Spredning fra dykkede utslipp</u> . . . . .	15
1.5.2. <u>Islegging</u> . . . . .	16
2. DATAPRESENTASJON . . . . .	19
2.1. Hydrografiske data 1990-1991 . . . . .	19
2.1.1. <u>Tidsutvikling</u> . . . . .	19
2.1.2. <u>Vertikalprofiler</u> . . . . .	19
2.1.3. <u>Tidsserier fra strømmålingene</u> . . . . .	30
2.1.4. <u>Snitt tvers over fjorden 29/4 1991</u> . . . . .	35
2.1.5. <u>Måling av lystransmisjon</u> . . . . .	37
2.2. Strømmålinger . . . . .	40
2.2.1. <u>Langtidsserien</u> . . . . .	40
2.2.2. <u>Vertikalprofiler av strøm</u> . . . . .	40
2.2.3. <u>Strømkorsforsøk</u> . . . . .	41
3. VURDERING AV UTSLIPPSALTERNATIVENE . . . . .	49
3.1. Bakgrunnsdata . . . . .	49
3.2. Primærfortynning og innlagringsdyp . . . . .	49
3.2.1. <u>Betingelser</u> . . . . .	49
3.2.2. <u>Utslippsalternativene</u> . . . . .	52
3.2.3. <u>Resultater for innlagringsberegninger</u> . . . . .	54
3.3. Vurdering av framtidige utslipp . . . . .	56
3.3.1. <u>Utslipp av grovfraksjonen</u> . . . . .	56
3.3.2. <u>Utslipp av finfraksjon</u> . . . . .	58
3.4. Konsekvenser for islegging . . . . .	60
3.4.1. <u>Beregning av vannsøylens isberedskap</u> . . . . .	60
LITTERATURLISTE . . . . .	62

**SAMMENDRAG**

Rana Gruber A/S produserer store avfallsmengder i forbindelse med oppredning av malm. Avfallet separeres i en grovfraksjon og en finfraksjon av partikulært materiale. Avfallsmengdene i dag er som følger (basert på 5000 driftstimer/år):

	Finfraksjon (tonn)		Grovfraksjon (tonn)	
	pr time	pr år	pr time	pr år
Faststoff:	45	225000	180	$9.0 \cdot 10^5$
Vann:	1575	$7.9 \cdot 10^6$	925	$4.6 \cdot 10^6$

I dag slippes finfraksjonen ut på 45 m dyp nord for Koksverkskaia, mens grovfraksjonen brukes til å fylle opp et område av havna. Dette fyllingsarbeidet vil være avsluttet i løpet av 1993. Rana Gruber A/S må derfor innen den tid etablere nytt utslipp for grovfraksjonen.

I denne rapporten er tre foreslåtte løsninger for framtidig utslippsarrangement vurdert med omsyn til spredning i resipienten:

Alt. I Det legges helt ny avgangsledning med større tverrsnitt ut til et ikke spesifisert dyp. Og det bygges en ny pumpestasjon for total avgang, d.v.s. finfraksjon sammen med grovfraksjon.

Alt. II Grovfraksjonen kjøres over til moloen (jetéen) og slippes ut på bunndyp 15-20 meter, gjennom eksisterende, nå ikke benyttet rørledning. Finfraksjonen slippes som i dag ut på 45 m dyp utafor Rana Grubers skipningsanlegg.

Alt. III Grovfraksjonen pluss en vesentlig del av finfraksjonen (den grovere andelen) slippes utenfor moloen til bunndyp 15-20 meter (som alt. 2). Resterende del av finfraksjonen (den fineste delen) slippes som i dag ut på 45 m dyp utenfor skipningsanlegget.

Mengdene av vann og faststoff for de ulike alternativene blir som følger:

ALTERNATIV	FASTSTOFF tonn/time	VANN tonn/time
Alt. I, nytt utsl.	225	2500
Alt. II, v/ molo	180	925
Alt. II, 45 m d.	45	1575
Alt. III, v/ molo	220	1100
Alt. III, 45 m d.	5	1400

Basert på de spesifiserte utslippsmengdene har NIVA foretatt en analyse av sannsynlig spredningsmønster for det partikulære materialet i Indre Ranafjorden. Det er ikke gjort særskilte vurderinger omkring mulige biologiske effekter. For alternativ I er det gjort simuleringer med utslipp i 15m, 25m og 50m. Analyser og beregninger er stort sett basert på eldre måledata fra NIVAs database, og generell kunnskap om strømforhold og hydrografi i Indre Ranafjorden.

I løpet av 1990 og 1991 ble det gjennomført noen tilleggsundersøkelser i fjorden. Disse bestod av hydrografisk profilering (måling av salinitet og temperatur nedover i dypet) til ulike tider, strømmålinger inne i Gullsmedvika, samt måling av lystransmisjon i fjorden.

#### FINFRAKSJON

I vurderingene for utslipp av finfraksjon skilles det mellom de løsningene som gir mest lokal påvirkning, med sedimentering i indre deler av fjorden (havneområdet), og de løsningene som innebærer større risiko for spredning utover i fjorden. For denne fraksjonen synes nytt felles utslipp i 15 meter i tilknytning til alternativ I å gi minst fjernsonepåvirkning. Deretter rangeres alternativ III og alternativ I, utslipp i 25 m.

For minst lokal påvirkning (best spredning) synes alternativ I, med utslipp i 50 m, og dernest alt. II best. Alternativ I kan imidlertid medføre større risiko for driftstekniske problemer på grunn av stor avløpsfluks, og dyp forankring, slik at alternativ II i praksis synes gunstigst.

#### GROVFRAKSJON

For grovfraksjonens del vurderes kun plasseringen av utslippet, siden det meste vil synke til bunns nær utslippet, og ikke medføre spredning av stoff i vannmassene. Tidvis vil utrasinger og suspensjonsstrømmer bli utløst. Godt skrånende bunn er viktig for å lede disse strømmene nedover i dypet. Derfor synes en plassering av utslipp i nærheten av eksisterende, men ikke benyttet ledning ved jetéen å være gunstigst. Dette innebærer automatisk både alt. II og III, men også alt. I, forutsatt at ny ledning blir plassert i nevnte område.

Det er også foretatt vurderinger av hvorvidt utslippene fra Rana Gruber påvirker isleggingen, eller effekten av bobleanlegget i utløpet av Ranaelva. Resultatene tyder på at det er lite sannsynlig at utslippene verken påvirker, eller vil komme til å påvirke disse faktorene i nevneverdig grad.

## HYDROFYSISKE UNDERSØKELSER I INDRE RANAFJORDEN I 1991

### 1. INNLEDNING

#### 1.1. Bakgrunn for undersøkelsen

Industristedet Mo ligger ved utløpet av Ranaelva, i enden av Ranafjorden (fig. 1.1) i Nordland fylke. Inste delen av denne fjorden kalles Nordrana, eller bare Indre Ranafjorden. Mo har hatt, og har fremdeles flere store bedrifter, som Norsk Jernverk, Norsk Koksverk (nedlagt 1988) og Rana Gruber. Nylig er Rana Kemi A/S etablert. Den omfattende industriaktiviteten har medført, og medfører fortsatt betydelige utslipp og deponier i Indre Ranafjorden (Nordrana). Utslippene består for det meste av oppløst materiale og slam fra oppredningsvirksomhet. Noe av materialet sedimenterer nær utslippene, og noe spres i fortynnet form utover i fjorden (NIVA 1977a).

Rana Gruber A/S fører i dag sine utslipp av partikulært materiale (grovfraksjon) til et fyllingsområde i Mellomvika (Gullsmedvika), sør for Koksverk-kaia (fig. 1.2). Utfylling der har foregått siden 1987. I løpet av 1993 skal dette fyllingsarbeidet være avsluttet. Rana Gruber må da etablere nytt utslipp av grovfraksjonen. Det eksisterer en gammel konsesjon (fra 1980) som tillater utslipp gjennom en eksisterende (nå ikke benyttet) rørledning som munner ut på 15 m dyp SV for moloen (jetéen); posisjon B i fig. 1.2.

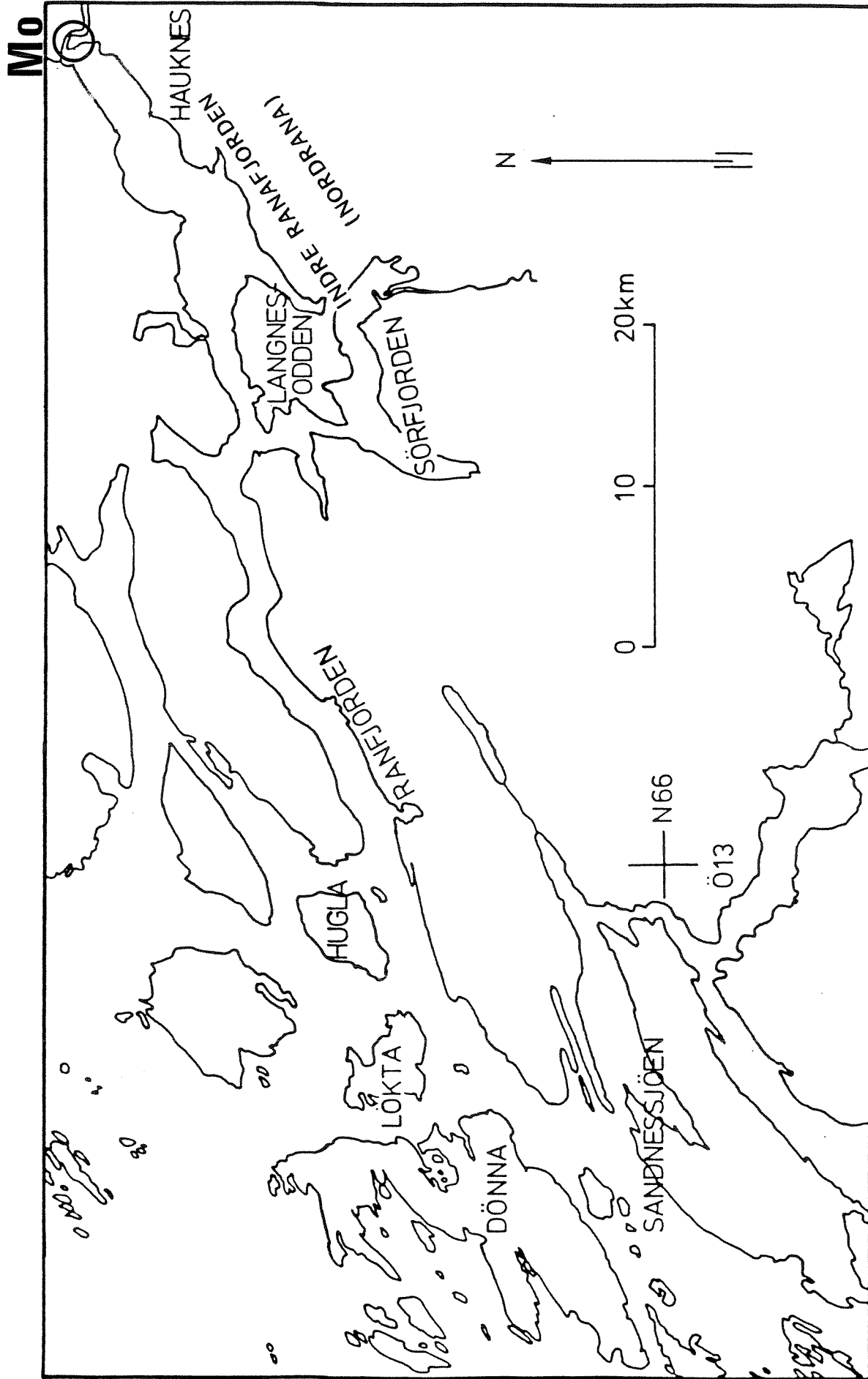
På grunn av sterk økning i renvannsforbruket hos Rana Gruber de siste åra, har denne ledningen ikke kapasitet til å ta seg av de samlede utslippsmengdene i dag. Det må derfor i løpet av 1993 etableres nytt utslipp, med større kapasitet enn det eksisterende rørledninger tillater. Rana Gruber har her skissert tre ulike løsninger, hvor benyttelse av eksisterende rørledninger inngår i to av alternativene.

NIVA er bedt om å vurdere de tre utslippsalternativene m.o.t. miljøkonsekvenser. Herunder inngår vurderinger av optimalt utslippsdyp, og utslippssted. Utslippene medfører at løst finfraksjonsdel transporteres utover i fjorden, før sedimentering. Målsettingen må være å få spredningen og fortynningen så effektiv som mulig. I problemstillingene inngår også vurderinger av mulig vekselvirkning mellom det framtidige utslippet og det eksisterende bobleanlegget ved utløpet av Ranaelva.

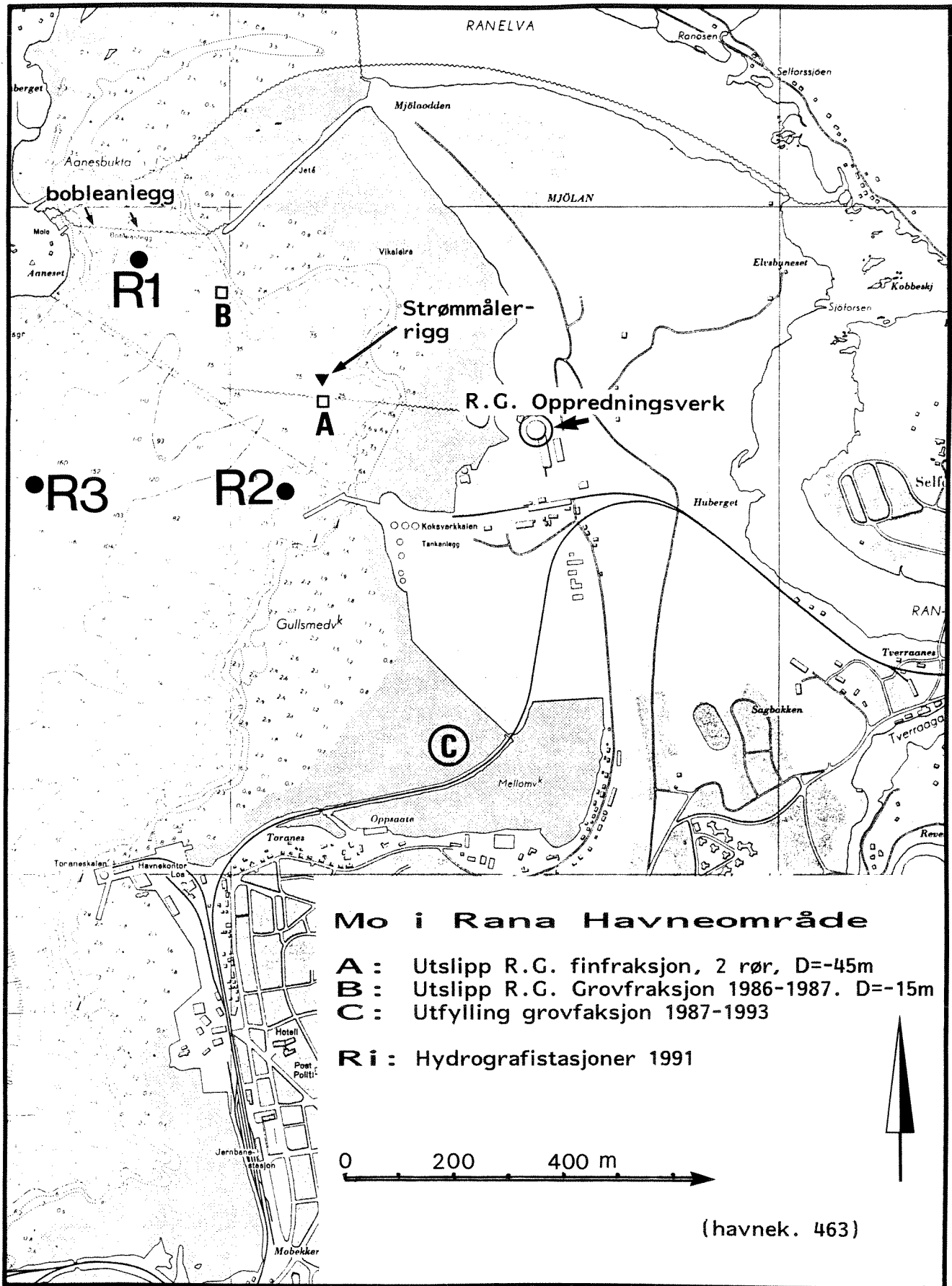
##### 1.1.1. Dagens utslipps-situasjon

Rana Gruber A/S sitt utslipp av grovfraksjon går i dag ut i fyllingsområdet merket merket "C" i fig. 1.2. Dette fyllingsområdet utgjør framtidig kai- og tomteareal. Finfraksjonen slippes ut på ca. 45 m dyp utenfor Vikaleira, litt nord for Koksverk-kaia. Omtrentlig utslippssted er antydnet i Fig. 1.2 (posisjon "A"). Det dreier seg om to ledninger, med diameter h.h.v. 24cm og 31.5 cm. Dybdeforskjellen mellom disse to utslippene er ca. 2 meter.





Figur 1.1. Kart over ytre og indre deler av Ranafjorden.



Figur 1.2. Kart over havneområdet i Mo, med posisjon for målestasjonene i Indre Ranafjorden i 1990-1991. Rana Grubers utslippspunkter er også inntegnet.

I følge opplysninger fra Rana Gruber, er dagens utslippstall som angitt i tabell 1.1.

**Tabell 1.1.** Utslipp til sjø og deponier fra Rana Gruber A/S pr. 1991.

	Finfraksjon (tonn)		Grovfraksjon (tonn)	
	pr time	pr år	pr time	pr år
Faststoff:	45	225000	180	$9.0 \cdot 10^5$
Vann:	1575	$7.9 \cdot 10^6$	925	$4.6 \cdot 10^6$

Faststoffverdiene er basert på en egenvekt lik  $1.8 \text{ tonn/m}^3$ . Timesverdiene er basert på 5000 driftstimer pr år. Volummessig dominerer utslippene av vann. Finfraksjonen består av to deler: fra underløp av fortykkeren (40 tonn/time) og fra overløp fortykker/overløp "Rheax" (5 tonn/time). Tilsammen 45 tonn/time, tilsvarende  $25 \text{m}^3/\text{time}$ .

Siden begynnelsen av 1980 årene, har utslippene til Ranafjorden blitt vesentlig endret. Norsk Koksverk og Mofjellet Gruber er innstilt. Jernverket har fått endret produksjon, og har etablert et nytt, dypere utslipp. Rana Kemi AS er startet, og har relativt store kjølevannsutslipp ( $250 \text{ l/s}$ , tilsv.  $900 \text{ m}^3/\text{time}$ ). Kommunale utslipp (kloakk m.m.) utgjør ca.  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , ( $11,000 \text{ m}^3/\text{time}$ ), tilsvarende 7-8 ganger Rana Grubers utslippsmengder. I følge opplysninger fra Rana Gruber, finnes det ikke oppdaterte tall for samlede forurensingsutslipp til Ranafjorden siden 1980/1981.

Også Rana Gruber har redusert sin produksjon. Utslippene derfra utgjør imidlertid fortsatt det alt vesentligste av tilførselene av partikulært materiale til Ranafjorden. Utslippstall fra 1975 synte årlige vannutslipp på 8.2 mill tonn, og årlige faststoffutslipp på 1.8 mill tonn. I 1980/1981 var sistnevnte estimat økt til 2.1 mill tonn/år (NIVA 1983a). Dagens utslipp (tabell 1.1) basert på års-verdier (og 1975 tallene) utgjør h.h.v. 152 % for vann og 63% for faststoff. Mer vann og mindre avgang i dag i forhold til for 10-15 år siden, som tidligere nevnt.

#### 1.1.2. Framtidige utslipp fra Rana Gruber

Det foreligger pr. 1991 tre ulike alternativer for framtidige utslipp. Alternativene 2 og 3 går ut på å lage adskilte utslipp for grovfraksjon og finfraksjon, mens (noen av) dagens utslippsledninger fortsatt benyttes.

**Alt. 1.** Det legges helt ny avgangsledning med større tverrsnitt ut til et ikke spesifisert dyp. Og det bygges en ny pumpestasjon for total avgang, d.v.s. finfraksjon sammen med grovfraksjon.

Alt. 2. Grovfraksjonen kjøres over til moloen (jetéen) og slippes ut på bunn dyp 15-20 meter. Finfraksjonen slippes som i dag ut på 45 m dyp utafor Rana Grubers skipningsanlegg.

Alt. 3. Grovfraksjonen pluss en vesentlig del av finfraksjonen (den grovere andelen) slippes utenfor moloen til bunn dyp 15-20 meter (som alt. 2). Resterende del av finfraksjonen (den fineste delen) slippes som i dag ut på 45 m dyp utenfor skipingsanlegget. Teknisk sett skjer dette ved at en i eksisterende fortykker fører bunnløpet (sedimenterte masser) sammen med grovfraksjonen, mens overløpet (urent vann, finfraksjon) går ut på 45 m dyp som i dag.

Sum vannutslipp er 2500 m<sup>3</sup>/time, og sum faststoff (grovfraksjonen pluss grovere og finere deler av finfraksjonen) er 225 tonn/time for alle disse tre alternativene, som det framgår av tabell 1.1 og 1.2.

Fluksene for fin- og grovfraksjon som de ulike alternativene innebærer, er listet i tabell 1.2.

Tabell 1.2. Framtidige utslippsalternativer for h.h.v. vann og faststoff fra Rana Gruber.

ALTERNATIV	FASTSTOFF tonn/time	VANN tonn/time
Alt. I, nytt utsl.	225	2500
Alt. II, v/ molo	180	925
Alt. II, 45 m d.	45	1575
Alt. III, v/ molo	220	1100
Alt. III, 45 m d.	5	1400

## 1.2. Tidligere undersøkelser i Ranafjorden

Det har tidligere blitt utført en rekke undersøkelser av det marine miljøet i Ranafjorden. Bakgrunnen for disse undersøkelsene har variert. Effekter av vannreguleringer i Ranaelva (Rana Kraftverk) har stått sentralt, sammen med analyser af Rana Grubers og Koksverkets utslipp til Ranafjorden. Kraftverksreguleringene på 1960 tallet medførte endrede isforhold om vinteren. Det blei derfor etablert et bobleanlegg (1968) i utløpet av Ranaelva, med formål å stimulere blanding mellom ferskvann og fjordvann, slik at isdannelsen blei redusert. Seinere undersøkelser har dels gått ut på å etterprøve virkninger av ulike tiltak.

I det følgende gies en tidskronologisk oversikt over en del rapporter. Listen er ikke fullstendig. Referanse nr. 7 gir en omfattende oversikt over rapporter og utredninger til og med

1982, og det hevises til denne rapporten for en mer detaljert oversikt. Bare en liten del av foreliggende rapporter gir opplysninger som er relevante i den foreliggende problemstillingen.

1. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1963: Modellforsøk for utløpet av Ranaelva. Delrapport 1; forberedende målinger. I et snitt tvers over elveutløpet blei det i perioden 30/9 til 8/10 1963 målt strøm i ulike dyp med s.k. Ekman-flygel og Fjeldstad-flygel. Strømprofilene blei sammenholdt med målinger av vannføring i Ranaelva, som varierte fra 100 m<sup>3</sup>/s til 300 m<sup>3</sup>/s i måleperioden.
2. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1966: Rapport fra undersøkelser i perioden 1963-1965. Rapporten omhandler modellforsøk (laboratoriemodell) i tilknytting til planlagt bobleanlegg ved utløpet av Ranaelva. Optimal plassering av jetéene blei også undersøkt ved modellforsøk.
3. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1970: Suspensjonsstrømmer i naturen. Rapporten omhandler undersøkelser av bunnstrømmer (suspensjonsstrømmer) i Ranafjorden. Målingene blei gjort med ekkolodd. Industriavfall i sediment blei påvist helt ute ved Bustneset, 12 km fra utslippsstedene i Gullsmedvika.
4. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1971: Suspensjonsstrømmer i naturen. Rapport fra undersøkelser i Ranafjorden våren 1971. Det blei målt strøm i erosjonsrenna utenfor avgangsledningen. Videre målt partikkelkonsentrasjon i suspensjonsstrømmen.
5. NIVA, 1977: Resipientundersøkelse i Ranafjorden. Rapporten omhandler resultater fra analyser av sediment, plante og dyreliv (på grunt vann), samt hydrografi over en års-syklus fra 1975 til 1976. Rapporten inneholder en del teoretiske betraktninger om vannutskiftingen.
6. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1979: Etterkontroll av bobleanlegget. Omfattende datarapport for målinger gjennomført i Indre Ranafjorden i perioden 1978-1979. Materialet omfattet strøm, hydrografi og værddata.
7. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1979: Strømmålinger ved Koksverkkaia. En del strømmålerdata fra underside av Koksverkkaia er presentert og diskutert.
8. NHL (Vassdrags og Havnelaboratoriet) 1982: Oversikt over tidligere undersøkelser. En rekke undersøkelser (rapporter) fra Ranafjorden er gjennomgått og kommentert. Oversikten var ledd i et prosjekt omkring etterprøving av effekten av bobleanlegget.
9. NIVA, 1985: Rapport fra hydrofysiske undersøkelser i perioden 1980-1982 for å kvantifisere vannutskifting i intermediære og dypere vannmasser i Ranafjorden.

Rana Gruber har selv utført diverse målinger, bl a. strømmålinger for å undersøke erosjon ved utslippet.

### 1.3. Omfang av undersøkelsene i 1990-91

Målingene som er foretatt i den foreliggende undersøkelsen har hatt begrenset omfang. Dette fordi kjennskapet til hydrografiske forhold i Ranafjorden er antatt å være god.

#### Hydrografi

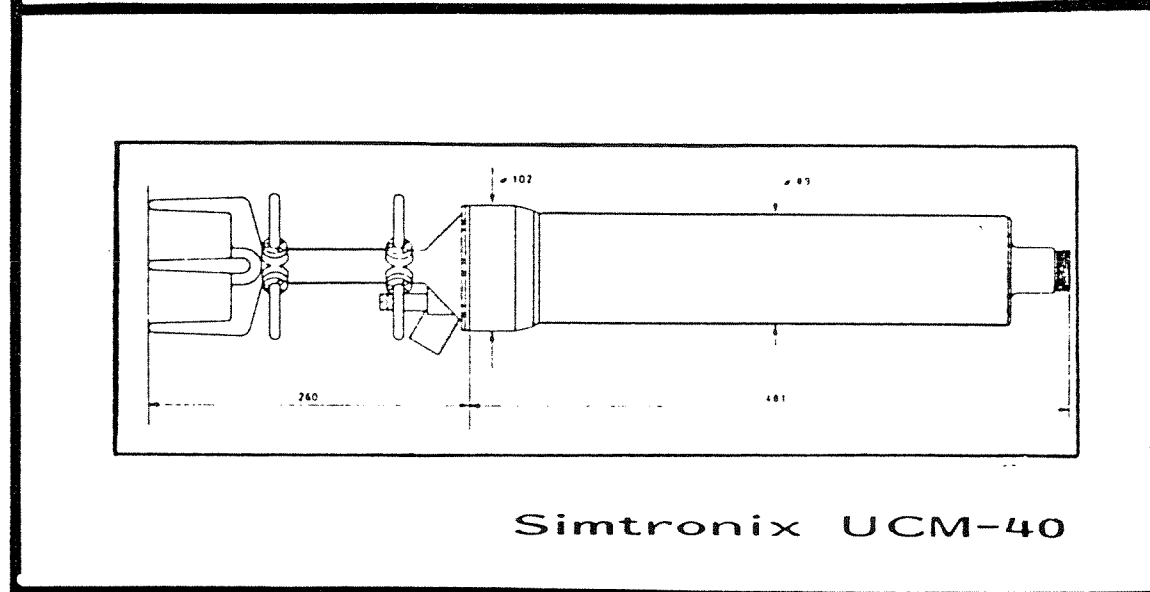
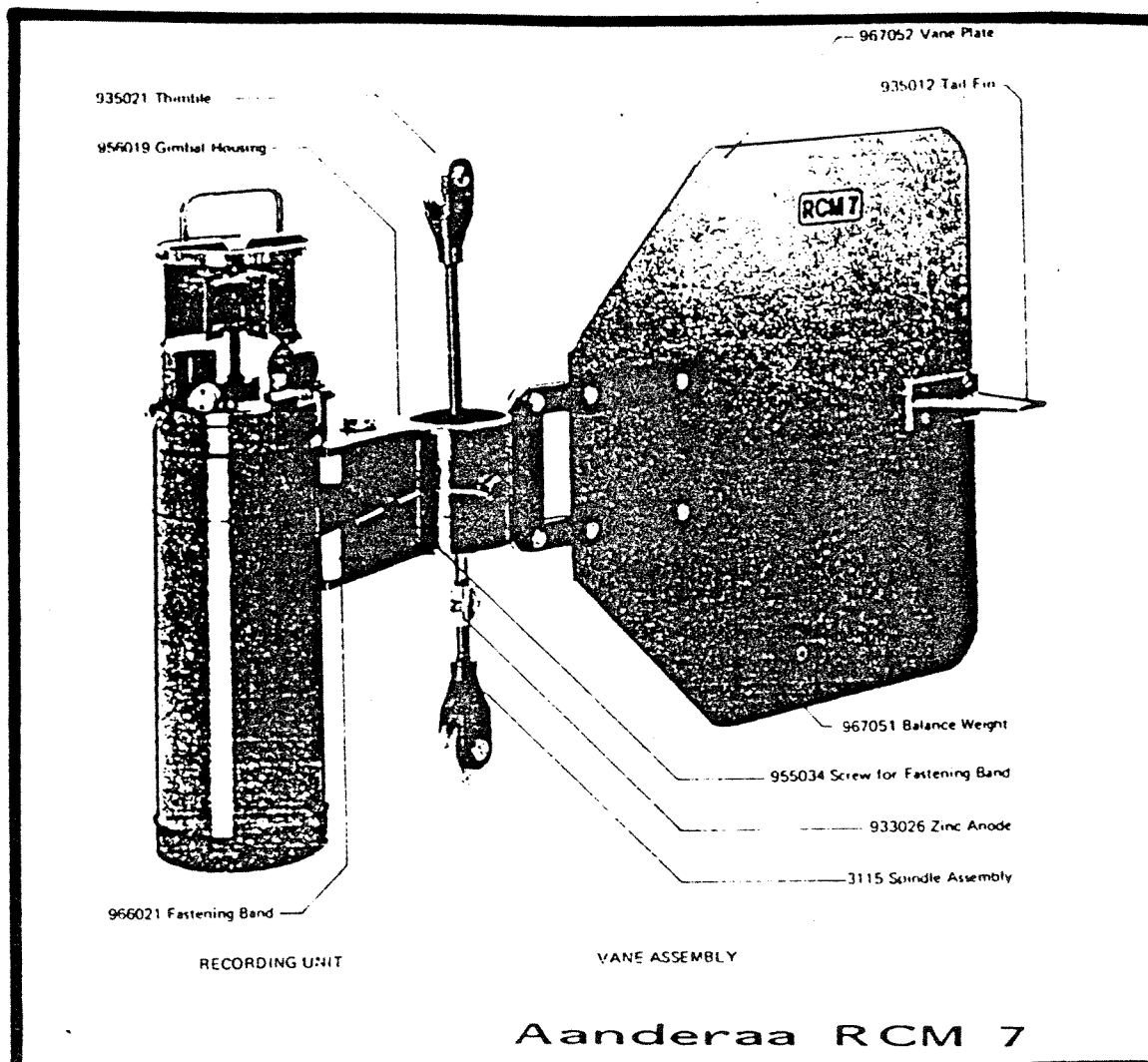
Nyere målinger som er blitt gjennomført (perioden 1980-81) hadde mangelfulle målinger fra vinteren (instrumentfeil). Det er derfor i 1990-1991 foretatt supplerende målinger av salinitet og temperatur i ulike dyp på tre stasjoner R1 - R3, som vist i figur 1.2. Hydrografitoktene blei gjennomført 5/10 1990, 19/2, 15/3, 29/4 og 19/8 1991. Tøktet 5/10 1990 omfattet flere stasjoner enn R1-R3. Det blei da også målt lystransmisjon, i tillegg til salinitet og temperatur. Resultater fra dette tøktet er rapportert i eget notat (NIVA, 1991a), men en del resultater blir også benyttet og viderebehandlet i denne rapporten. Tøktet 29/4 1991 var kombinert med utsetting av strømmålerriggen (se posisjon i fig. 1.2). Samtidig blei det gjort supplerende målinger av strøm (se neste avsnitt).

#### Strøm

Måleriggen bestod av forankret målebøye, med to måleinstrumenter i h.h.v. 4.5 m og 25 m dyp. Måleperioden var fra 29/4 1991 til 12/6 1991. Perioden blei vesentlig lengre enn planlagt. Måleintervallet til instrumentene var 10 minutter. Til disse målingene blei det benyttet instrumenter av type Aanderaa RCM (fig. 1.3), som i tillegg til strømsstyrke og retning, også måler sjøens salinitet og temperatur. Ved avspilling av måledata viste det seg at måleren i 25 m dyp bare hadde registrert i om lag en time. Feilen skyldes en liten lekkasje i en sensorgjennomføring. Måleren i 4.5 meters dyp hadde fungert tilfredsstillende hele perioden.

I samband med tøktet 29/4 1991 blei det foretatt profilering med ultralyd strømmåler av type Simtronix UCM-40 (fig. 1.3). Denne blei firt ned i kabel fra båten, og måledata (strøm, samt salinitet-temperatur-trykk) kunne lastes direkte ned på en medbrakt PC. Måleintervallet var satt til 2 sekunder. Selv om disse strømmålingene er følsomme for bevegelser av båten, kan de gi viktige opplysninger om vertikalt strømskjær, noe som har betydning for vertikal blanding i sjøen. I de tilfeller båten lå helt i ro (fortøyd i bøye), vil målingene gi et absolutt profil av strøm.

Noen enkle strømkorsforsøk ved utløpet av Ranaelva blei også gjennomført den 29/4.



Figur 1.3. Aanderaa RCM strømmåler (øverst) og Simtronix UCM-40 målesonde.

## 1.4. Beskrivelse av Ranafjorden

### Topografi

Problemstillingene som denne rapporten omhandler, er i det vesentligste knyttet til øvre vannmasser i Indre Ranafjorden (Nordrana, fig. 1.1). Ranafjorden som helhet er om lag 60 km lang, regnet fra øya Hugla og innover. Fjorden har flere terskler. Den grunneste er om lag 100 meter (mellom Løkta og Hugla). Langnesodden danner vestre grense for Indre Ranafjorden, som er om lag 20 km lang, og 2-5 km brei. Ved Langnesodden finnes en terskel med dybde 280 meter. Innafor er største dyp 530 meter.

### Hydrografi og strømforhold

Gjennom tidligere måleprogram har en fått et inntrykk av tilstand og variasjoner i strøm og hydrografi i Indre Ranafjorden. Målinger har vist at det forekommer store variasjoner over kort tid. Det er derfor ikke mulig å gi et helt entydig og statistisk bilde av tilstanden i fjorden.

Resultat fra målingene i 1980-1981 på daværende stasjon Ra-22 er synt i figur 1.4, som tidsisopleter av salinitet og temperatur. Denne stasjonen lå i nærheten av R3 fra 1991. Det framgår at saliniteter lavere enn 10 promille forekom det meste av tiden ned til 2-3 meters dyp. Det er (variasjoner i) saliniteten som har størst innflytelse på egenvekten (densiteten) til sjøvannet. Mellom ca. 2 meter og 7-8 meter meters dyp øker densiteten markert (sprangsjiktet). Dypere enn 8 meter er gradientene betydelig svakere.

Figur 1.4 avdekker mange detaljer i hydrografien. En ser at i løpet av november-desember 1980 økte overflatesaliniteten. Dette må ha tilknytning til endringer i ferskvannstilrenningen. I de intermediære vannmassene er det også relativt markerte variasjoner. Dypet for 33-isohalinen f.eks. varierte mellom 10 m og 45 m dyp i måleperioden.

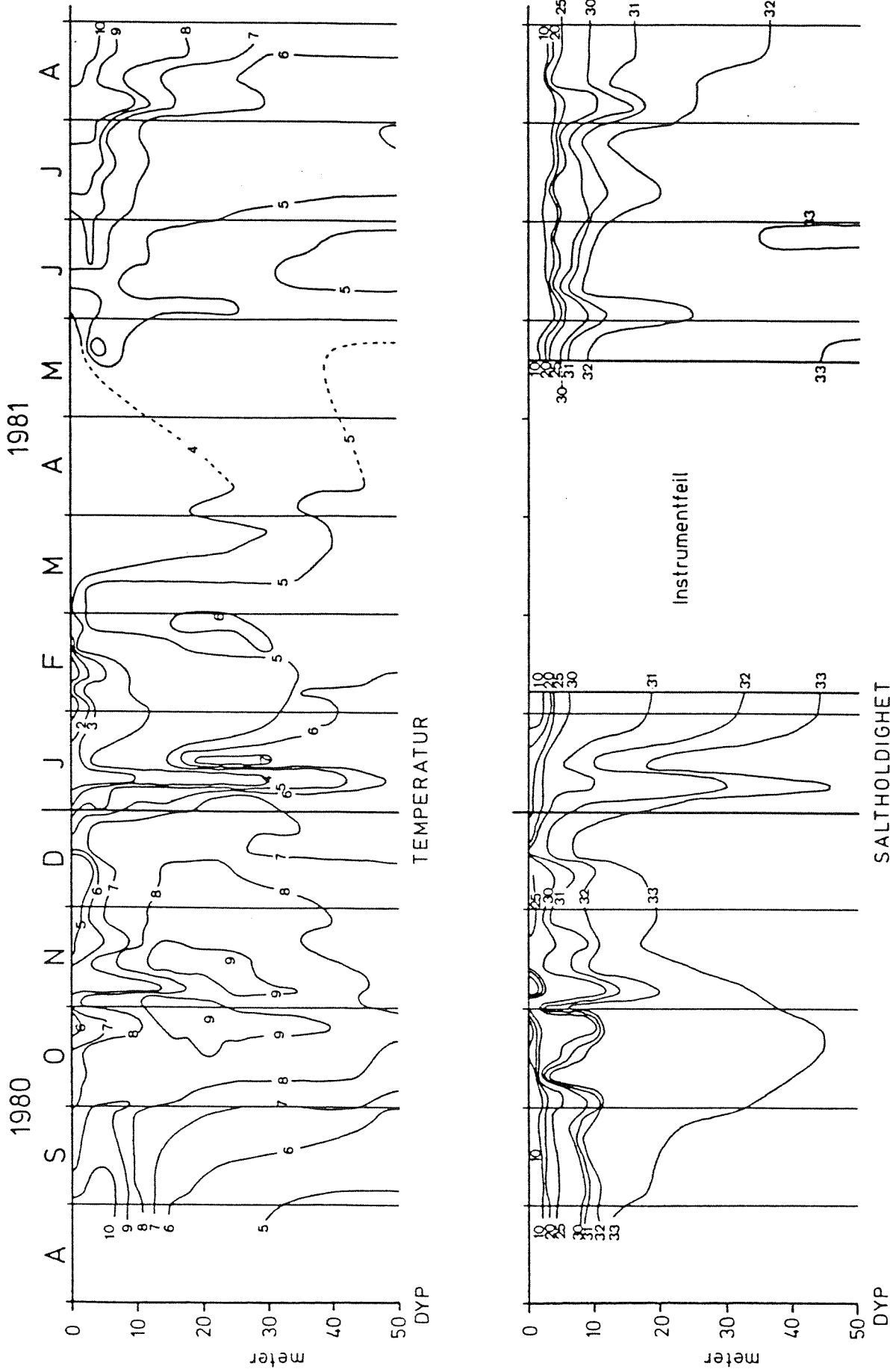
Strømforholdene i indre deler av fjorden er nært knyttet til vannføringen i Ranaelva. Heller ikke her er det mulig å gi et helt entydig bilde av forholdene. Figur 1.5 viser en del karakteristiske (og observerte) trekk ved elvestrømmen. Hovedstrømmen følger det dypeste partiet av fjorden sørvestover. I havneområdet (hvor Rana Grubers utslipp ligger), er det tendens til bakevjer, med strøm i retning nordover ved Koksverkkaia. Den nordoverrettede strømmen synes være kraftigst på fallende sjø (NHL 1979).

### Ferskvannstilrenning

Ranaelva er viktigste ferskvannskilde (ca. 90 % av all tilrenning) for Ranafjorden. Midlere vannføring i denne elva, som er sterkt regulert, er 325 m<sup>3</sup>/s (NIVA 1977a). Der er en betydelig tilrenning også om vinteren, noe som bl. a. medfører markert brakkvannslag og isingsproblemer, som nevnt innledningsvis.



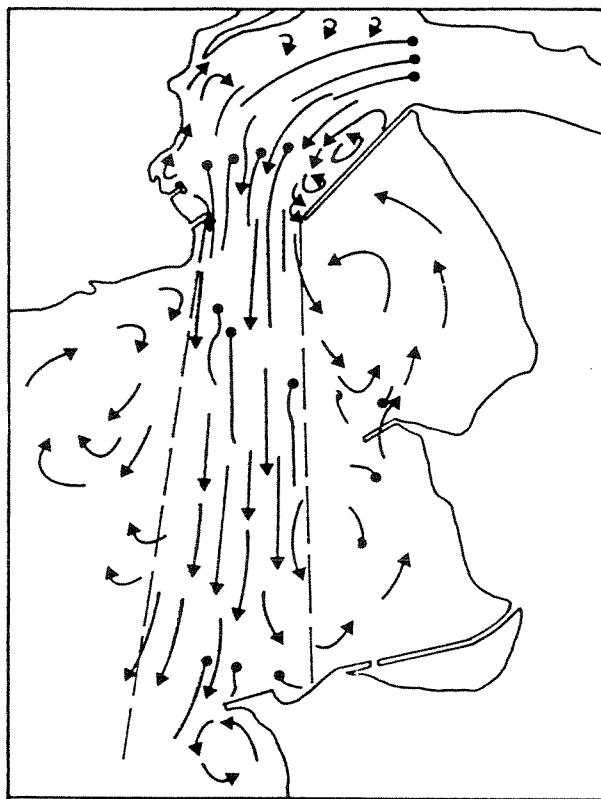
# Nordrana: RA-22



Figur 1.4. Isopletdiagram over salinitet og temperatur i Indre Ranaffjorden (Nordrana) i perioden august 1980 til august 1981.

Temperaturen i Ranaelva holder seg vanligvis i området 2-3°C fra desember til ut april (fig. 1.6). Høyeste temperaturer forekommer i juli-august, med månedsmiddel rundt 12°C. Der er vesentlige variasjoner fra år til år. Målte ekstremverdier varierer mellom 0°C og 20°C. Årsmiddelet er anslått til 5.6°C (Kilde: L. Schreiner, Rana Gruber).

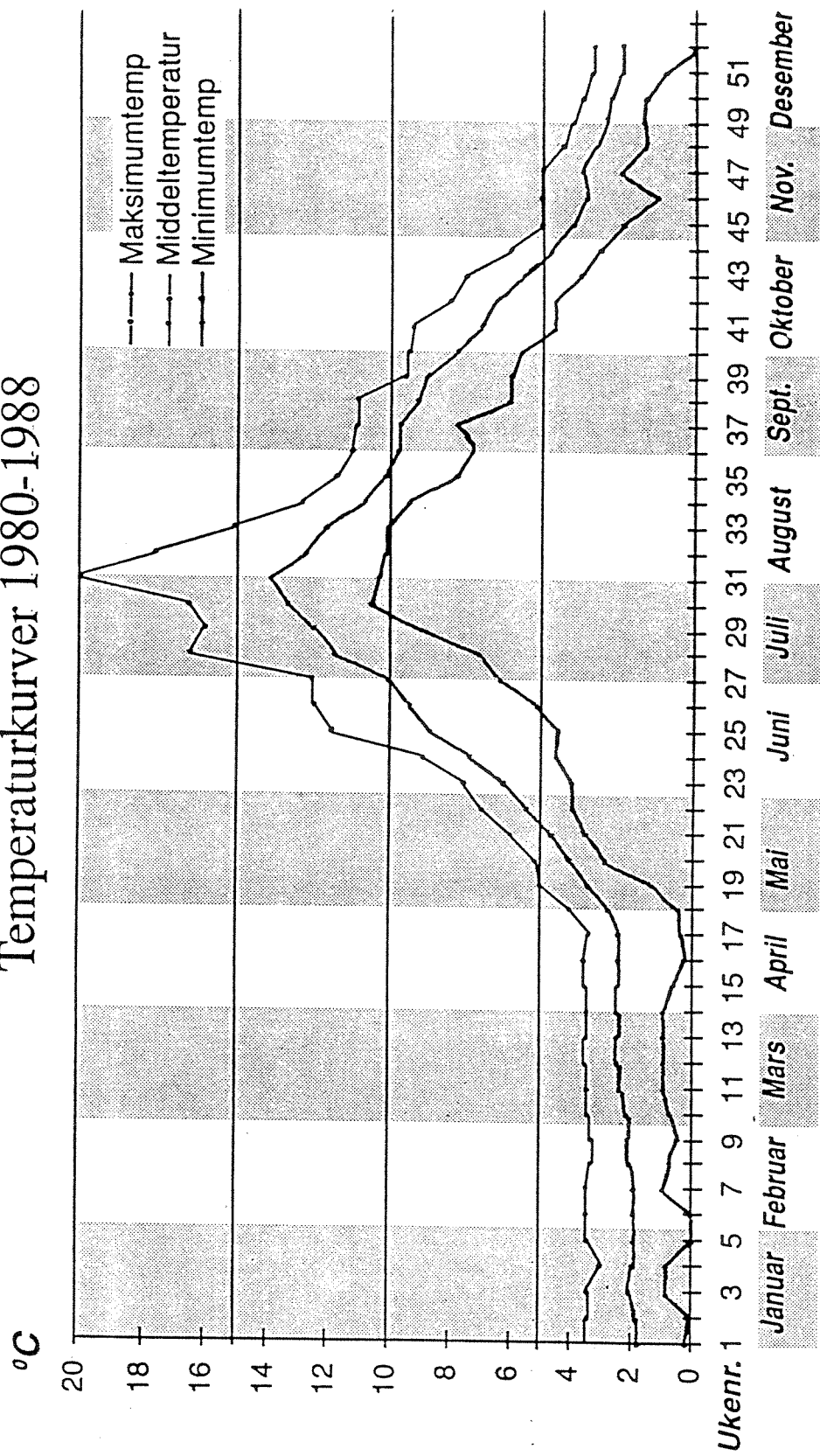
Vann fra Ranaelva brukes som driftsvann hos Rana Gruber, og slippes ut igjennom bedriftens utslipp. Temperaturen på utslippsvannet kan influere på primærfortynningen til avløpsvannet. En må også ta i betraktning en viss oppvarming av driftsvannet som skjer underveis fra inntak til utslipp. Denne oppvarmingen er anslått til å kunne nå opp til 4°C om vinteren, mens den er av størrelsesorden 1-2°C om sommeren (kilde: L. Schreiner, Rana Gruber).



Figur 1.5. Strømførhold i utløpet av Ranaelva, basert på modellforsøk ved VHL (NHL) i 1966.

# Prosessvann fra Ranaelva

## Temperaturkurver 1980-1988



Figur 1.6. Vanntemperatur (middelverdi, max og min) i Ranaelva i løpet av et år.

## 1.5. Spesielle problemstillinger

Foreliggende rapport har som hovedmålsetting å vurdere optimalt utslippssted/dyp for framtidige utslipp fra Rana Gruber A/S. Det er tale om å etablere ett, evt. to separate dykkede utslipp. Problemstillinger knyttet til slike utslipp står derfor mest sentralt. Isleggingsproblematikk blir også berørt, i samband med diskusjon om virkningen av bobleanlegget ved utløpet av Ranaelva.

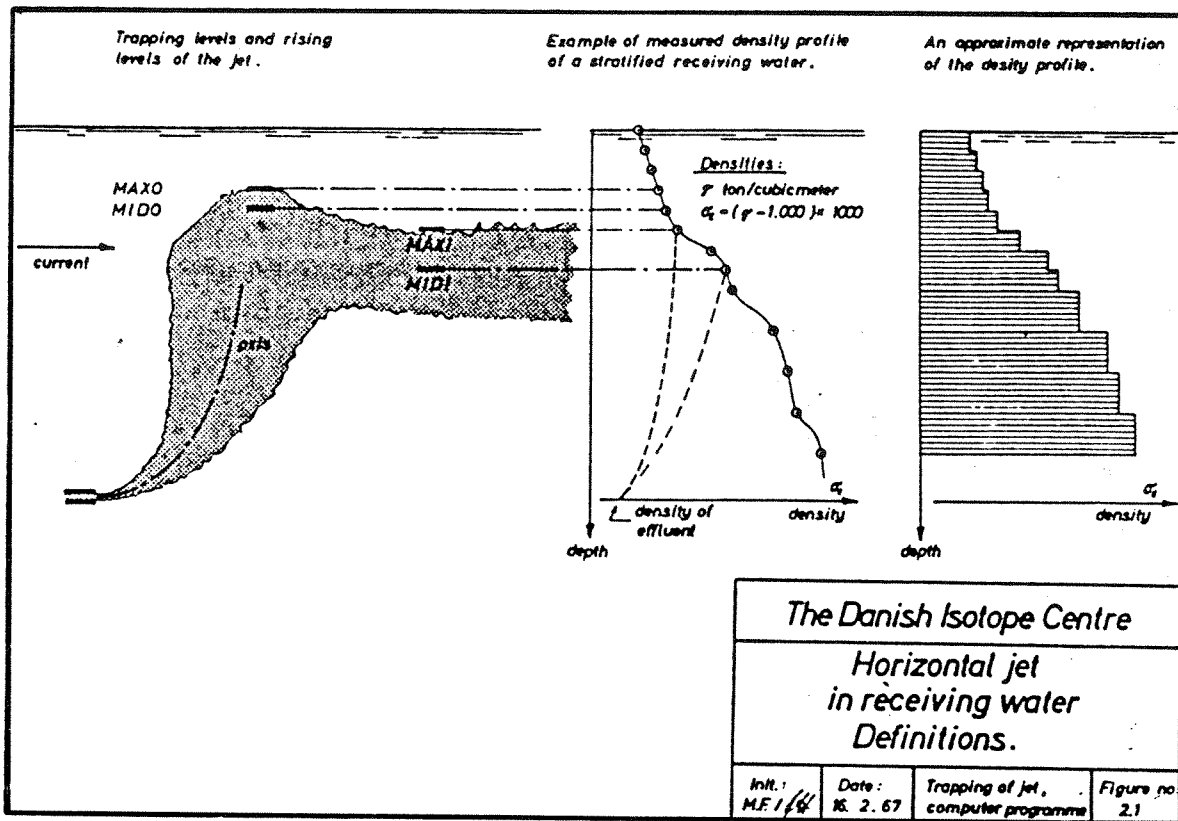
### 1.5.1. Spredning fra dykkede utslipp

Spredning av avløpsvann fra dykkede utslipp skjer vanligvis i to faser. Første fase er den såkalte primærfortynningen. Denne er drevet av oppdrift (negativ eller positiv) i oppdriftsstrålen i forhold til det omgivende vannet. Positiv oppdrift innebærer at utslippsstrålen stiger oppover i vannsøylen. I samband med ferskvannsutslipp er dette det vanligst forekommende. I andre tilfeller, slik som når sjøvann er benyttet i en driftsprosess, kan utslippsstrålen synke nedover i forhold til utslippet. I det siste tilfellet vil såvel saliniteten til inntaksvannet, som avstanden (i dyp) mellom inntak og utslipp være avgjørende for skjebnen til utslippsvannet. Større mengder suspendert materiale i utslippet kan medføre økt egenvekt (i forhold til ferskvann), og dermed gjøre at utslippsvannet ikke stiger oppover i vannsøylen.

I den foreliggende problemstillingen dreier det seg om utslipp av ferskvann, iblandet finpartikulært materiale. Om en betrakter rent ferskvann, vil dette i alle praktiske tilfeller alltid ha positiv oppdrift i utgangspunktet. Dette medfører en oppstigning under primærfortynningen. Oppdriften avtar etter hvert som utslippsstrålen blandes med sjøvann (økende densitet), og etter hvert som densiteten til det omgivende vannet avtar. Etter en tid vil det fortynnete utslippsvannet innlagre seg i et dyp der densitetsforskjellen er utliknet.

Et forløp for utslippsstrålens utvikling er skissert i fig. 1.7. I dette tilfellet innlagres utslippsvannet under sjøoverflaten. Utslippsvannet kan også nå helt til overflaten. Etter oppstigningen inntreer sekundærfortynningsfasen. Denne innebærer en horisontal utbredelse av det fortynnete utslippsvannet. Strøm i sjøen tar nå over som den viktigste fortynnings- og transportfaktoren, slik som antydnet i fig. 1.7.

Sjøvannets densitet avhenger av både sjøens salinitet (saltinnhold) og temperatur. Salt og kaldt vann er tyngre enn varmt og ferskt. Ved de temperaturer som oftest forekommer i norske fjorder, er det vanligvis endringer i salinitet som medfører størst utslag på densiteten til sjøvannet. En økning på f.eks. 3 i salinitet for fjordvann, innebærer en densitetsøkning på rundt  $2.3 \text{ kg/m}^3$ , mens en  $3^\circ\text{C}$  avkjøling bare resulterer i  $0.6 \text{ kg/m}^3$  økning i densiteten.



Figur 1.7. Skisse av forløpet til et dykket utslipp av vann som er lettere enn omgivende vann.

Detaljer omkring hvordan utslippsvannet faktisk oppfører seg under ulike sjiktingsforhold og ulike temperaturer i utslippsvannet, vil seinere bli analysert under modellberegningene.

### 1.5.2. Islegging

En del av problemstillingene som denne rapporten omhandler, er knyttet til is og isleggingsproblematikk. Innledningsvis nevnes derfor her kortfattet en del viktige fysiske betingelser i denne sammenheng.

Sjøvannets frysepunkt er en funksjon av både salinitet og trykk. For fryseprosesser i overflaten kan vi se bort fra trykkeffekten. Stort innslag av ferskvann i øvre lag sies å påskynde isleggingsprosessen. Dette kan ha sammenheng med at frysepunktet er høyere for ferskvann og brakkevann enn for sjøvann. Det skal dermed ikke fullt så lav temperatur til for å starte isdannelse i ferskvann som i sjøvann. Sjøvann/havvann fryser først ved temperatur ned mot  $-2.0^{\circ}\text{C}$ . Figur 1.8 viser frysepunktets variasjon med saliniteten, samt kurven for tetthetsmaksimum, som funksjon av salinitet og temperatur.

I vann med salinitet lavere enn ca.  $25 \times 10^{-3}$  (kryssingspunktet mellom de to kurvene i fig. 1.8) vil densiteten ved avkjøling nå en maksimumsverdi før frysepunktet er nådd. Dette er velkjent for ferskvann, som når sitt densitetsmaksimum ved  $4^{\circ}\text{C}$  (høst- og

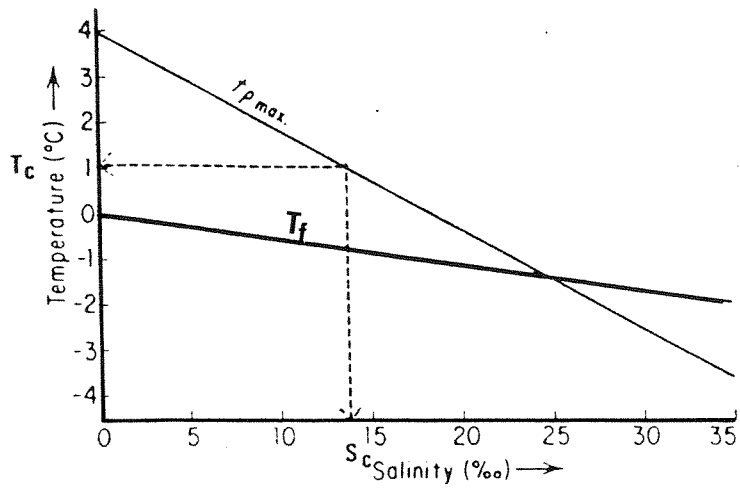
våromrøring i innsjøer). Fenomenet har også betydning for islegging i fjorder med brakkvann.

En prosess med gradvis avkjøling i brakkvannslaget på grunn av en varmekraft (varmetap)  $Q_H$  er illustrert i figur 1.9. Varmetapet kan enten skyldes langbølget utstråling eller transport av følbare og/eller latent varme til lufta. Isolinjer for densitet ( $\rho$ ) er markert, med gradvis økende densitet og tykkelse av øvre lag etter hvert som avkjølingen skrider fram. Ved et visst tidspunkt  $t_c$ , respektivt en viss temperatur  $T_c$  (antydning med pil) når brakkvannet sin maksimale densitet. Videre avkjøling vil resultere i dannelse av et tynt sekundærsjikt øverst med litt lavere densitet. Dette tynne sjiktet vil være vesentlig mer følsomt for avkjøling enn det vesentlig tykkere blandingslaget før  $t_c$ . Frysepunktet vil nå raskt nås, og isdannelse kan starte, ved  $t=t_f$ , og  $T=T_f$ .

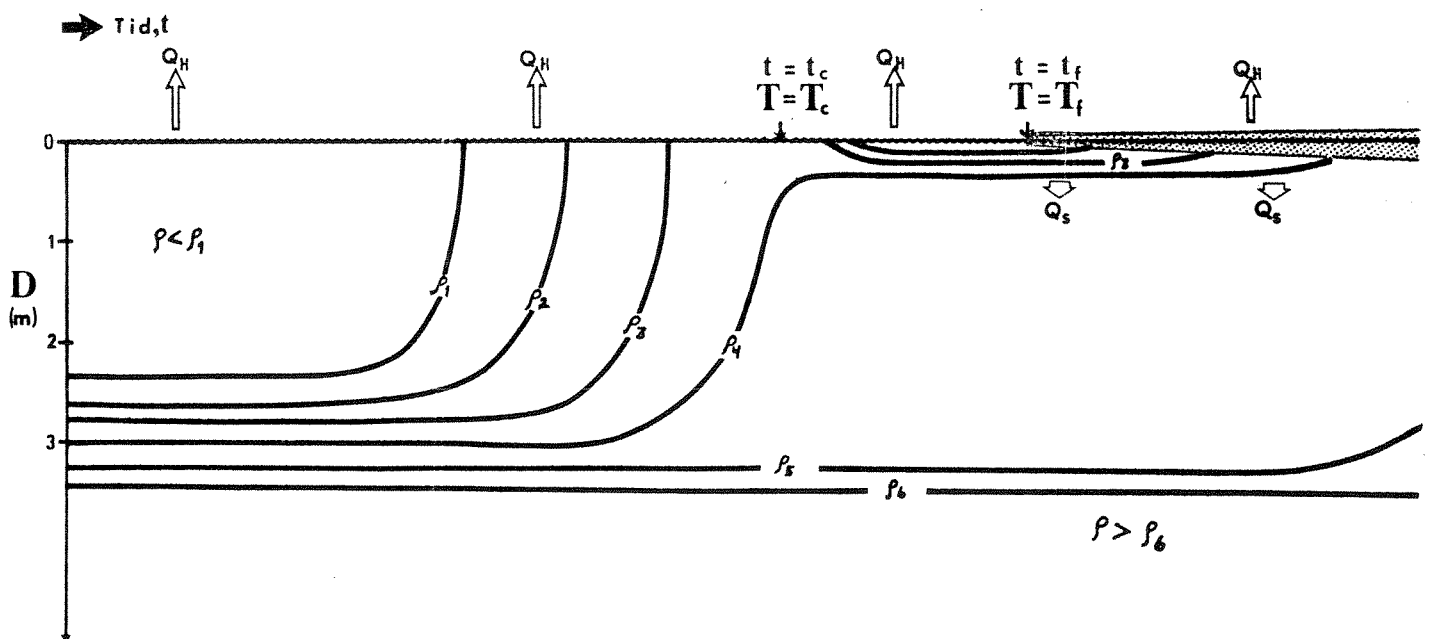
Når isdannelsen har startet, vil salt begynne å skilles ut fra isen ( $Q_s$ ). Saltet medfører økt densitet til sjøvannet, og det tynne sekundærsjiktet brytes gradvis ned. Tilstedeværelse av et islag demper nå varmekraften  $Q_H$ , og homogeniseringen eller gjennomblandingen av det øvre laget går langsommere.

Prosessen som er nevnt ovenfor vil være mest effektiv på en stille fjordoverflate. Perioder med lite vind og gjerne klarvær med stor netto utstråling medfører ofte isdannelse i fjorder. Vind og bølger vil medvirke til å bryte ned det tynne sekundærsjiktet. Den beskrevne første fase i isleggingen vil dermed bli forsinket, eller ikke forekomme i det hele tatt. Is vil ikke bli dannet før hele øvre lag er gjennomkjølt til frysepunktet.

Moderat vind og mindre bølger som kommer etter at første islag er dannet, vil imidlertid ikke vesentlig modifisere prosessen, ettersom islaget vil redusere den vertikale omrøringen. Isdannelsesprosessen som beskrevet i fig. 1.9, er derfor sannsynligvis representativ for isdannelsen i Indre Ranafjorden. Prosessen har gitt grunnlag for en beregningsmetode (numerisk modell) for isdannelse som er benyttet i etterfølgende kapittel. Ved å variere brakkvannskarakteristikken, vil en med modellen kunne kontrollere effekter av ulike fysiske inngrep i fjorden.



Figur 1.8. Sjøvannets frysepunkt, og temperatur for densitetsmaksimum som funksjon av salinitet.



Figur 1.9. Tidsutviklingen for densitet i brakkvannslaget i en fjord under avkjøling. Etter en gradvis densitetsøkning, når vannet sin temperatur  $T_c$  for max. densitet.

## 2. DATAPRESENTASJON

I dette kapittelet foretas en kortfattet presentasjon og diskusjon av innsamlede data i perioden fra oktober 1990 til august 1991. Sammen med tidligere innsamlede data, danner det nye materialet grunnlaget for å vurdere fysiske karakteristika ved Indre Ranafjorden.

### 2.1. Hydrografiske data 1990-1991

Stasjonsnettets for de hydrografiske målingene er gitt i figur 1.2.

#### 2.1.1. Tidsutvikling

Tidsisopleter (0-60 meters dyp) for stasjonene R1, R2 og R3 er presentert i figurene 2.1-2.3. I tillegg er stasjon R1 representert ved et diagram med større dybdeoppløsning (0 - 15 meter, fig. 2.4).

Observasjonsperioden dekker ca. 10 måneder. Ekstreme situasjoner har sannsynligvis unnsloppet målingene, på grunn av lange måleintervaller. Stasjon R1 og R2 har tilnærmet like T-S karakteristikk, mens R3 hadde mindre brakkvann i april og august, i forhold til R1 og R2. I den avbildete delen av dypvannet (ned til 60 meters dyp) var forholdene i store trekk like på de tre stasjonene. Dypere enn 10 meter varierte saliniteten mellom 31 og 34.5. Forskjeller fra stasjon til stasjon kan spores, f.eks. i dyp av 10°C isotermer i oktober 1990, da denne lå grunnest på stasjon R2. Temperaturene hadde et minimum i aprilmålingene. I øvre lag var det imidlertid lav temperatur (ca. 3°C) også i august 1991. Saliniteten i øvre lag varierte mye, fra rundt 5 i april og august 1991, til rundt 30 om vinteren.

#### 2.1.2. Vertikalprofiler

Vertikalprofiler av målt salinitet og temperatur, samt beregnet densitet er framstilt i Fig. 2.5 - 2.10. Generelt sett framtrer det et mer eller mindre veldefinert øvre lag av 2-6 meters tykkelse, et sprangsjikt også av varierende tykkelse og et dypvann med svak sjiktning under. I oktober 1990 fantes det rester av et varmt temperatursjikt under sprangsjiktet. Dette sjiktet er også tidligere nevnt i rapporter fra Ranfjorden. Det var bare målingene fra august som hadde varmest vann i overflatelaget. Ellers lå temperaturmaksimumet dypere.

Figur 2.10 viser vertikalprofiler fra april 1991, med større dybdeoppløsning enn de foregående figurene. Disse målingene ble tatt med hurtigregistrerende STD sonde, og gir derfor også flere detaljer i strukturen enn de andre målingene, som hadde 1 meters måleintervall i vertikalen. Det framgår av profilene et markert øvre lag, med tykkelse som øker fra ca. 0.5 meter på stasjon R3 til ca. 1.2 meter på stasjon R1 (nærest elveutløpet). I det øvre brakkvannslaget lå saliniteten rundt 6 inne ved R1, og rundt 10-12 på stasjon R2 og R3. Dataene indikerer at elvevannet/brakkvannet danner en "kile" utover fra elveutløpet.



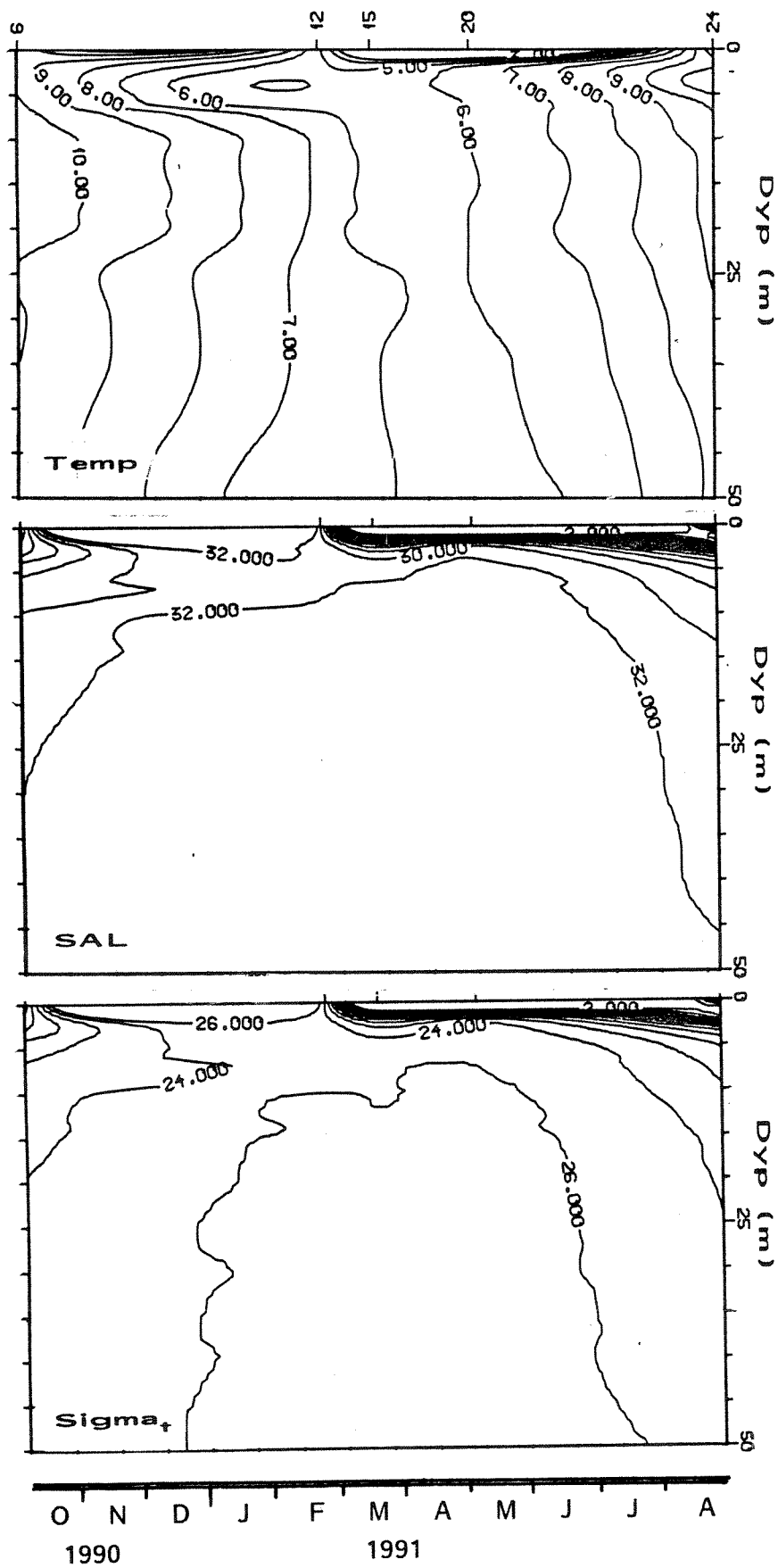


Fig. 2.1. Tidsisopleter for salinitet, temperatur og densitet ( $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R1 i perioden oktober 1990-august 1991. Strekene/tallene på øverste akse angir måletidspunkt.

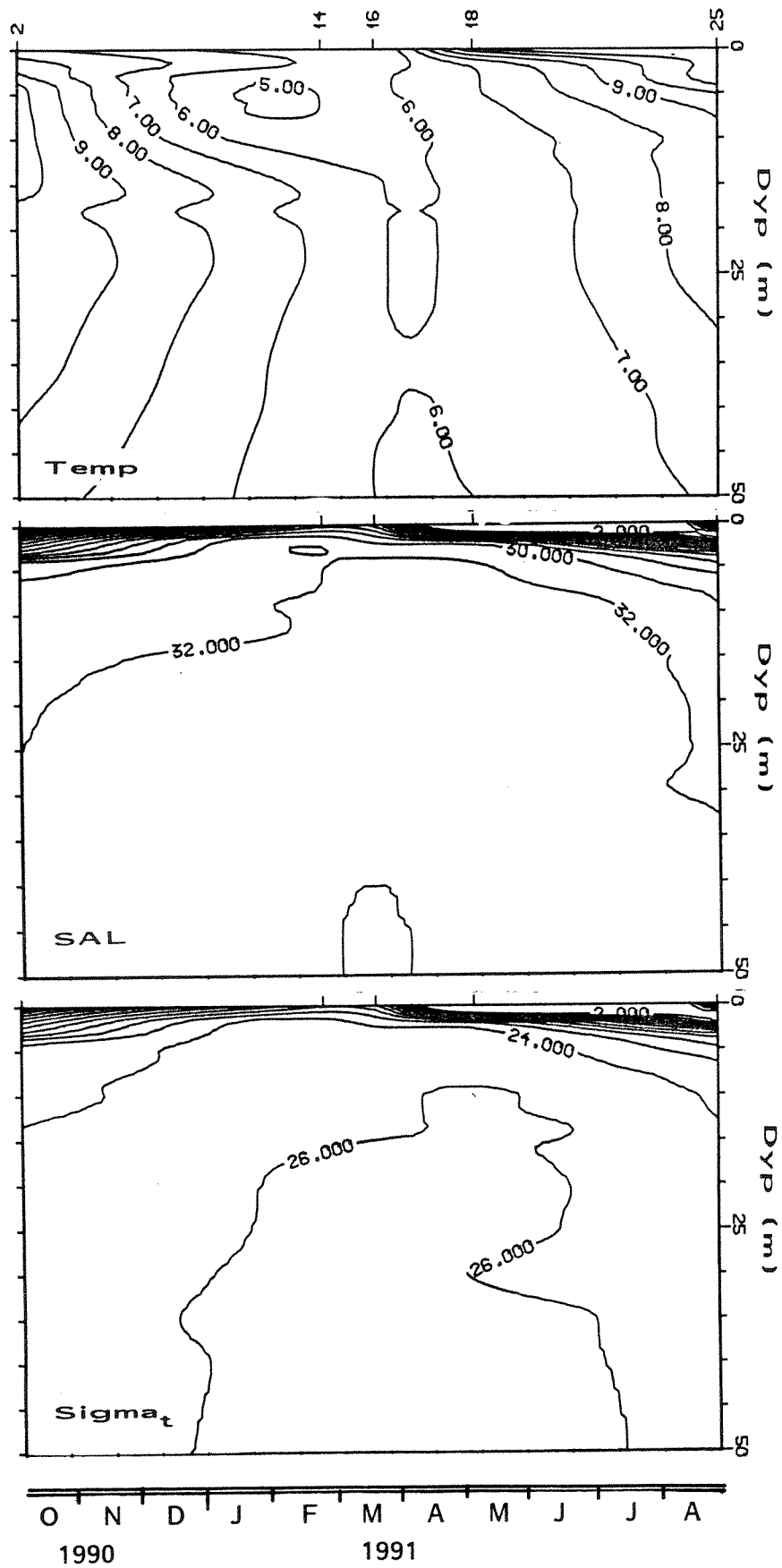


Fig. 2.2. Tidsisopleter for salinitet, temperatur og densitet ( $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R2 i perioden oktober 1990-august 1991. Strekene/tallene på øverste akse angir måletidspunkt.

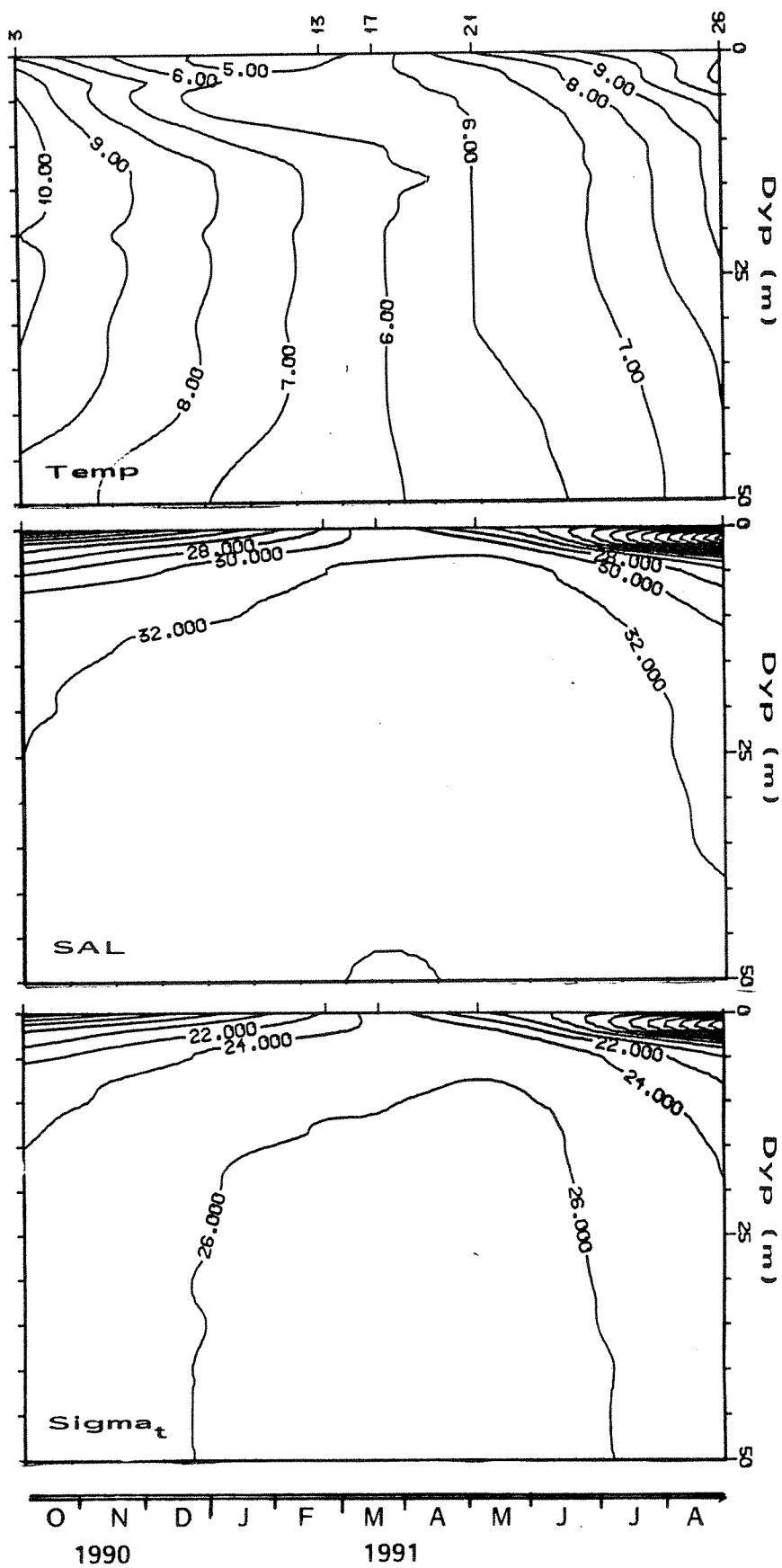


Fig. 2.3. Tidsisopleter for salinitet, temperatur og densitet ( $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R3 i perioden oktober 1990-august 1991. Strekene/tallene på øverste akse angir måletidspunkt.

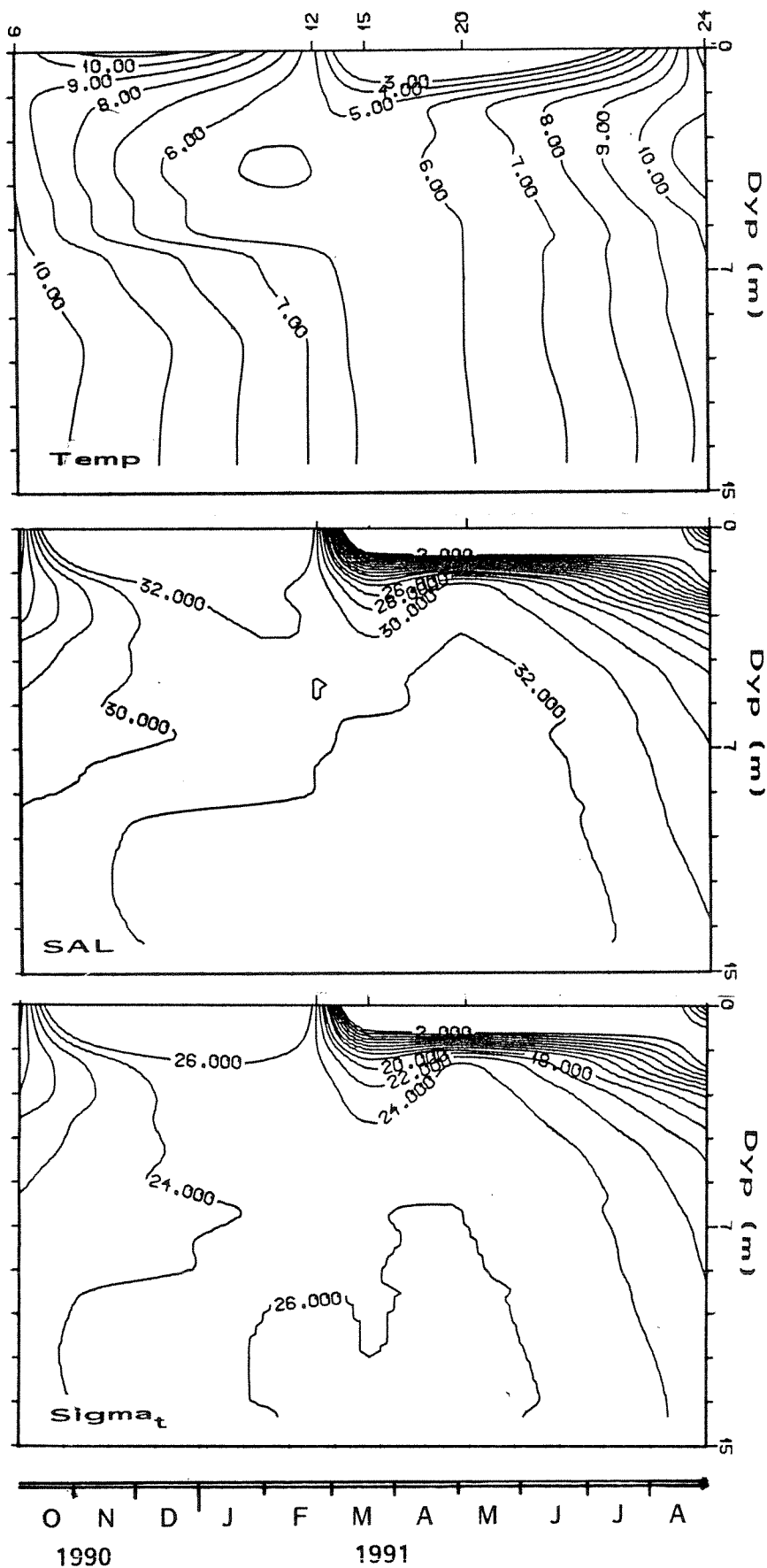


Fig.2.4. Tidsisopleter (økt dybdeopløsning) for salinitet, temperatur og densitet ( $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R1 i perioden oktober 1990-august 1991. Strekene/tallene på øverste akse angir måletidspunkt.

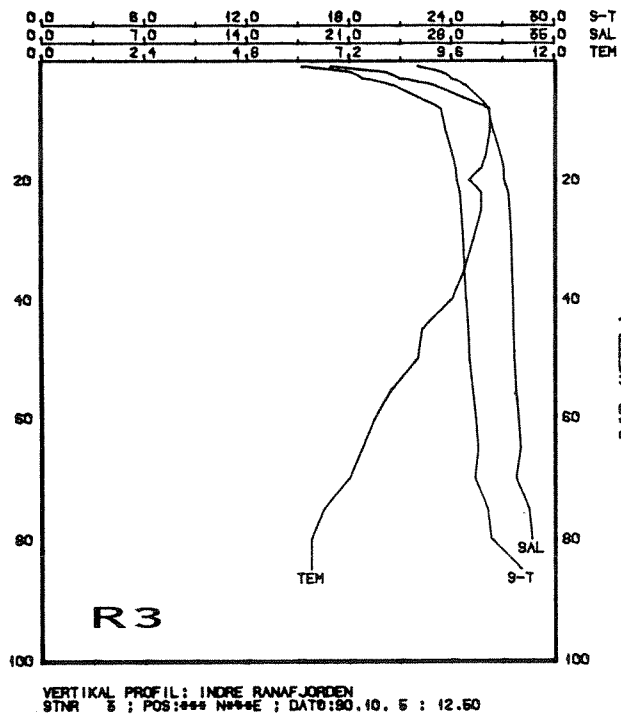
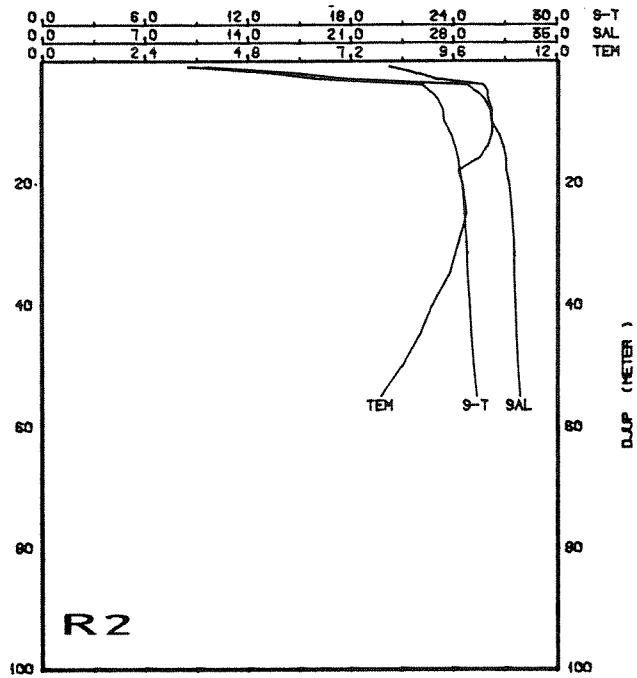
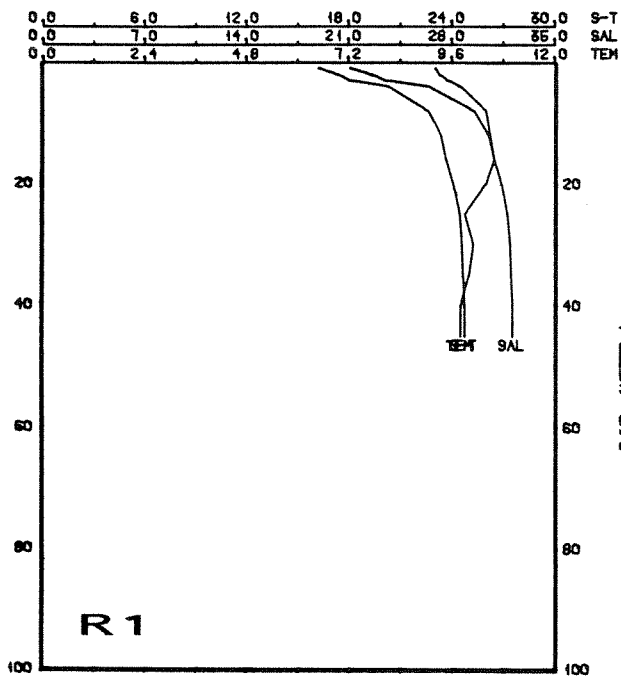
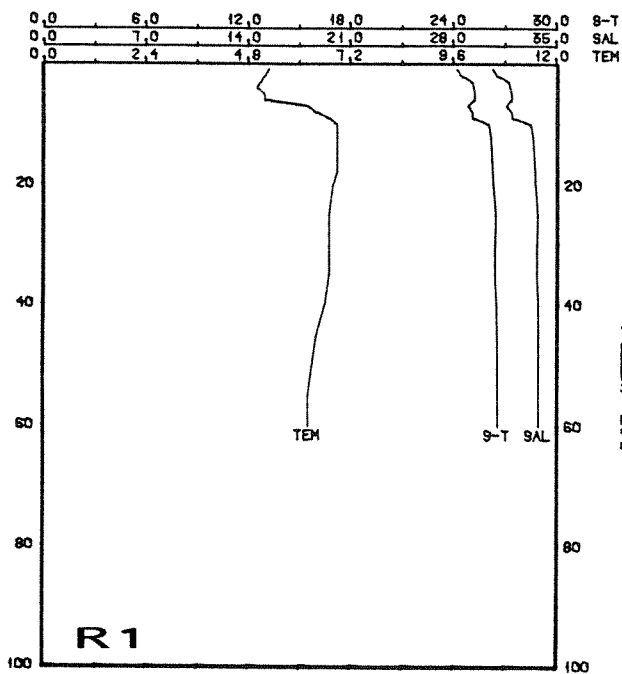
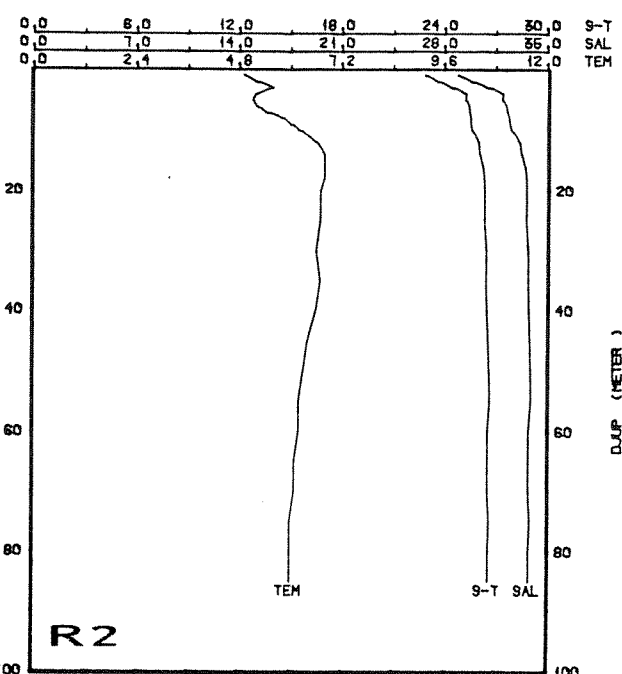


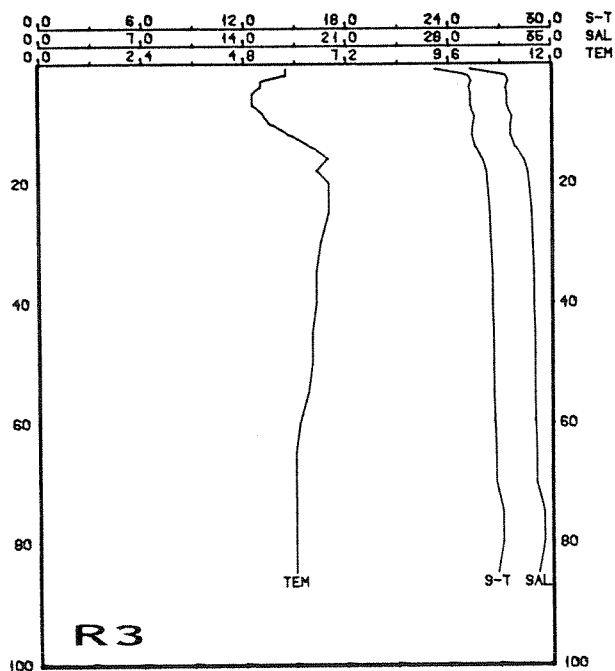
Fig. 2.5. Vertikalprofiler av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i kg/m<sup>3</sup>-1000) på stasjon R1, R2 og R3 den 5. oktober 1990.



VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
STNR 12 ; POS:66.300°N 15.200°E ; DATO:91. 2.19 : 15.20

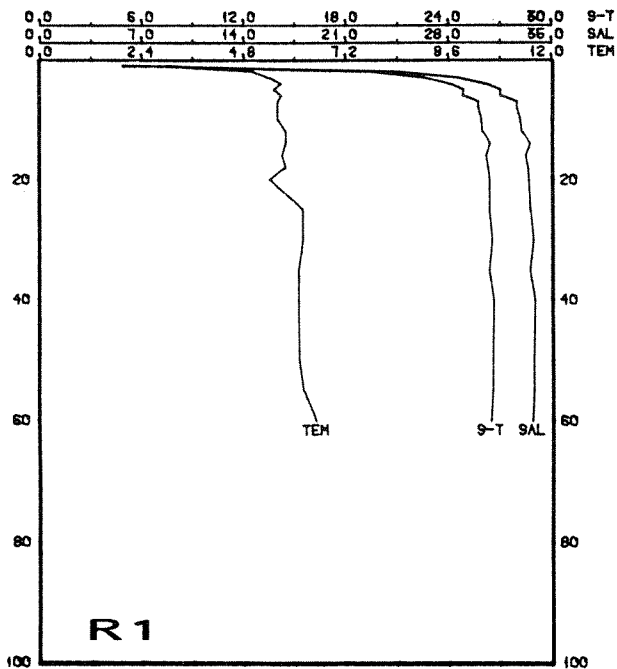


VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
STNR 15 ; POS:66.100°N 15.000°E ; DATO:91. 2.19 : 14. 0

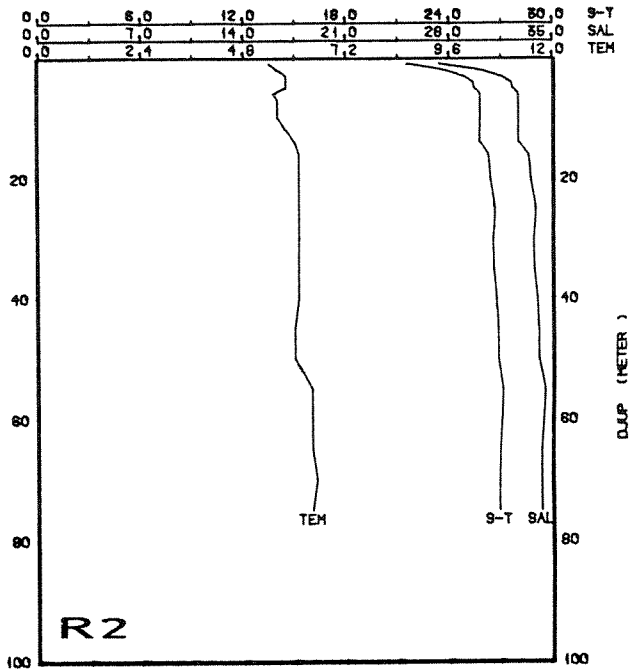


VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
STNR 14 ; POS:66.100°N 15.000°E ; DATO:91. 2.19 : 14.50

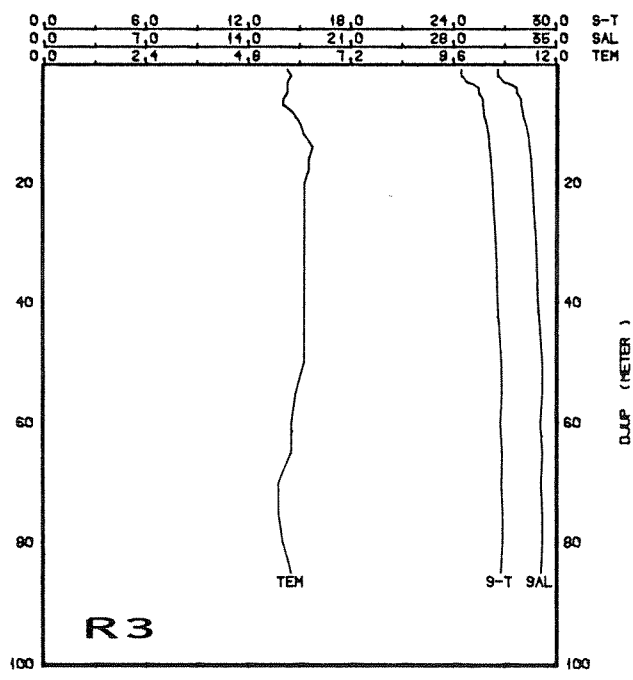
Fig. 2.6. Vertikalprofiler av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i  $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R1, R2 og R3 den 19. februar 1991.



VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 16 ; POS:68,100°N 15,200°E ; DATO:91. 3.15 : 12.40

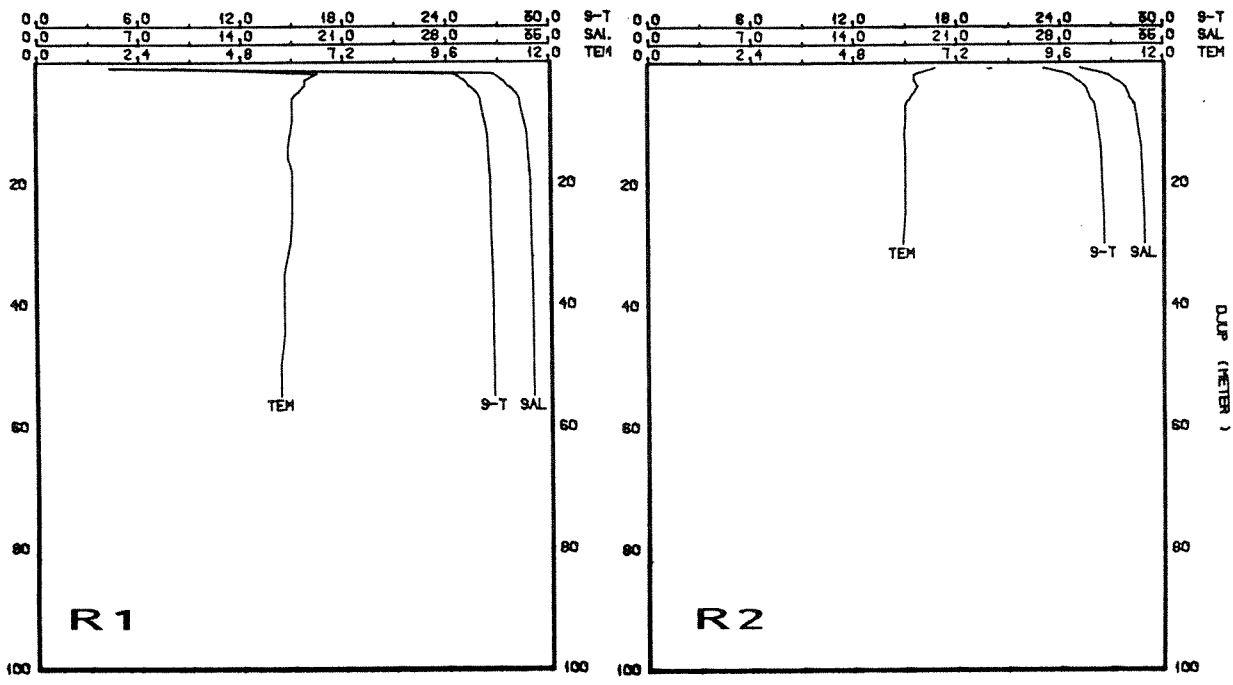


VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 16 ; POS:68,100°N 15,000°E ; DATO:91. 3.15 : 13.15



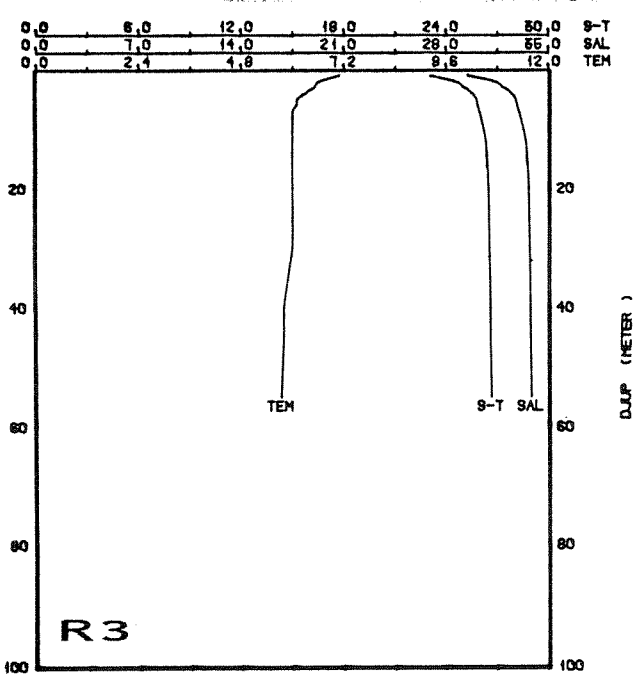
VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 17 ; POS:68,100°N 15,000°E ; DATO:91. 3.15 : 13.40

Fig. 2.7. Vertikalprofiler av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i kg/m<sup>3</sup>-1000) på stasjon R1, R2 og R3 den 15. mars 1991.



VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 20 ; POS:66.100°N 16.000°E ; DATO:91. 4.29 : 12.80

VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 22 ; POS:66.100°N 16.000°E ; DATO:91. 4.29 : 15.20



VERTIKAL PROFIL: INDRE RANAFJORDEN  
 STNR 21 ; POS:66.100°N 16.000°E ; DATO:91. 4.29 : 15. 0

Fig. 2.8. Vertikalprofiler av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i kg/m<sup>3</sup>-1000) på stasjon R1, R2 og R3 den 29. april 1991.



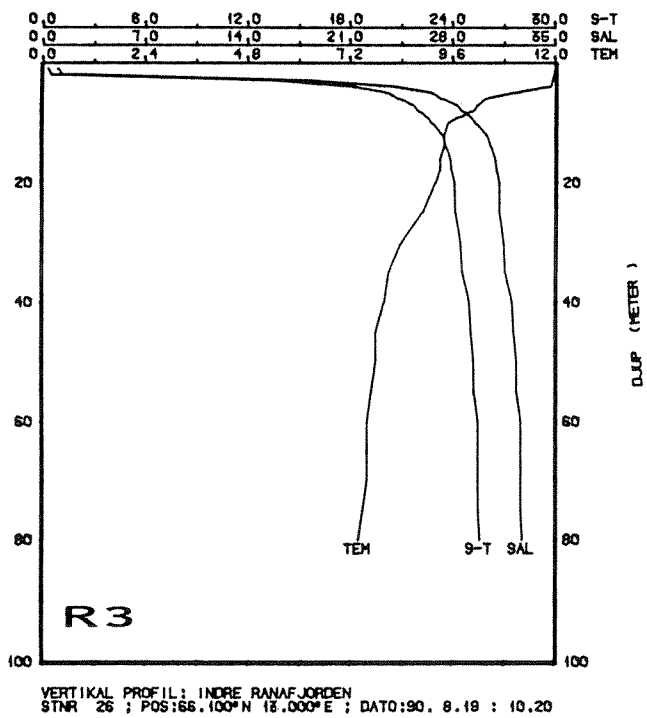
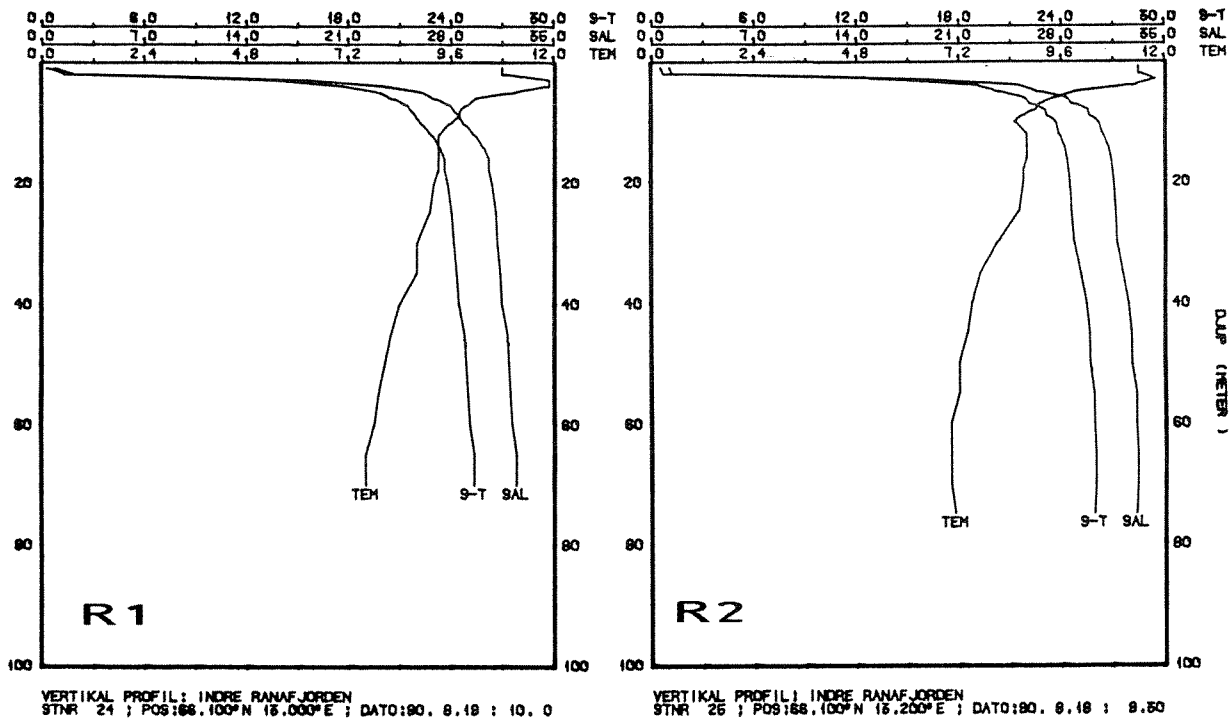


Fig. 2.9. Vertikalprofiler av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i  $\text{kg/m}^3 \cdot 1000$ ) på stasjon R1, R2 og R3 den 19. august 1991.

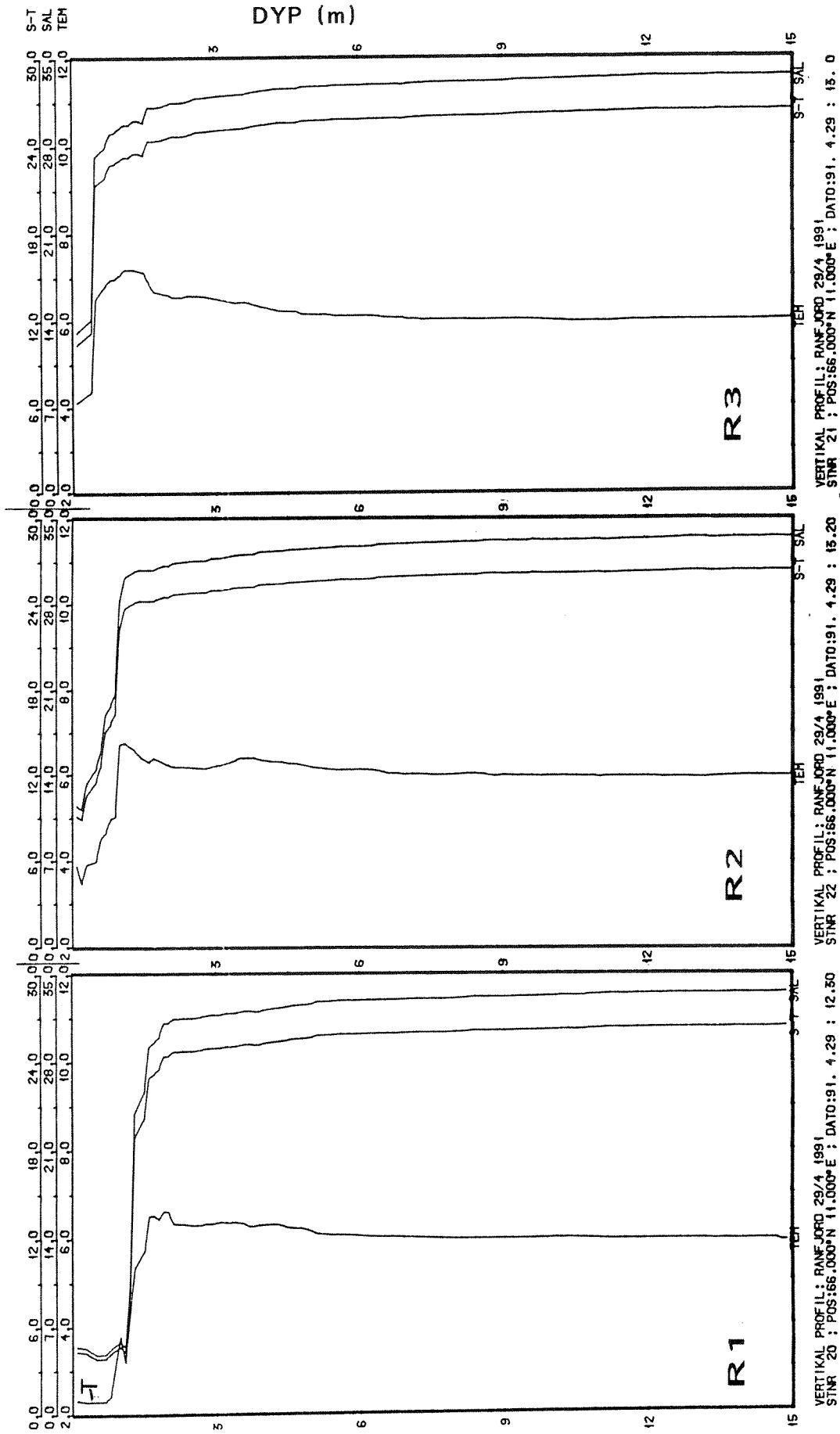


Fig. 2.10. Vertikalprofiler (øverste 15 meter) av målt salinitet (SAL), temperatur (TEM) og beregnet densitet (S-T, i  $\text{kg/m}^3-1000$ ) på stasjon R1, R2 og R3 den 29. mars 1991.

Et tydelig sprangsjikt danner grensen til en mer homogen vanntype under. Tykkelsen på sprangsjiktet er bare noen få cm (for grov oppløselighet i våre data til å kunne fastslå eksakt tykkelse). Forskjellen i densitet mellom over og under det tynne sprangsjiktet var hele  $10 \text{ kg/m}^3$ . Det må her være tale om at elvevan- net/brakkvannet "glir" oppå vannet under.

### 2.1.3. Tidsserier fra strømmålingene

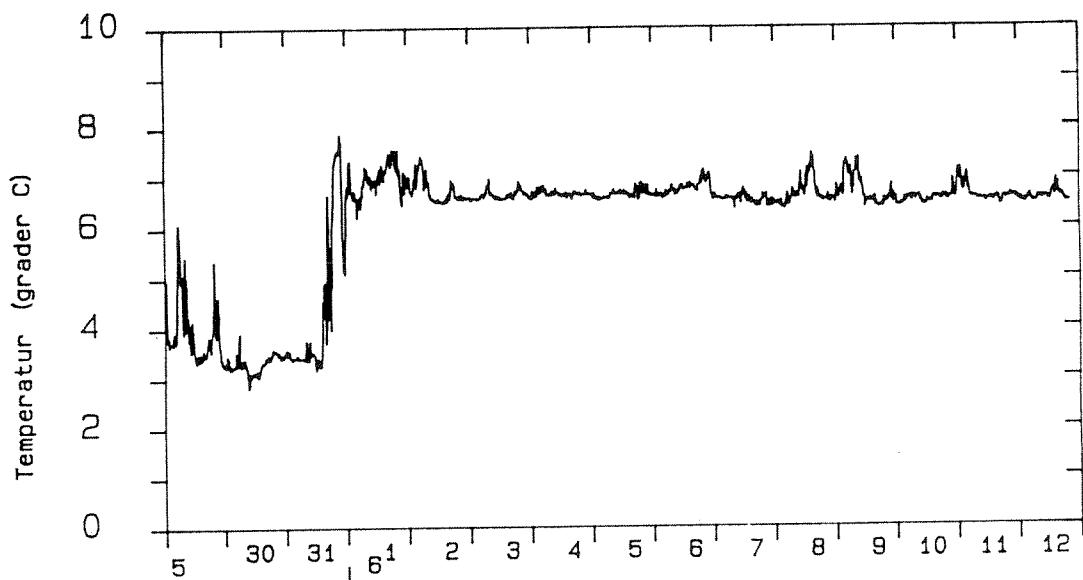
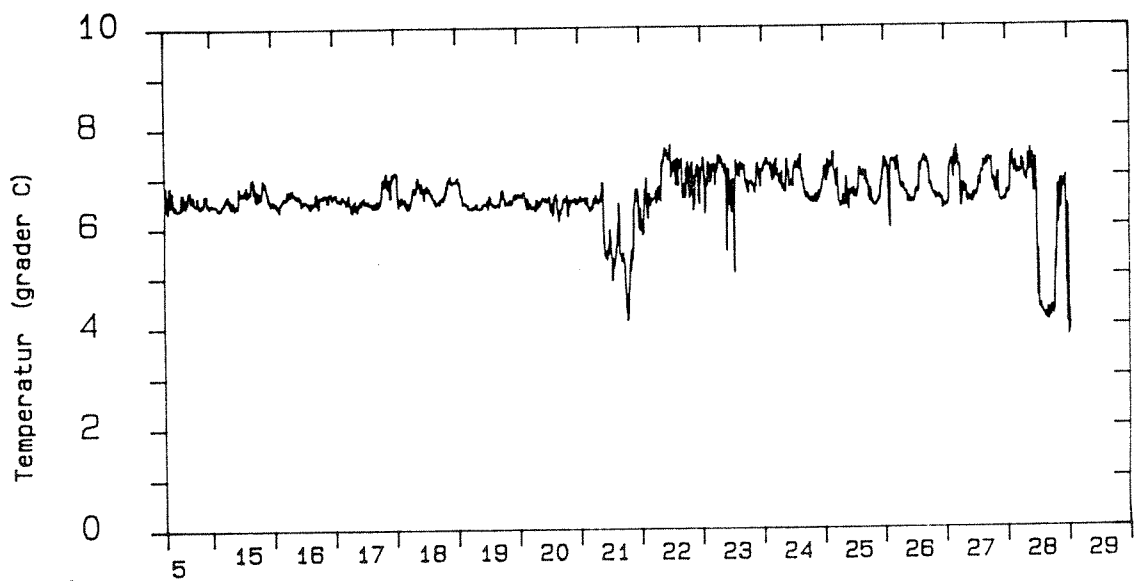
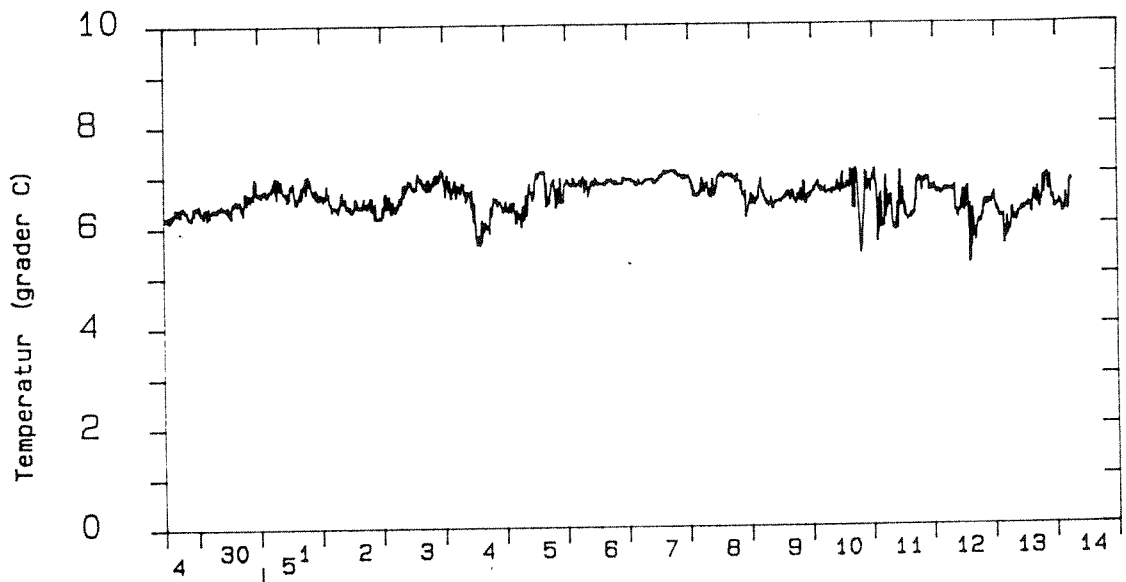
Tidsseriene av målt temperatur og salinitet, samt beregnet densitet for sjøvannet i perioden 29/4 til 12/6 1991 er synt i fig. 2.11, 2.12 og 2.13. Måledypet var 4.5 meter, og måleposisjonen var ca. 200 meter nord for Koksverkets kai (se avsnitt 1.3 og fig. 1.2). Måleinstrumentet målte med 10 minutters tidsintervall. Måleseriene gir derfor et godt bilde av dynamikk i det aktuelle måledypet. Ut fra den foregående presentasjonen av de øvrige hydrografiske data, kan det antas at måleinstrumentet det meste av tiden har stått dypere enn sprangsjiktet. De mer markerte endringene som er observert, skyldes nok påvirkning fra, og endringer i, det øvre laget.

I den aktuelle måleperioden lå temperaturen ganske konstant mellom 6 og  $7^\circ\text{C}$  (fig. 2.11). I perioder var temperaturen nede i  $3-4^\circ\text{C}$ . Dette gjalt spesielt perioden 28/5-1/6 1991, da det var et markert temperaturfall. Det halvdaglige tidevannet påvirket også temperaturmålingene i noen perioder, f.eks. 23/5-28/5 (før det nevnte temperaturfallet).

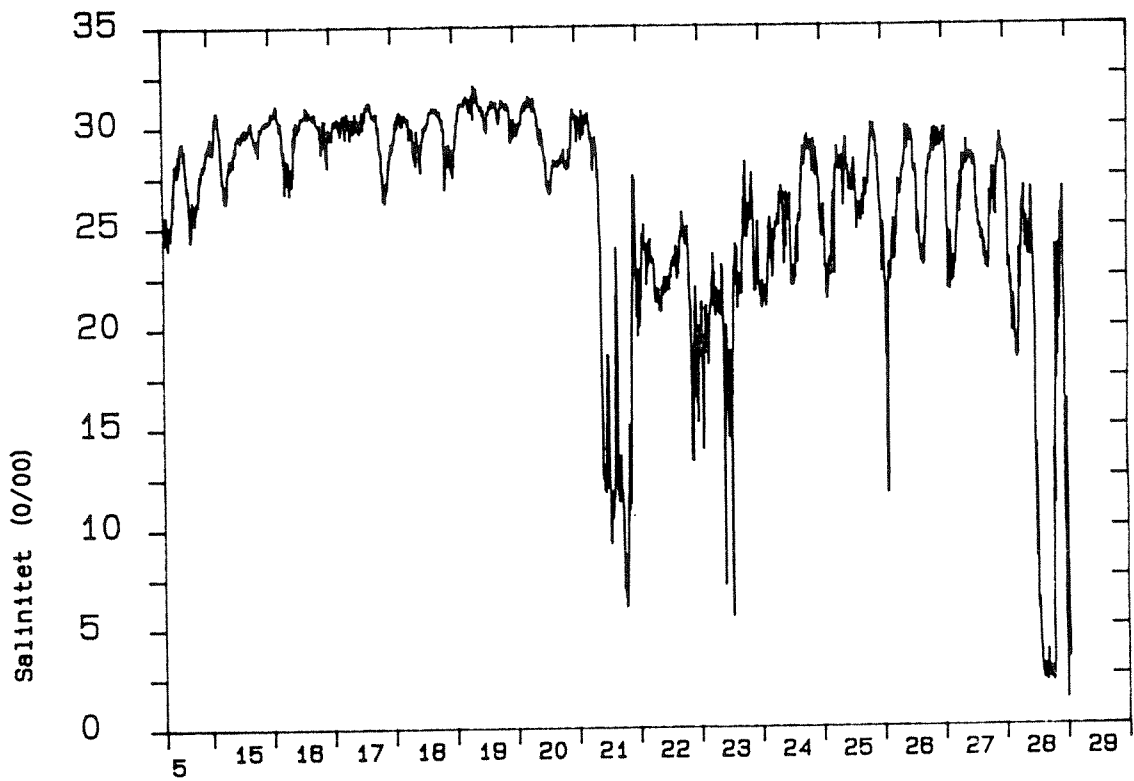
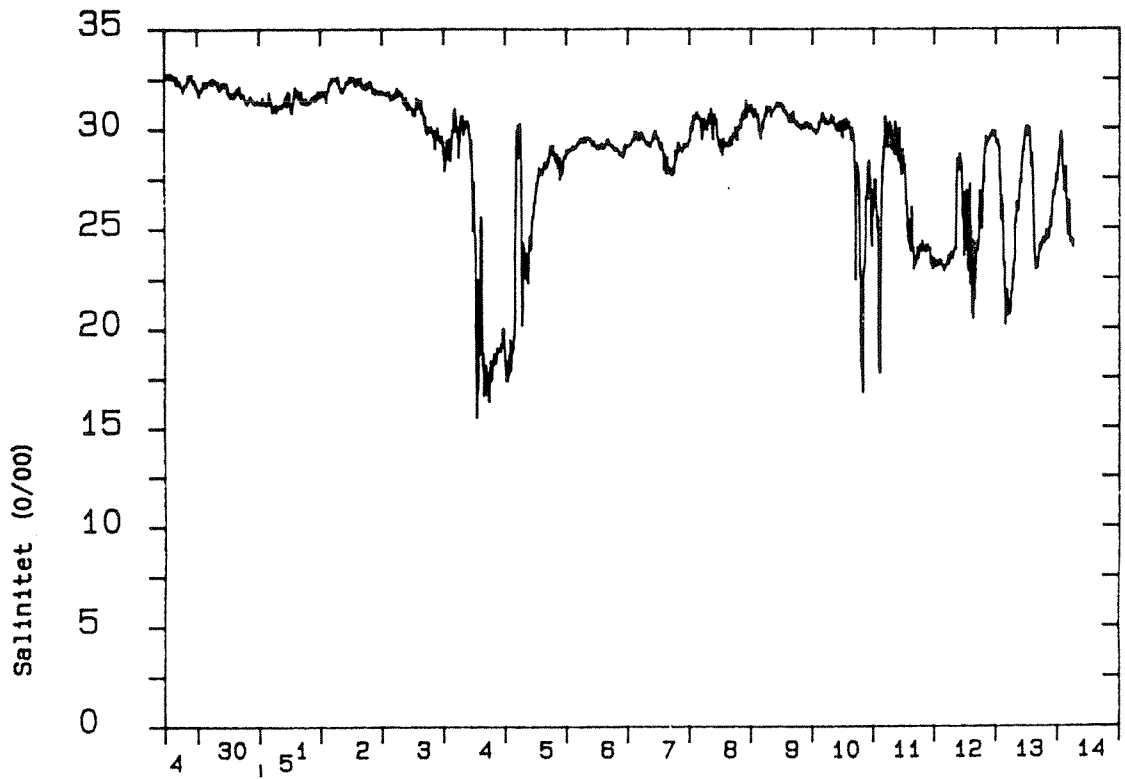
Salinitetsverdiene (fig. 2.12a,b) hadde relativt sett langt større variasjoner enn temperaturen. I begynnelsen av måleperioden lå verdiene i overkant av 30, med kortere perioder innimellom med markerte fall i verdiene (ned til under 20 i salinitet). Også i salinitetsmålingene er det innslag av halvdaglige variasjoner som må skyldes tidevannet. Slike variasjoner vil bli tydeligere dess nærmere måleinstrumentet befinner seg sprangsjiktet. En ser av fig. 2.12a at tidevannspåvirkningen var særlig markert etter 20/5. Fra denne datoen har det sannsynligvis vært stor ferskvannstilrenning til Ranafjorden, med økende sprangsjiktsdyp som resultat.

Endringen rundt 20/5 medførte større variasjoner og hyppigere innslag av lav salinitet. Faktisk lå verdiene helt ned mot null i store deler av perioden 28/5 - 1/6. Denne perioden hadde også markert fall i temperaturene. Det er tydelig at det har vært tale om stor vannføring i Ranaelva (snøsmelting), og at strømmåleren har stått i brakkvannslaget.

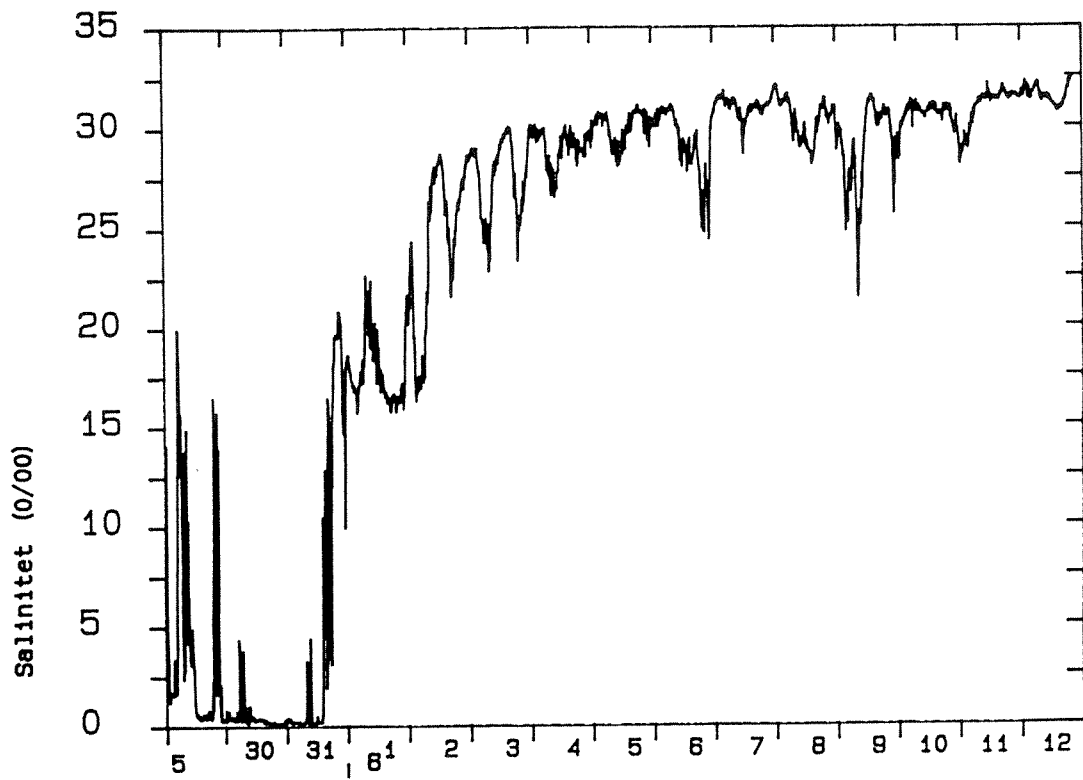
Densiteten (fig. 2.13) synte et forløp nært knyttet til variasjonene i salinitet. Dette er som forventet, siden densiteten har en sterk funksjonell avhengighet av salinitet for så lave temperaturer som det var tale om (jamfør avsnitt 1.5.1).



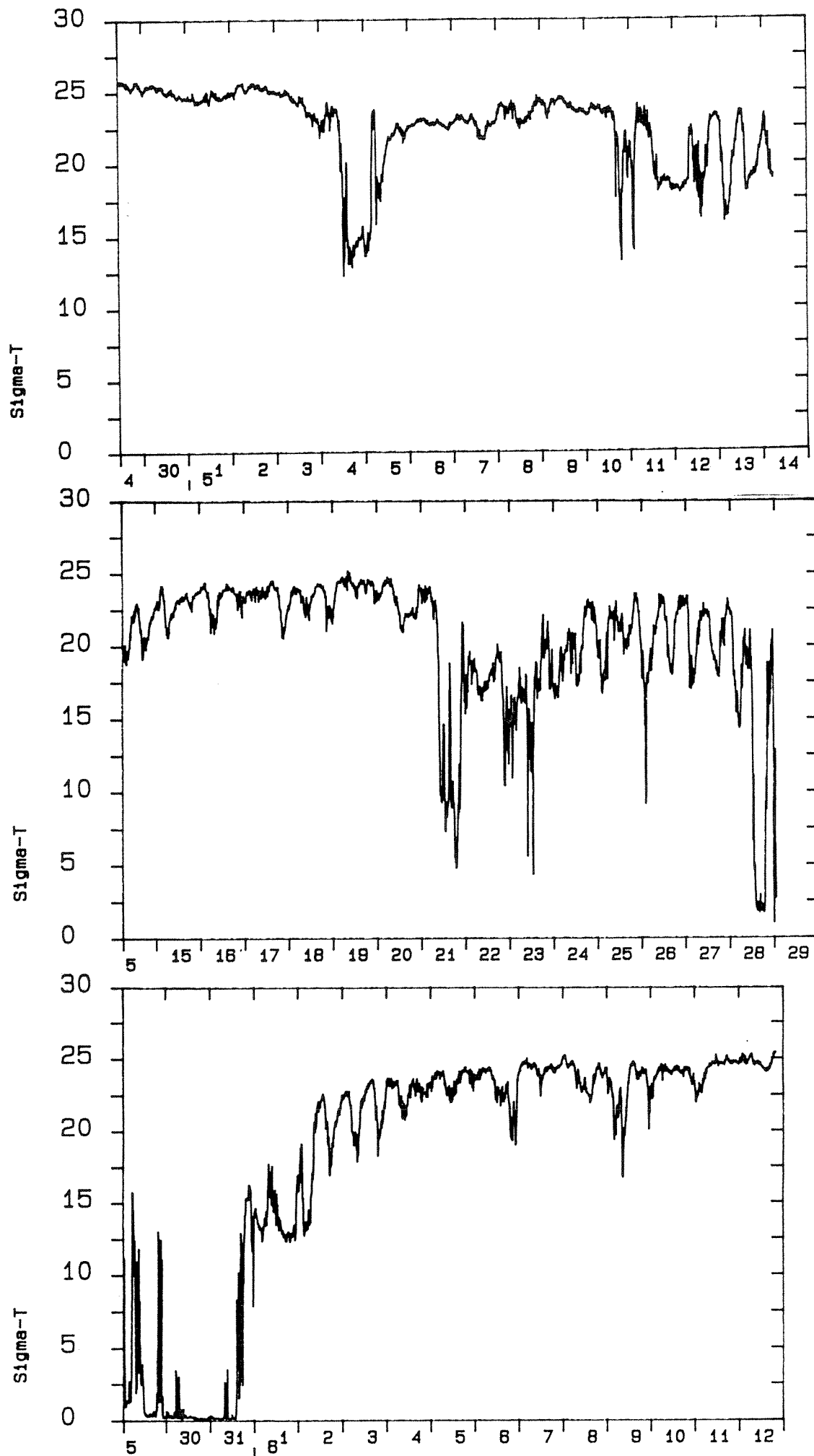
Figur 2.11. Tidsserie av målt temperatur i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 12/6 1991.



Figur 2.12a. Tidsserie av målt salinitet i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 29/5 1991.



Figur 2.12b. Tidsserie av målt salinitet i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/5 til 12/6 1991.



Figur 2.13. Tidsserie av beregnet densitet ( $\text{kg/m}^3 - 1000$ ) i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 12/6 1991.

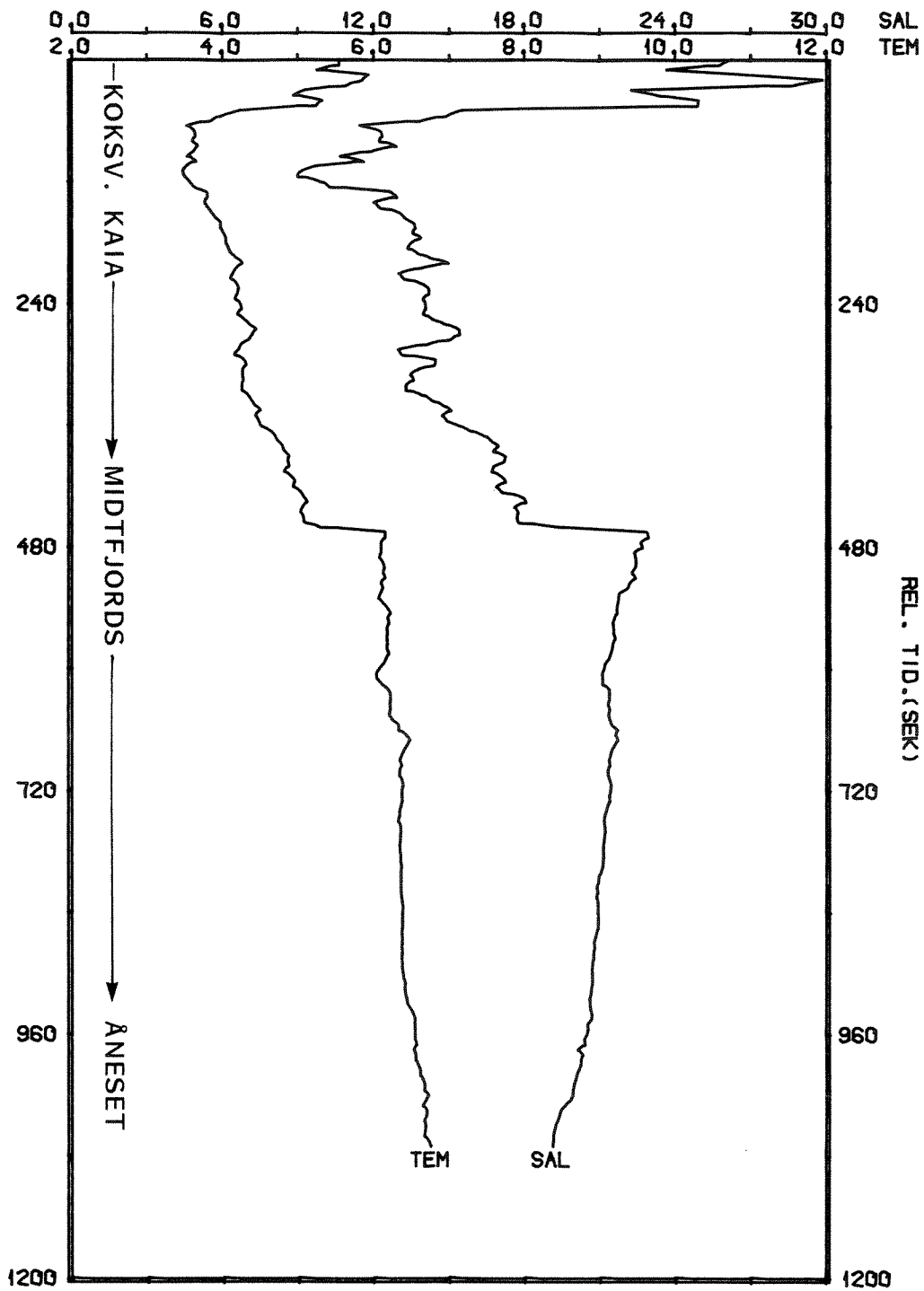
#### 2.1.4. Snitt tvers over fjorden 29/4 1991

I samband med NIVAs tokt i Ranafjorden 29/4 1991, blei det tatt et snitt tvers av fjorden fra Koksverkets kai til plastfabrikken som ligger litt vestafor Aaneset på nordsida av fjorden (fig. 1.2). Måleinstrumentet logget kontinuerlig (måleintervall 5 sekunder) mens det hang i ca 0.5 m dyp. Hele tauesnittet tok om lag 20 minutter. Lengden av snittet var ca. 800 meter.

Resultatene er synt i fig. 2.14. Det var et markert skille mellom sørøstsida og nordsida av fjorden. Helt inne ved Koksverk-kaia blei de høyeste salinitetene målt (noe av dette skyldes nok små justeringer av dypet til målesonden i starten, men de store trekkene er nok reelle). Litt ut fra kaia falt saliniteten (og temperaturen) markert. Laveste verdier blei målt ca. 100 m fra kaia, med salinitet og temperatur h.h.v.  $9 (X10^{-3})$  og  $3^{\circ}\text{C}$ .

Om lag midtfjords møtte vi et markert skille (en front) igjen, med brå økning salinitet og temperatur. Den markerte fronten (sprang på ca 7 i salinitet over 5-10 meter lengde) må være skillet mellom ellevannet og fjordvannet. Videre nordover fra fronten var forholdene roligere, med langsomt avtakende salinitet og økende temperatur mot land.





VERTIKAL PROFIL: RANFJORD 29/4 1991  
STNR 23 ; POS:66.000°N 11.000°E ; DATO:91. 4.29 : 13.50

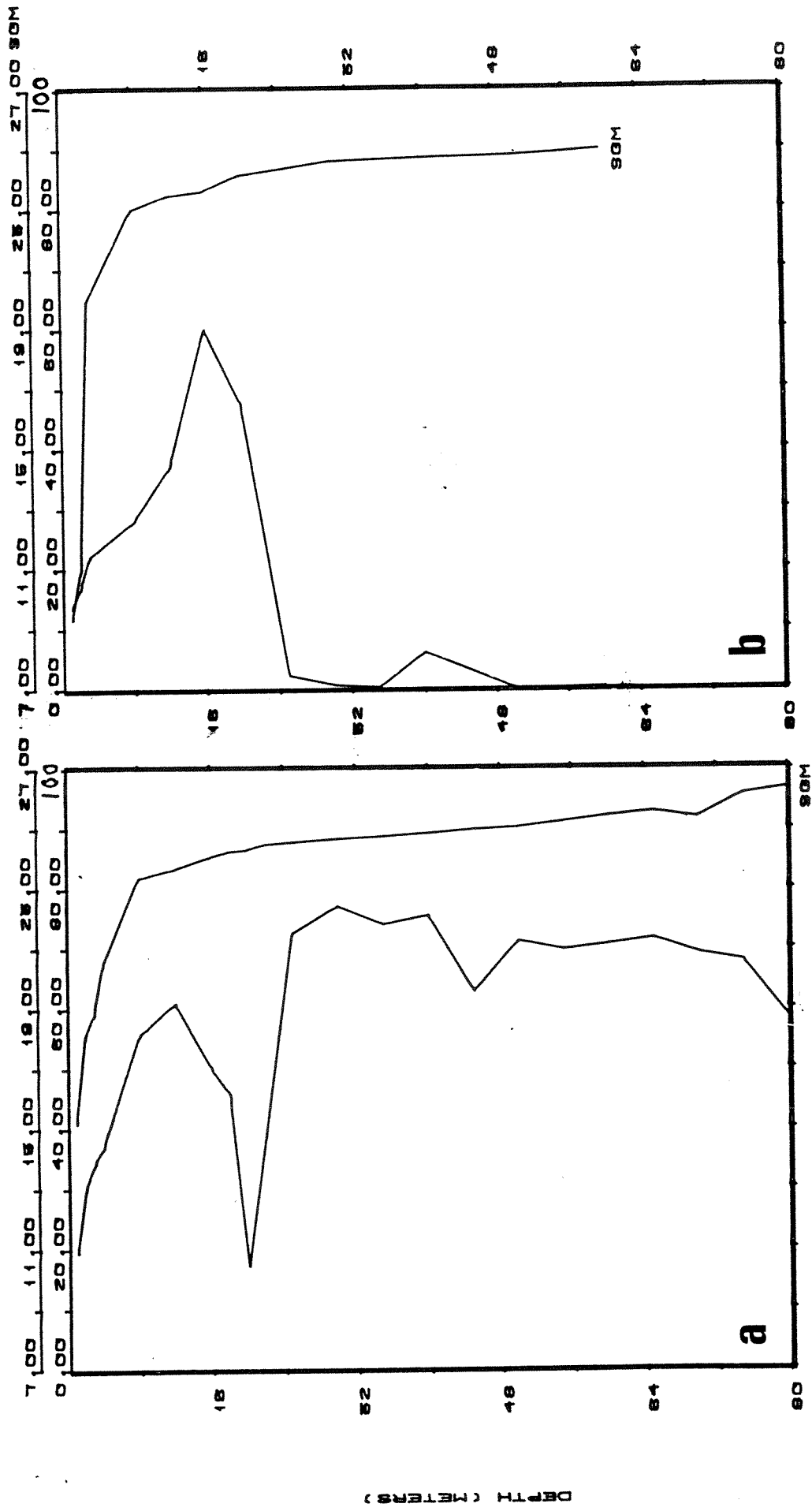
Figur 2.14. Snitt av temperatur og salinitet i 0.5 m dyp tvers over fjorden fra Koksverk-  
kaia til Åneset 29. april 1991.

### 2.1.5. Måling av lystransmisjon

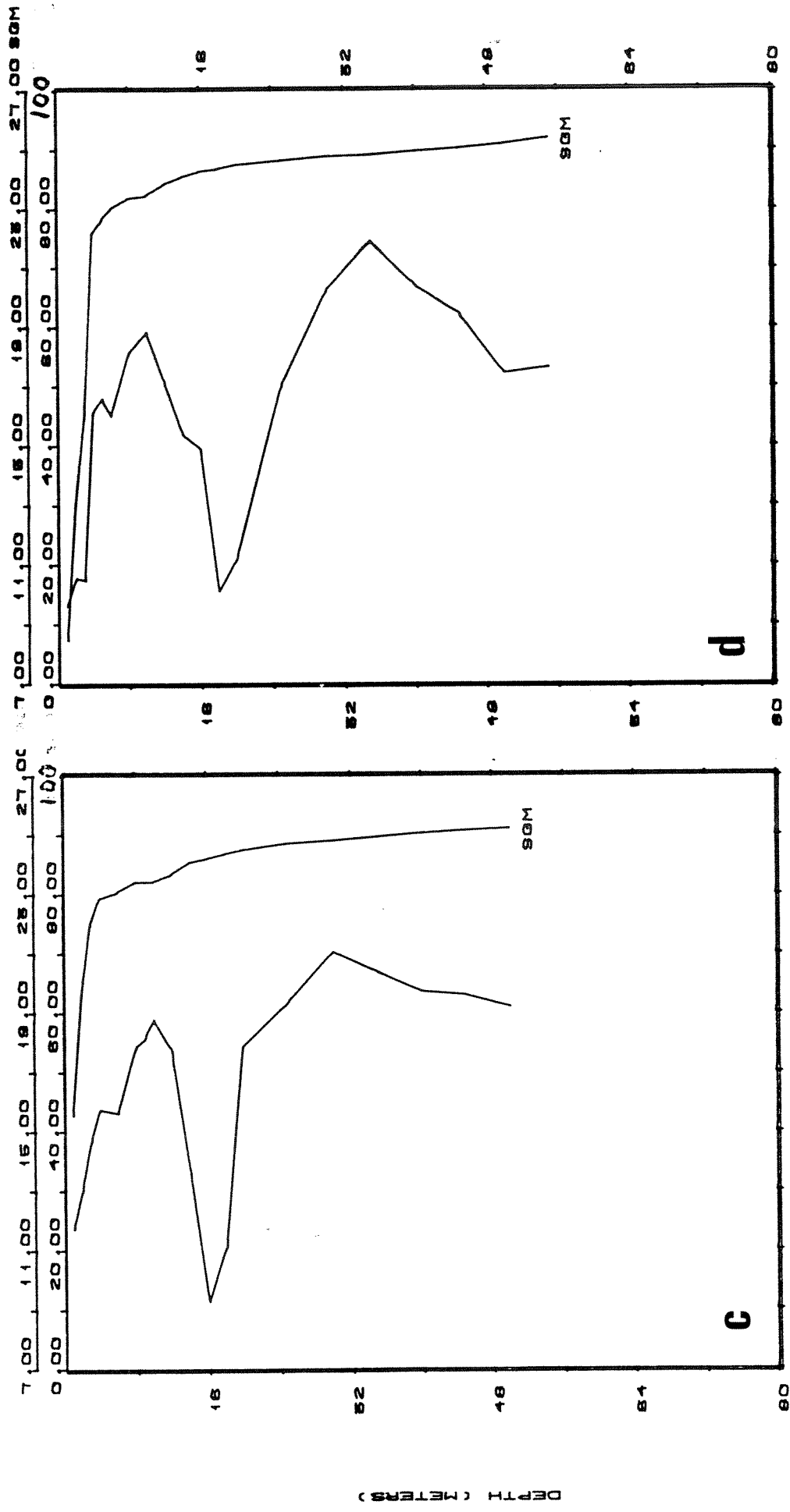
Den 5/10 1990 blei det målt lystransmisjon på ulike stasjoner i indre Ranafjorden. Materialet er rapportert tidligere (NIVA, 1991a). Vi presenterer fire av profilene i denne rapporten, sammen med sigma kurver. Transmisjonsmålingene indikerer vannets "gjennomskinnelighet". Dess klarere vann, dess høyere måleverdier. Det er ikke foretatt noen direkte kalibrering av kurvene med hensyn til partikkelkonsentrasjoner. Det er derfor tale om kun kvalitative og relative vurderinger.

Profilene (Fig. 2.15a-d) viser alle relativt lave transmisjonsverdier i overflatelaget. Dette henger sannsynligvis sammen med større konsentrasjoner av oppløst stoff (humus o.l.) i elvevannet. Dette er normalt. Vanligvis øker vannets klarhet med dypet. Profilene i Fig. 2.15 viser imidlertid at også dypere sjikt hadde lave transmisjonsverdier. Tydeligst er dette i fig. 2.15b, med tydelig lyssvekkelse fra 15 m dyp og nedover. Den aktuelle stasjonen blei tatt like i nærheten av Rana Grubers utslipp av finfraksjon på ca. 45 m dyp (posisjon "A" i fig. 1.2). De andre stasjonene er tatt i varierende avstand fra utslippet. Alle profilene viser et ca. 10-15 meter tykt sjikt med redusert transmisjonsverdi. Årsaken er sannsynligvis at sjiktet inneholdt innlagret (og fortynnet) stoff fra utslippet.

Avstanden fra utslippet til de ulike stasjonene er antydnet i figurene. Det var en markert reduksjon i mektighet av innlagringssjiktet fra avstand 250m fra utslippet (fig. 2.15d) til ca. 500 m avstand fra utslippet (fig. 2.15a og c). Selve kjernen i sjiktet hadde omtrentlig samme transmisjonsverdi, og holdt seg i dyp rundt 16-17 meter. Men tykkelsen av det "påvirkede" sjiktet var vesenlig mindre på de to stasjonene lengst fra.



Figur 2. 15a, b. Vertikalprofiler av lystransmisjon og sigma, den 5. oktober 1990 i a: posisjon 500 m SV for utslippet i punkt "A", og b: i posisjon like ved utslippet.



PROFILE: 1 ; POS:\*\*\* NAME : TIME:20.10.5 : 12.15  
 STA: 2 ; POS:\*\*\* NAME : TIME:20.10.5 : 12.52

Fig. 2.15c,d. Vertikalprofiler av lystransmisjon og sigma, den 5. oktober 1990 i c: posisjon 500 m vest for utslippet i punkt "A", og d: i posisjon 250 m sør for utslippet.

De øvrige stasjonene som blei tatt på den aktuelle dagen, synte varierende grad av påvirkning fra utslippet. Stasjonene lengst fra (avstand > 1 km fra utslippet) hadde fortsatt svekket transmisjon i det aktuelle dypet (15-20 meter). det var der også indikasjon på et sjikt i 50-60 meters dyp med svekket transmisjon. Det er mulig at også dette kan skrive seg fra Rana Grubers utslipp.

## 2.2. Strømmålinger

Strømmålingene innbefattet måling i fast posisjon/dyp over lang tid, vertikalprofilering (fra båt), samt noen enkle strømkorsforsøk i utløpet av elva.

### 2.2.1. Langtidsserien

Målingene i posisjon A (tilnærmet) varte fra 29/4 til 12/6 1991. Tidsserien av målt strømfart er synt i figur 2.16. Det var jevnt over "strøm" hele tiden. Noen perioder hadde svak strøm, nær eller under deteksjonsgrensen for instrumentet (1.1 cm/s). Tidvis var det sterk strøm. Maksimalverdien var 28 cm/s (retning mot nord-nordøst). Periodene med strømstyrke over 10 cm/s var imidlertid få og kortvarige. Midlere strømstyrke var om lag 3 cm/s. Måleserien startet ved fullmåne. De ulike månefasene har imidlertid ikke påvirket strømserien merkbart, i form av sterk strøm ved ny-og fullmåne, og svakest ved halv måne.

Tidsserien av strømretning er framstilt i fig. 2.17. Selv om serien virker noe kaotisk, framtrer observasjonene hyppigst i intervallene  $330^{\circ}$ - $060^{\circ}$  (nordoverrettet strøm) og  $160^{\circ}$  -  $220^{\circ}$  (søroverrettet strøm). Framherskende strømretning framkommer bedre i "strømrosene" fig. 2.18. Der er strømfartobservasjonene talt opp i retningsintervaller. Innenfor hvert intervall er det så beregnet antall observasjoner, middelstrøm, samt fluks (antall X middelstrøm). Sistnevnte er viktigst for å bedømme framherskende strøm. Av "fluks"rosen framgår det at strømretning mot nordvest har hatt mest markert fluks. Men også intervallet sør til sørvest hadde betydelig fluks.

### 2.2.2. Vertikalprofiler av strøm

Under toktet 29/4 1991 blei det tatt fire vertikalprofiler av strøm med ultralyd strømmåler. Resultatene er synt i fig. 2.19-2.22. Profilene er plottet som "tidsserier", der også kurven for dyp er lagt inn. Dette er gjort for også å kunne avdekke eventuell variasjon i de kortere tidsrommene sonden blei holdt i et konstant dyp.

Fig. 2.19 viser profilen (strømfart og retning) som blei tatt nær strømmåleriggen. Båten var da fortøyd i en stor fortøyningsbøye, og lå tilnærmet i ro. Max. måledyp var 15 meter (bunn). I de øverste ca. 6 meter var strømmen rettet mot V-NV, med styrke 6-7 cm/s. Strømmen dreiet med klokka i takt med økende dyp. I 8-9 meters dyp var retningen rundt  $120^{\circ}$ , d.v.s. tilnærmet motsatt av retningen i øvre lag.

Figur 2.20 viser profilen tatt nær posisjon R2 utenfor Koksverkaia. Her blei det målt til om lag 30 m dyp. Båten drev kontinu-

erlig utover (retning sørover), noe som har påvirket målingene. Den mest nyttige informasjonen som denne profilen gir, er at strømsstyrken relativt til overflaten endret seg markert i ca. 1.5 m dybde. Om en antar det nedre laget i ro, var kan strømsstyrken i det øvre laget estimeres til 20 cm/s. Aller øverst hadde strømmen retning mot 220° (ut fjorden). Båten drev altså noe langsommere utover enn det aller øverste laget.

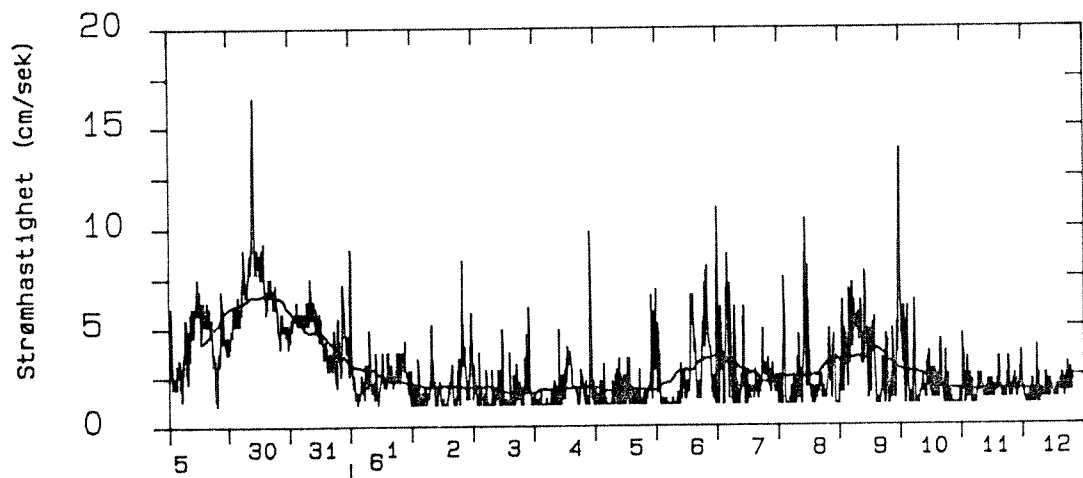
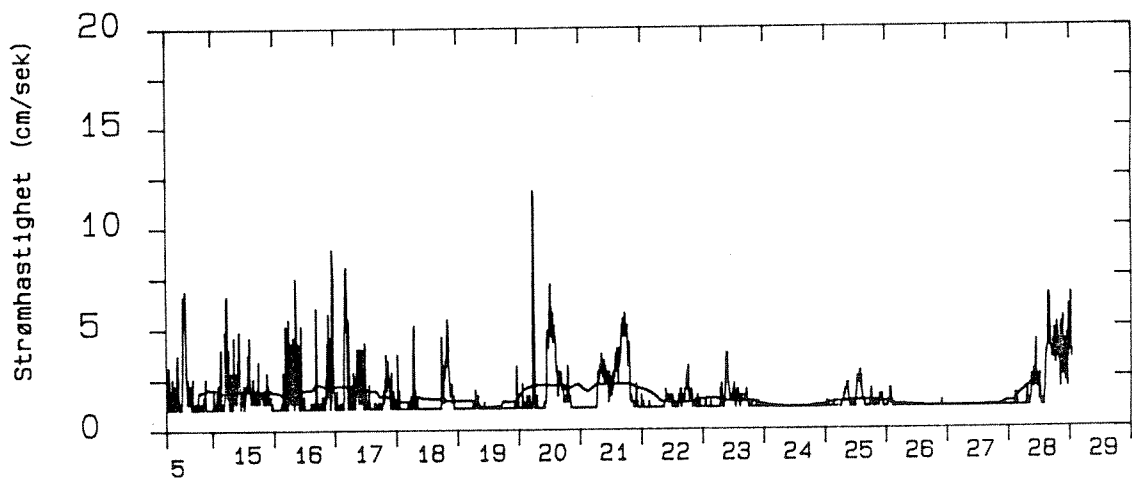
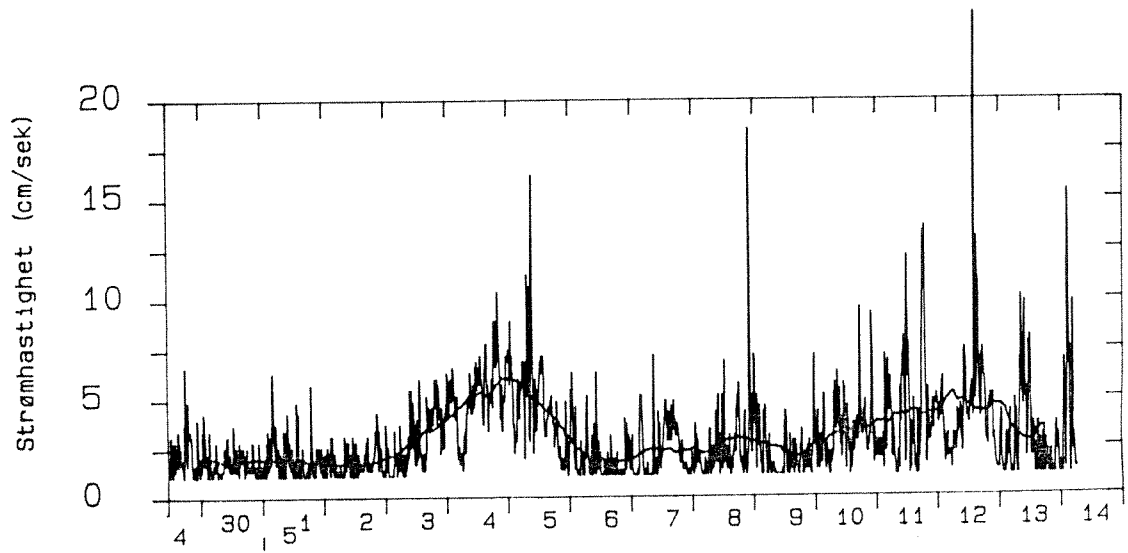
Fig. 2.21 viser profilen tatt nær posisjon R1, i elveutløpet i forlengelsen av jetéen. Båten drev med strømmen utover (i retning 160°). Båtens drift har også her naturlig nok påvirket målingene. Et markert strømskille kan imidlertid spores rundt 1-1.5 m dyp. Dette skillet var sannsynligvis knyttet til sprangsjiktsdypet, som var ca. 1.2 meter (avsnitt 2.1.2). Under dette dypet registrerte måleren "motstrøm", d.v.s. strøm med retning rundt nord (jamfør med fig. 2.21). Over dette dypet var strømrretningen øst til sørøst, altså utover fjorden i forhold til båten. Strømhastigheten i øvre lag kan anslås til ca. 35 cm/s (båtens drift) + 10 cm/s (øve lag relativt til båten) = 45 cm/s.

Fig. 2.22 viser profilen tatt i posisjon R3 ute i fjorden. Også her drev båten med moderat fart i retning mot sørvest. Sterkest "motstrøm" blei registrert i 2-4 meters dyp. I forhold til båtens drift var retningen rundt nord. Sannsynligvis dreier det seg om et sjikt med innoverrettet "kompensasjonsstrøm". Hastigheten til dette laget kan estimeres til 20 cm/s.

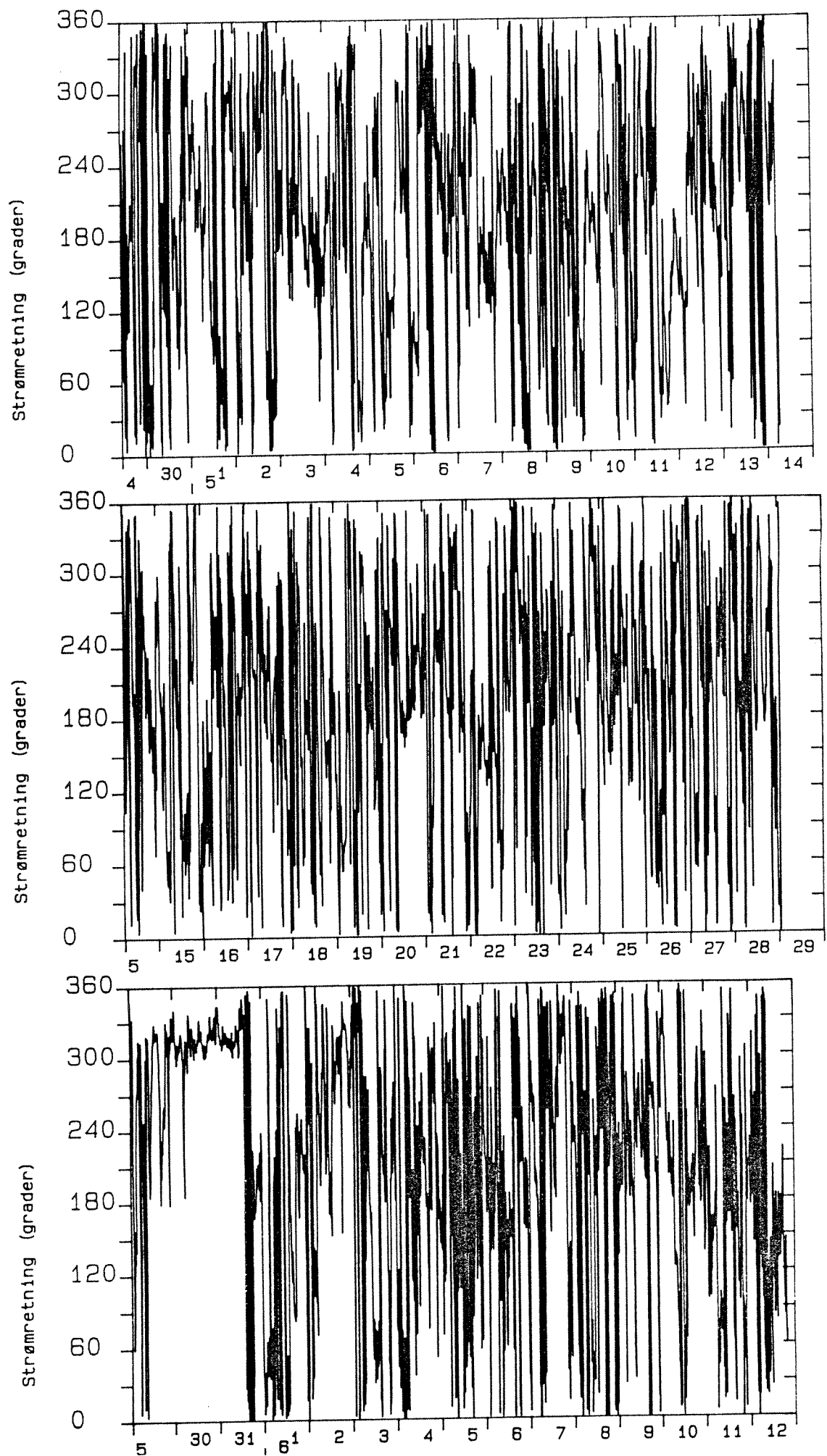
### 2.2.3. Strømkorsforsøk

Noen enkle strømkorsforsøk i utløpet av Ranaelva blei utført 29/4 1991. I posisjon ca. 100 m innafor posisjon R1 blei det samtidig sluppet tre strømkors, med dybde 0.7 m, 2 m og 5 m. Det var tydelig lagdelt strøm. Alle korsene drev utover. Korset i 0.7 m drev imidlertid mye raskere enn to de andre, som holdt tilnærmet følge utover. Det kunne i tillegg iakttas at de aller øverste cm av vannsøylen gled utover vesentlig raskere enn korset i 0.7 meters dyp.

Strømfarten til det øverste korset blei anslått til 23 cm/s, og til de andre "bare" 7-8 cm/s. Strømprofilene med målesonden (forrige avsnitt) antydte hastigheter opp i 45 cm/s i øvre lag. Dette rimer tilsynelatende ikke med strømkorsmålingene. Sistnevne målinger er imidlertid middelerdi for en ca. 20 minutters drivperiode. I siste del av denne perioden var nok i alle fall det grunneste (og raskeste) korset ute av den mest strømssterke sonen.

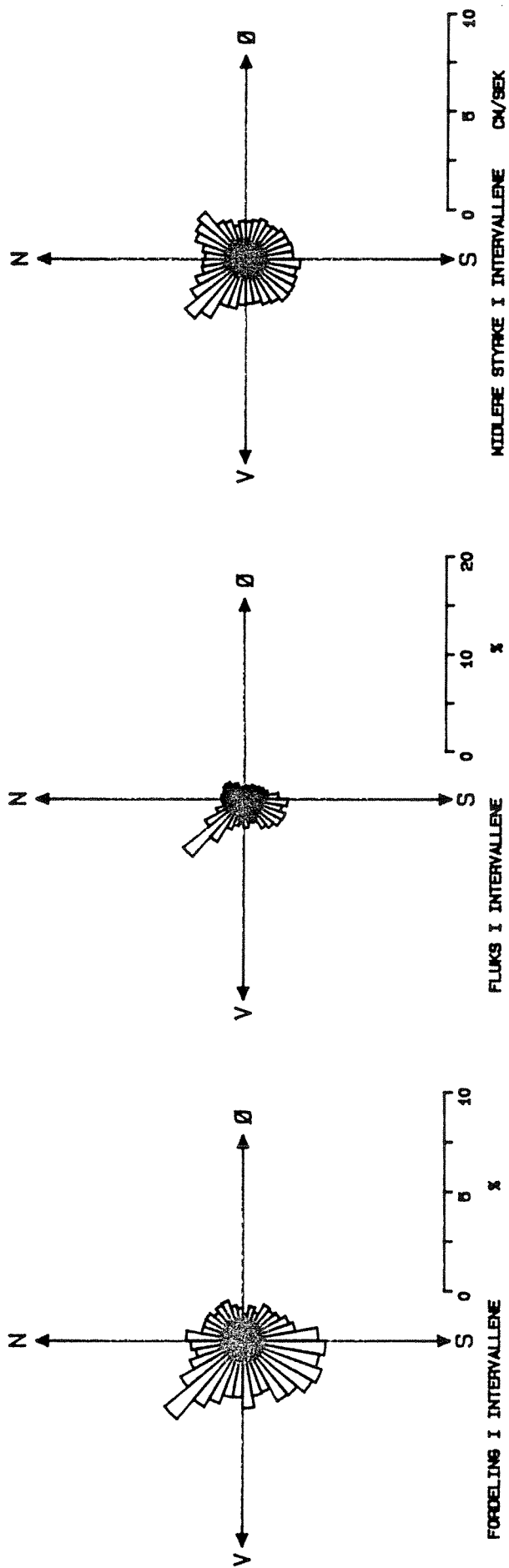


Figur 2.16. Tidsserie av målt strømhastighet i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 12/6 1991.



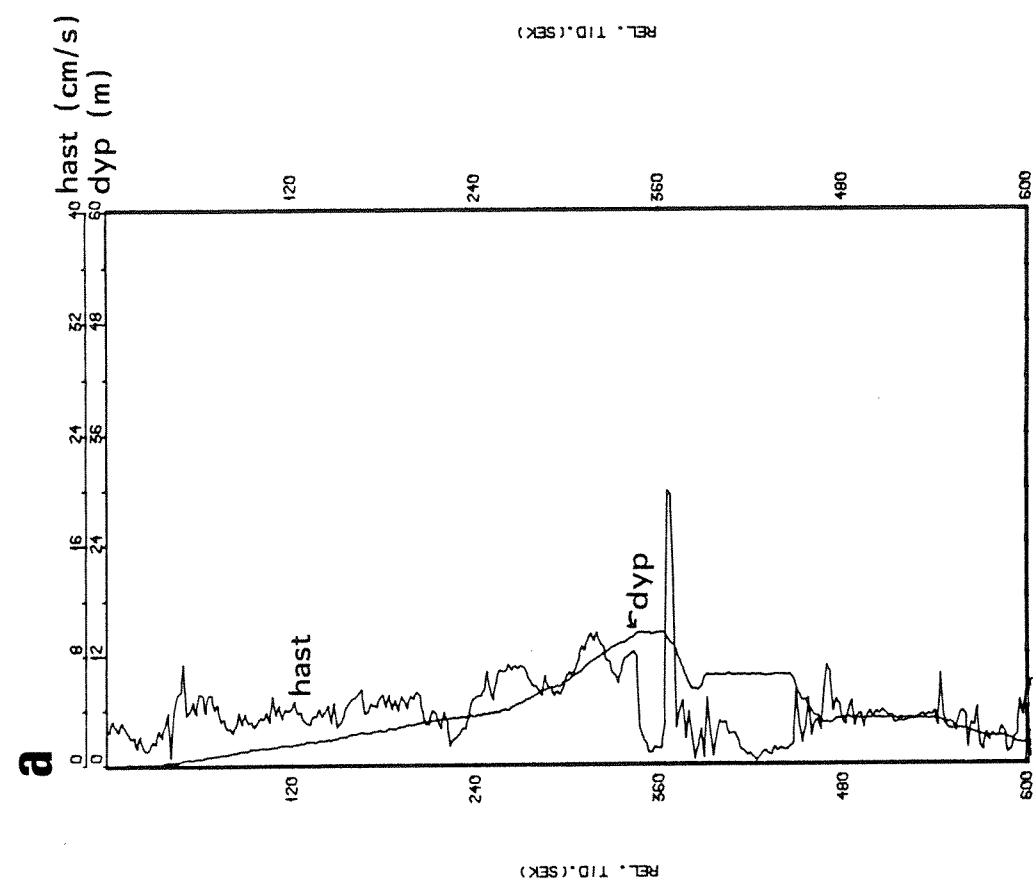
Figur 2.17. Tidsserie av målt strømretning i strømmålerposisjon A, 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 12/6 1991.



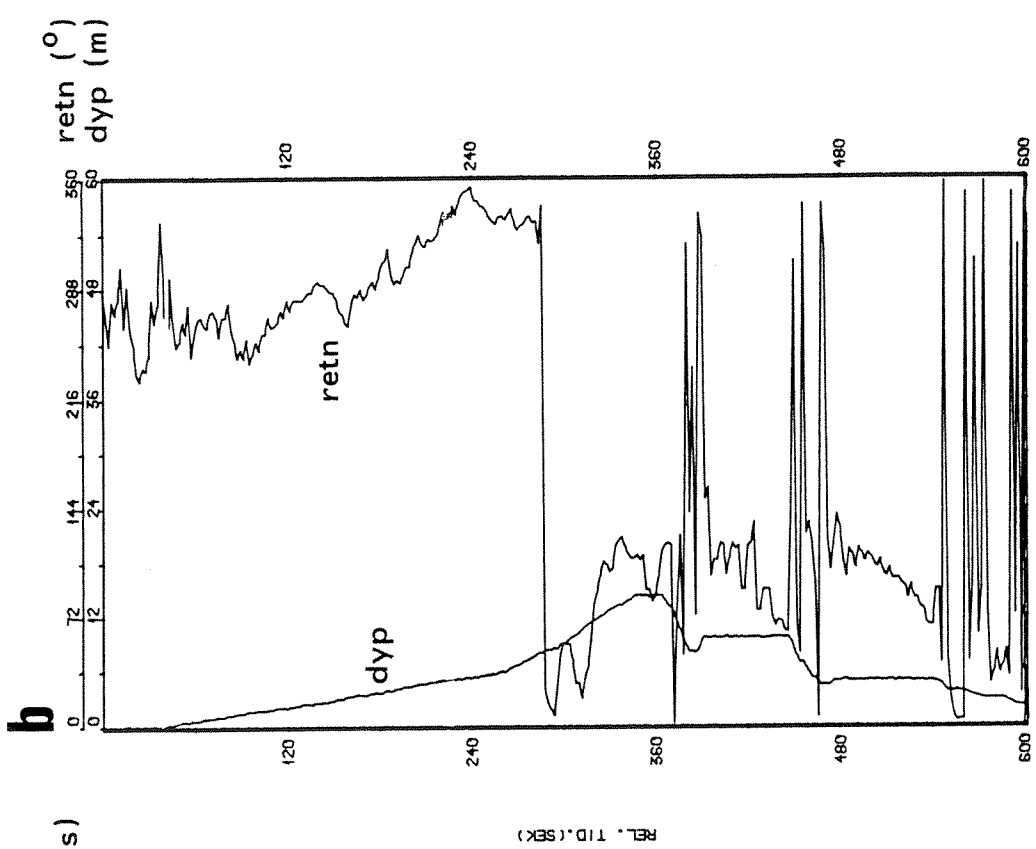


LOKALISERING : Ranafjorden STARTDATO : 910429 KL.: 11.25  
 STASJON : 9059-12 SLUTTDATO : 910612 KL.: 19.55  
 ANTALL MÅLINGER, N= 6388 FILNAVN : GoI-9059-12: ka11

Figur 2.18. Retningsstatistikk for strømmålingene i posisjon "A", 3.5 m dyp i perioden 29/4 til 12/6 1991.



VERTIKAL PROFIL: RANFJORD 29/4 1991  
 STNR 19 ; POS:66.000°N 11.000°E ; DATO:91. 4.29 : 11.15



VERTIKAL PROFIL: RANFJORD 29/4 1991  
 STNR 19 ; POS:66.000°N 11.000°E ; DATO:91. 4.29 : 11.15

Fig. 2.19. Målingene av strømhastighet (a) og strømretning (b) nedover i vannsøyla ved strømmålerstasjonen den 29/4 1991. Kurven for målt dyp er også plottet, slik at en har både tids- og dybdeferanse for strømmålingene.

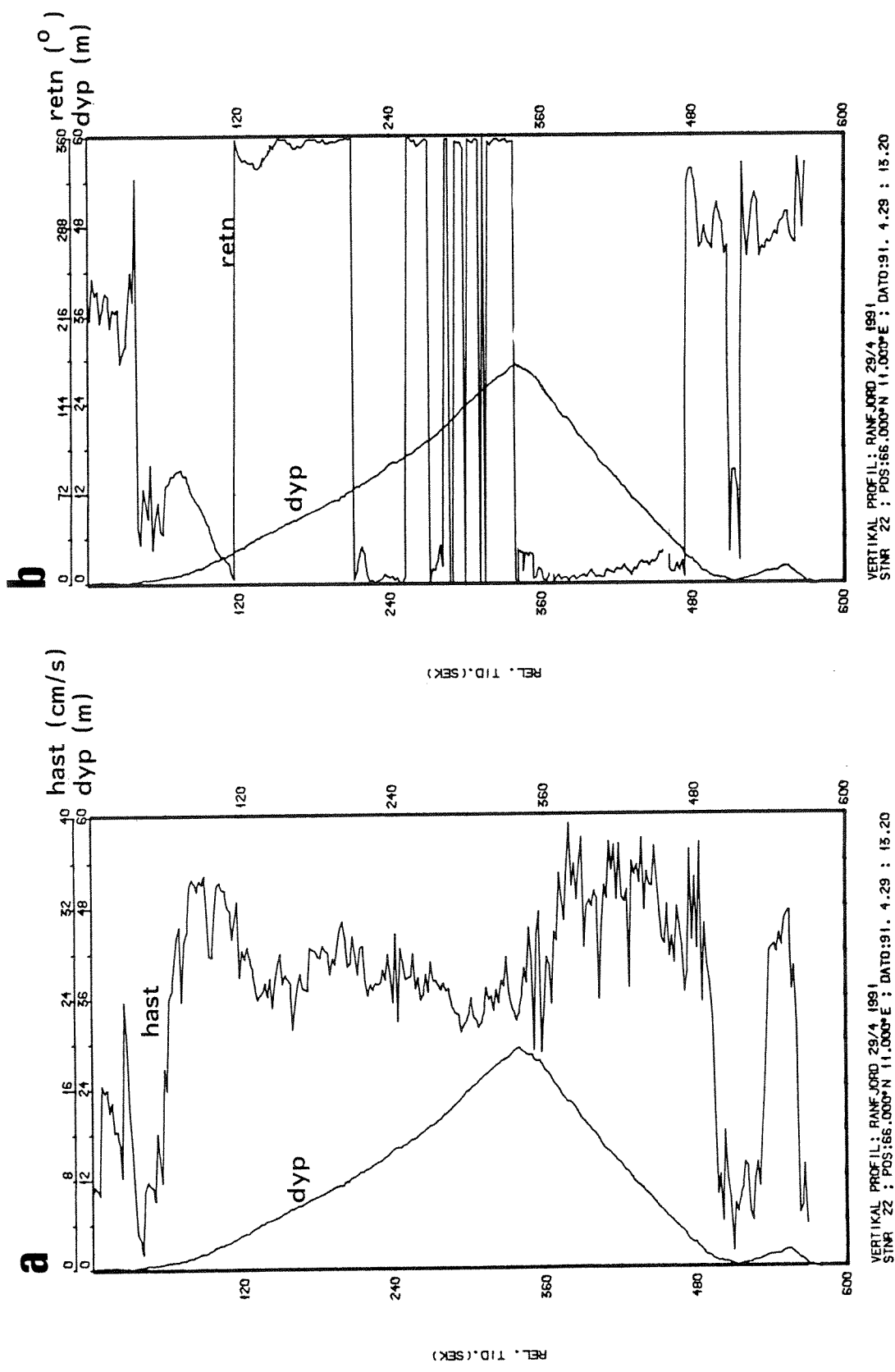


Fig. 2.20. Målingene av strømhastighet (a) og strømretning (b) nedover i vannsøyla i posisjon R2 den 29/4 1991. Kurven for målt dyp er også plottet, slik at en har både tids- og dybdeferanse for strømmålingene.

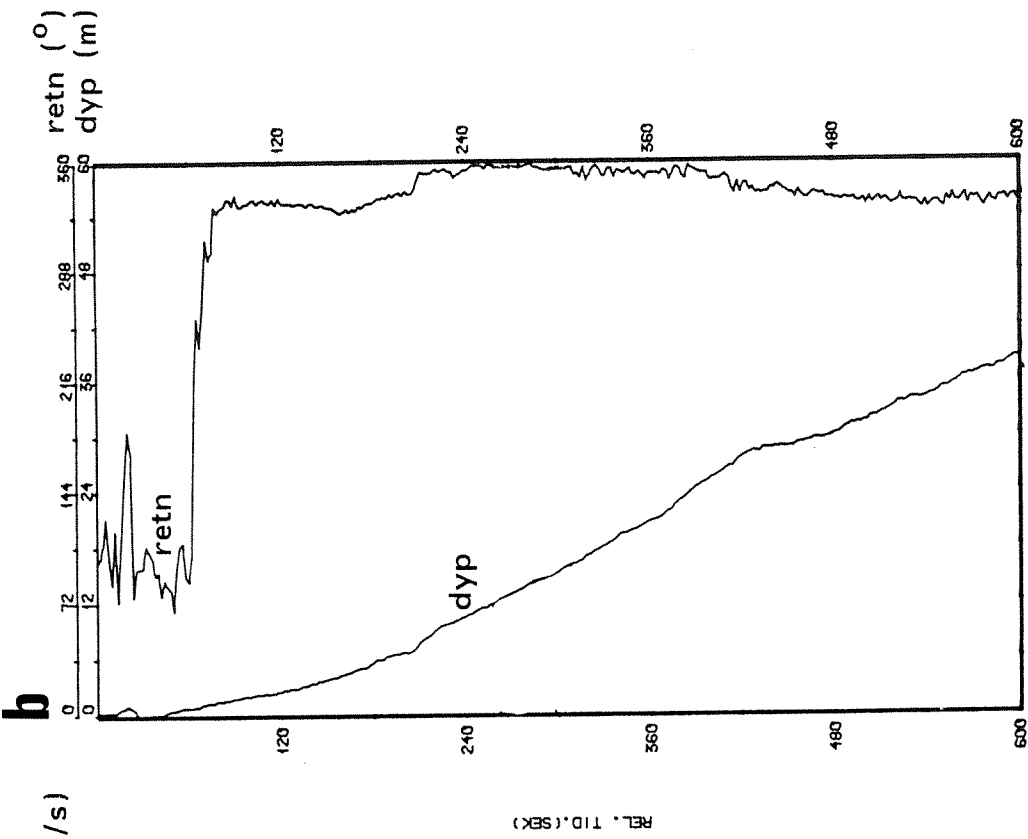
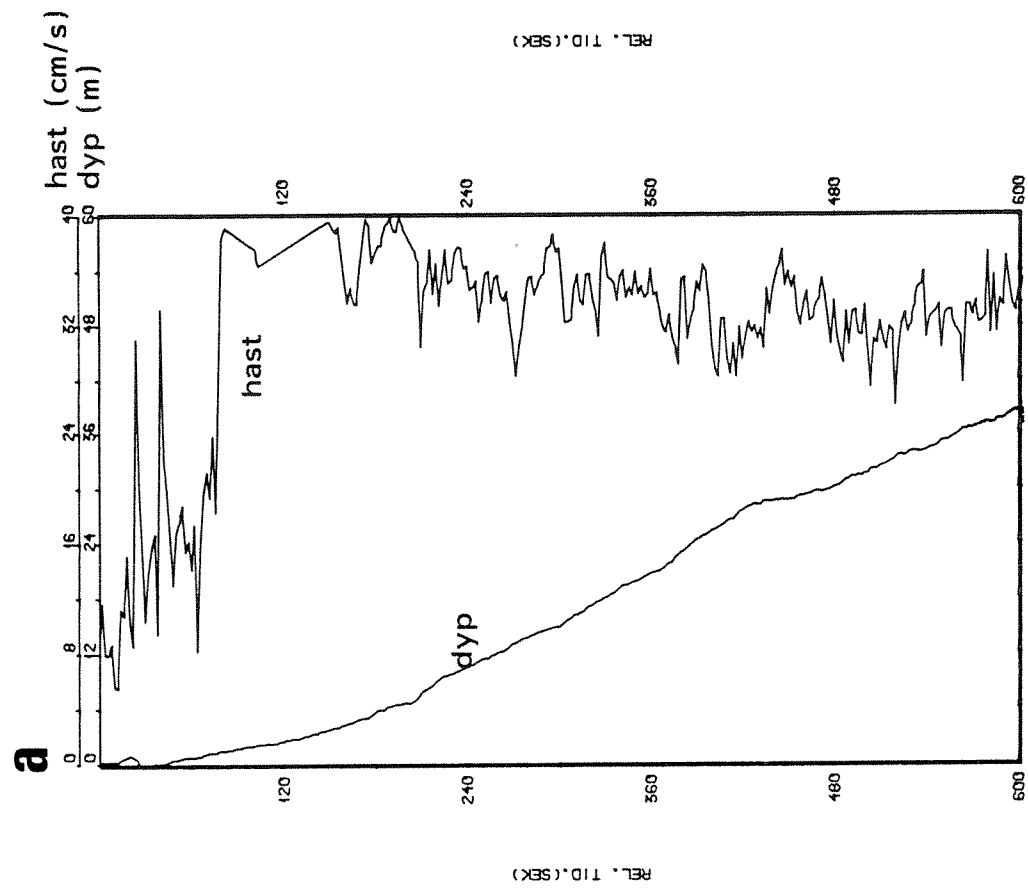


Fig. 2.21. Målingene av strømhastighet (a) og strømretning (b) nedover i vannsøyla i elveutløpet den 29/4 1991. Kurven for målt dyp er også plottet, slik at en har både tids- og dybderefranse for strømmålingene.

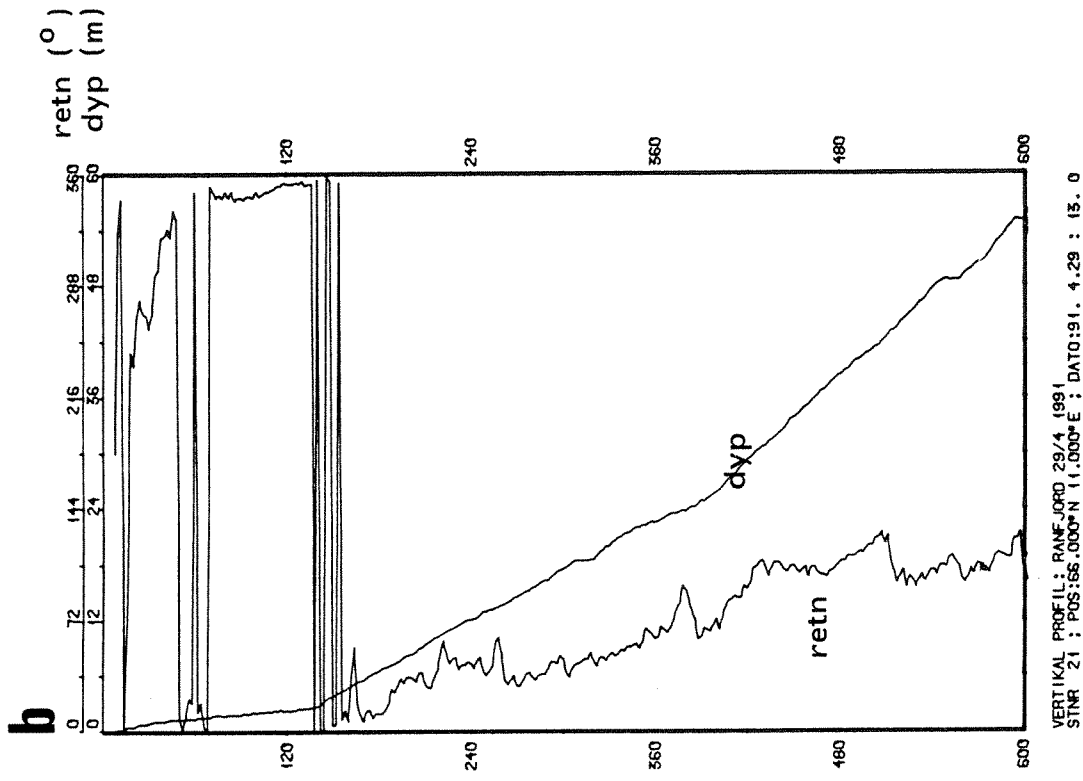
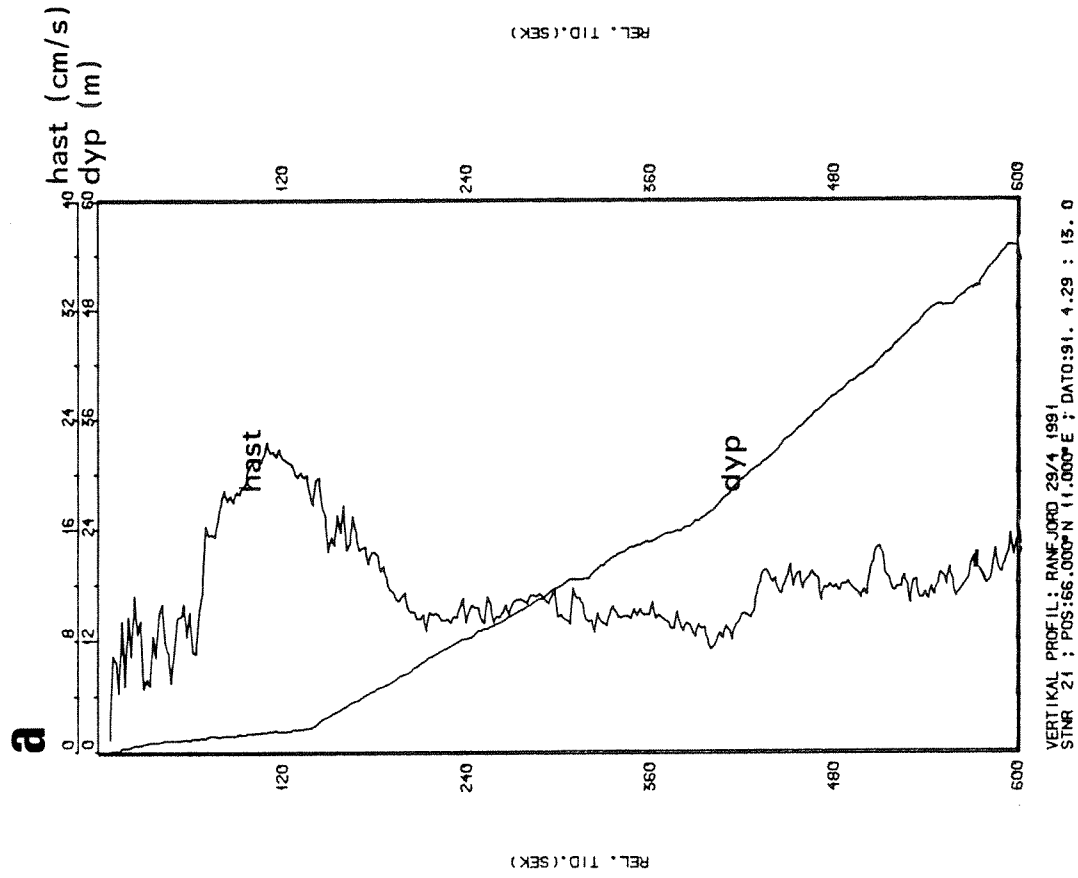


Fig. 2.22. Målingene av strømhastighet (a) og strømretning (b) nedover i vannsøyla ved Koksverk-kaia den 29/4 1991. Kurven for målt dyp er også plottet, slik at en har både tids- og dybdeferanse for strømmålingene.

### 3. VURDERING AV UTSLIPPSALTERNATIVENE

#### 3.1. Bakgrunnsdata

Hydrografiske data (profiler) danner viktigste sett informasjon for å kunne forutsi innlagringsdyp for utslippsvannet. Vi har kjørt modellberegninger for i alt 44 forskjellige hydrografiske profiler. De fleste av disse er fra perioden 1980-1981, og er hentet fra NIVAs database. I tillegg har vi tatt med en del av profilene fra 1990 og 1991. Tabell 3.1 viser tidspunkter, posisjon og antall observasjoner i dypet for de ulike inputprofilene.

Med de ekstra dataene som blei innsamlet under inneværende prosjekt, har en fått dekket alle årets sesonger. Vi har foretatt primærfortynningsberegninger med NIVAs modell "Jetmix". Denne modellen beregner innlagringsdyp og fortynningsgrad for utslippsvann for en gitt beskrivelse av utslippet.

#### 3.2. Primærfortynning og innlagringsdyp

##### 3.2.1. Betingelser

Ferskvannsfluksen, som dominerer utslippene både for finfraksjon og grovfraksjon, vil i det vesentligste bestemme strålebane og fortynning/innlagring, i alle fall for finfraksjonen. For de grovere partikkelmassene vil det kunne oppstå en separasjon av utslippet, der de tyngre bestanddelene synker ned nær utslippet, og eventuelt følger bunnen, s.k. suspensjonsstrømmer (NHL 1971). Dette vil mest dreie seg om utslippet av grovfraksjon.

Det er imidlertid uklart om suspensjonsstrømmer er et permanent trekk, eller bare sporadisk forekommende i Ranafjorden. Undersjøiske "ras" kan utløse suspensjonsstrømmer. NHL (1970) fant ikke noen direkte indikasjon på slike strømmer i sine målinger fra 1968 og 1969. Under målinger i april 1971 ble imidlertid suspensjonsstrøm i en erosjonsrenne utenfor Rana Gruber sitt utslipp påvist (NHL 1971). Strømmen begrenset seg til intervallet mellom bunn og ca. 10 m over bunn. Det var liten forskjell mellom egenvekten til vannet i denne bunnstrømmen og det omgivende vannet. Prøvetaking og påfølgende analyse syntet partikkelkonsentrasjoner av størrelsesorden 150 mg/l i strømmen. Dette ble betraktet som "meget lavt".

Det kan bemerkes at NHL samtidig med bunnstrøm-målingene målte et maksimum i partikkelkonsentrasjon (233 mg/l) i omkring 20 meters dyp. I oktober 1990 fant NIVA et sjikt med lav lystransmisjon i tilsvarende dyp (jamfør avsnitt 2.1.5). Den tilknyttede massetransporten i bunnstrømmen som NHL påviste i 1971, ble beregnet til bare ca. 8% av samlet avgang på 1.3 mill tonn/år. Total avgang den gang var for øvrig av samme størrelsesorden som dagens samlede avgang (avsnitt 1.1.1). Ovennevnte målinger og beregninger tyder på at det meste av avgangen (mer enn 90%) innlagres, spres og fortynnes oppe i vannmassene, og ikke langs bunnen. Den horisontale spredningen er bekreftet av tidligere undersøkelser, som viser sedimentert

industriavfall (fra tidligere utslipp) så langt ute som ved Bustneset, 12 km fra Gullsmedvika (NHL, 1970).

NIVA (1983b) fant høye konsentrasjoner av bl. a. jern og partikler på ca. 50 meters dyp i 1980 og 1981 utenfor daværende Jernverkets dypvannsutslipp. Dette utslippet hadde imidlertid en annen materialkonsistens enn Rana Gruber sitt utslipp, og kan derfor muligens ikke sammenliknes.

Overflatelaget i hele Ranafjorden hadde i 1980 og 1981 høyt innhold av jernholdig partikulært materiale, som var antatt å stamme fra Jernverkets hovedutløp på 5 m dyp i Gullsmedvika (NIVA 1983b).

De foregående betraktningene tyder altså på at det meste av det partikulære materialet i utslippene vil stige opp med ferskvannet, og så spres horisontalt i vannmassen. Utslippsvannet vil umiddelbart etter utslipp bli aksellerert oppover i vannmassen med redusert gravitasjon  $g' = g(\rho_0 - \rho_2)/\rho_2$ , der  $\rho_0$  og  $\rho_2$  er densitet for utslippsvann (ferskvann) og omgivende vann. Denne aksellerasjonen vil være av størrelsesorden  $0.2 \text{ m/s}^2$  i startfasen, og vil gradvis avta mot null etterhvert som innblandingen av fjordvann øker.

Oppstigningen til nær innlagringsdypet, f. eks. fra 45 m til 15 m dyp vil dermed ta anslagsvis 1/2 til 1 minutt, d.v. s. en gjennomsnitts oppstigningshastighet på av størrelsesorden  $0.5 - 1 \text{ m/s}$ . En så stor hastighet vil medføre medrivning av det meste av det finpartikulære materialet som har liten synkehastighet.

Tabell 3.1. Oversikt over hydrografiske profiler fra Indre Ranafjorden som er benyttet i innlagringsberegningene.

PROFIL	STASJON	TID		ANT. MÅLINGER
1	R1	901005	1353	13
2	R1	910219	1320	24
3	R1	910315	1240	24
4	R1	910819	1000	26
5	R1	800827	1515	28
6	R1	800904	1200	28
7	R1	800924	1200	28
8	R1	801001	1200	28
9	R1	801012	1200	28
10	R1	801015	1200	28
11	R1	801023	1200	28
12	R1	801030	1200	28
13	R1	801105	1200	28
14	R1	801112	1200	28
15	R1	801119	1200	28
16	R1	801126	1200	28
17	R1	801203	1200	28
18	R1	801217	1200	28
19	R1	801223	1200	28
20	R1	810102	1200	28
21	R1	810108	1200	28
22	R1	810130	1200	28
23	R1	810520	1200	28
24	R1	810602	1200	28
25	R1	810610	1200	28
26	R1	810617	1200	28
27	R1	810647	1200	28
28	R1	810702	1200	28
29	R1	810708	1200	28
30	R1	810716	1200	28
31	R1	810724	1200	28
32	R1	810728	1200	28
33	R1	810805	1200	28
34	R1	810812	1200	28
35	R1	810820	1200	28
36	R2	901005	1232	20
37	R2	900219	1430	29
38	R2	900315	1315	27
39	R2	900429	1215	23
40	R2	900818	0930	27
41	R3	901005	1500	21
42	R3	910219	1400	29
43	R3	910315	1340	29
44	R3	900819	1020	28



Tidligere er det gjort målinger av synkehastighet for partiklene fra "avgangen" (grovfraksjonen) og fra fortykkeren. Fra disse kildene var synkehastigheten av størrelsesorden 0.2-0.9 cm/s (avhengig av målemetode). Hastigheten for avgangspartiklene var om lag det doble av fortykkerens (NIVA 1983a). Ut fra dette kan en anta at mesteparten av det partikulære materialet følger med utslippsvannet inntil innlagringsdypet er nådd. Deretter inntreer en gradvis utfelling, mens vannet spres horisontalt i fjorden.

Vi har tatt utgangspunkt i tre forskjellige "scenarier" eller alternativer for utslipp gjennom rør med gitte diametre. Rørutløpet er antatt å ligge horisontalt. Utslippstallene for vann pluss faststoff (tabell 1.2) er omregnet til m<sup>3</sup>/sek. Volumfluks og rørdiameter gir farten på utslippsstrålen, som er viktig for fortykningen nær rørapningen (i "jet"-fasen). Egenvekten til utslippsvannet har vi satt lik 1.0 for alle beregningene. Temperaturvariasjonene i utslippsvannet over året (fig. 1.6) gir liten endring i egenvekten (varierer mellom 999.38 og 999.96 kg/m<sup>3</sup>). Partiklene i vannet vil trolig bidra til noe større "faktisk" egenvekt, slik at denne alltid vil være noe over 1000 kg/m<sup>3</sup>. I praksis kan vannstrømmen i utslippet karakteriseres som en slags to-fase strømning av vann og partikler. Bare en liten del av partiklene vil imidlertid være oppløst i vannet, og direkte påvirke vannets egenvekt. For beregningene vil utgangspunktet med egenvekt lik 1000 kg/m<sup>3</sup> medføre et lite overestimat på hvor høyt opp utslippet innlagres. Dette vil imidlertid ikke påvirke resultatene med hensyn på å vurdere de ulike utslippsalternativer mot hverandre.

### 3.2.2. Utslippsalternativene

Utslippsalternativ I representerer et helt nytt utslipp, med grovfraksjon og finfraksjon i samme rør (jamfør avsnitt 1.1.2). Alternativ II gjelder utslipp av grovfraksjon ved moloen (gjennom rør med diam. 0.5 m), og utslipp av finfraksjon gjennom dagens to rør. For sistnevnte har vi i beregningene antatt ett samlet utslipp, med et "effektivt" rørtverrsnitt tilsvarende summen av dagens to rørtverrsnitt. Alternativ III representerer et utslipp liknende alternativ II, men med en ytterligere separasjon av finfraksjonsdelen.

#### Alt. I:

Det dreier seg om 0.7 m<sup>3</sup>/sek utslipp. Her er 15m (Ia), 25 m (Ib) og 50 m (Ic) benyttet som utslippsdyp. Antatt rørdiameter 0.5 m.

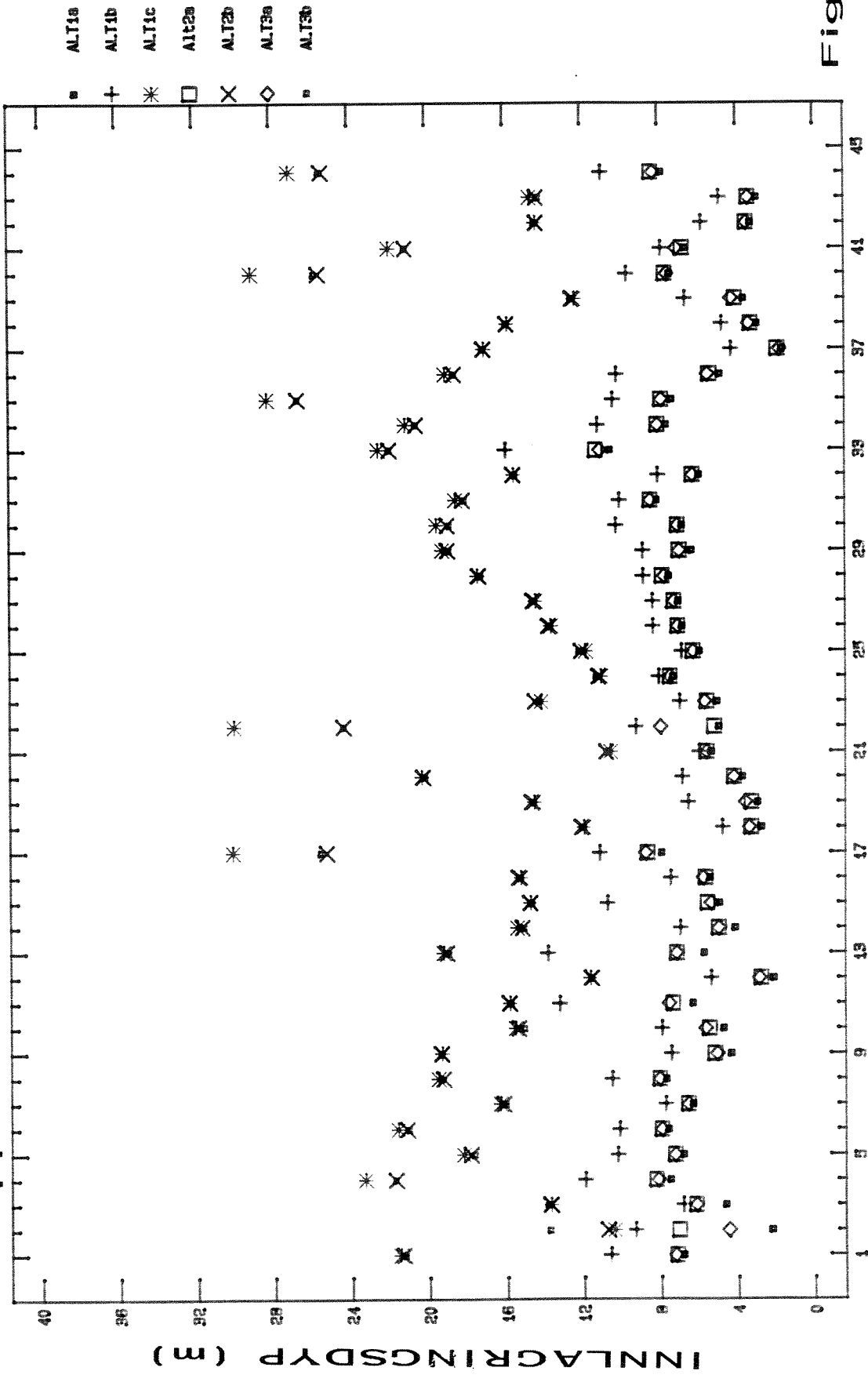
#### Alt. II:

IIa. Fluks= 0.25 m<sup>3</sup>/sek, i dyp= 17.5 m. Rørdiameter = 0.5m.  
 IIb. Fluks= 0.44 m<sup>3</sup>/sek, i dyp= 45 m. Rørdiameter = 0.4m.

#### Alt. III:

IIIa. Fluks= 0.31 m<sup>3</sup>/sek, i dyp= 17.5 m. Rørdiameter = 0.5m.  
 IIIb. Fluks= 0.39 m<sup>3</sup>/sek, i dyp= 45 m. Rørdiameter = 0.4m.

Utslipp fra Rana Gruber. Innlagring for ulike alt.



Profil nr. (tabell 3.1)

Fig. 3.1.

### 3.2.3. Resultater for innlagringsberegninger

Figur 3.1 viser resultater for beregnet innlagringsdyp for de tre alternativene (syv utslipp i alt), som funksjon av profilnr (i følge tabell 4.1). Ingen av utslippene ga senter-innlagring helt i overflaten. Dette skyldes nok sjiktningen mellom utslippsdypet og overflaten, og spesielt tilstedeværelsen av et brakkvannslag øverst, som effektivt danner et "lokk" for det oppstigende vannet. For øvrig sees at det er profilene fra perioden desember til februar som gir grunnest innlagring. Sistnevnte har sammenheng med svak sliktning, noe som er vanlig i denne perioden.

Flere av utslippene har liten innbyrdes forskjell. Utslipp Ic, IIb og IIIb har dypest innlagring. Utslipp Ia, IIa og IIIa har noenlunde lik fordeling, og relativt grunn innlagring. Utslipp Ib ligger litt dypere enn de grunneste alternativene. Noen statistiske verdier for de ulike utslippene/alternativene (beregningsgrunnlaget er 44 profiler for hvert utslipp) er presentert i tabell 3.2. Figur 3.2 viser middelveidene og de tilhørende standardavvikene. Standardavviket (og variansen) er minst for de grunneste utslippene.

For alternativ I (helt nytt utslipp for total avgang) sees at det oppnås vesentlig dypere innlagring ved å øke utslippsdypet fra 25 m (utslipp 1b) til 50 m (utslipp 1c). Forskjellen mellom utslipp i 15 m og 25 m er mindre.

Alternativ II, utslipp IIa representerer grovfraksjon ut gjennom eksisterende ledning ved moloen, og utslipp i 17.5 meter. Her oppnås et innlagringsdyp på i middel 6.1 meter. Finfraksjonen (utslipp IIb) som går gjennom eksisterende ledning(er) innlagres rundt 17 meter.

Alternativ III, utslipp IIIa representerer grovfraksjon pluss grovere del av finfraksjon ut i 17.5 m dyp ved moloen. Her er det beregnet et relativt grunt innlagringsdyp (6.2 meter). Utslipp IIIb representerer resten av finfraksjonen ut i 45 m dyp gjennom dagens ledning(er). Beregnet midlere innlagringsdyp ligger på 17.3 meter (fig. 3.2 og tabell 3.2).

Merk at innlagringsberegningene for dype utslipp (Ic, IIb og IIIb) alle ga innlagringsdyp som samsvarer bra med dypet for redusert lystransmisjon i oktober 1990 (avsnitt 2.1.5).

Tabell 3.2. Noen statistiske verdier for beregnet innlagringsdyp (meter) for de ulike utslippsalternativene. Antall målinger (profiler) er 44 for alle alternativene.

Alternativ	ALTia	ALTib	ALTic
Middelverdi	5.61	8.62	17.86
Standard avvik	1.99	2.54	5.23
Minimum	1.6	4.2	10.4
Maksimum	10.5	15.9	30.1

---

Alternativ	AltIIa	ALTIIb	ALTIIa
Middelverdi	6.17	17.31	6.19
Standard avvik	1.93	4.27	1.92
Minimum	1.8	10.7	1.7
Maksimum	11.2	26.6	11.0

---

Alternativ	ALTIIIb
Middelverdi	17.35
Standard avvik	4.22
Minimum	10.6
Maksimum	26.6

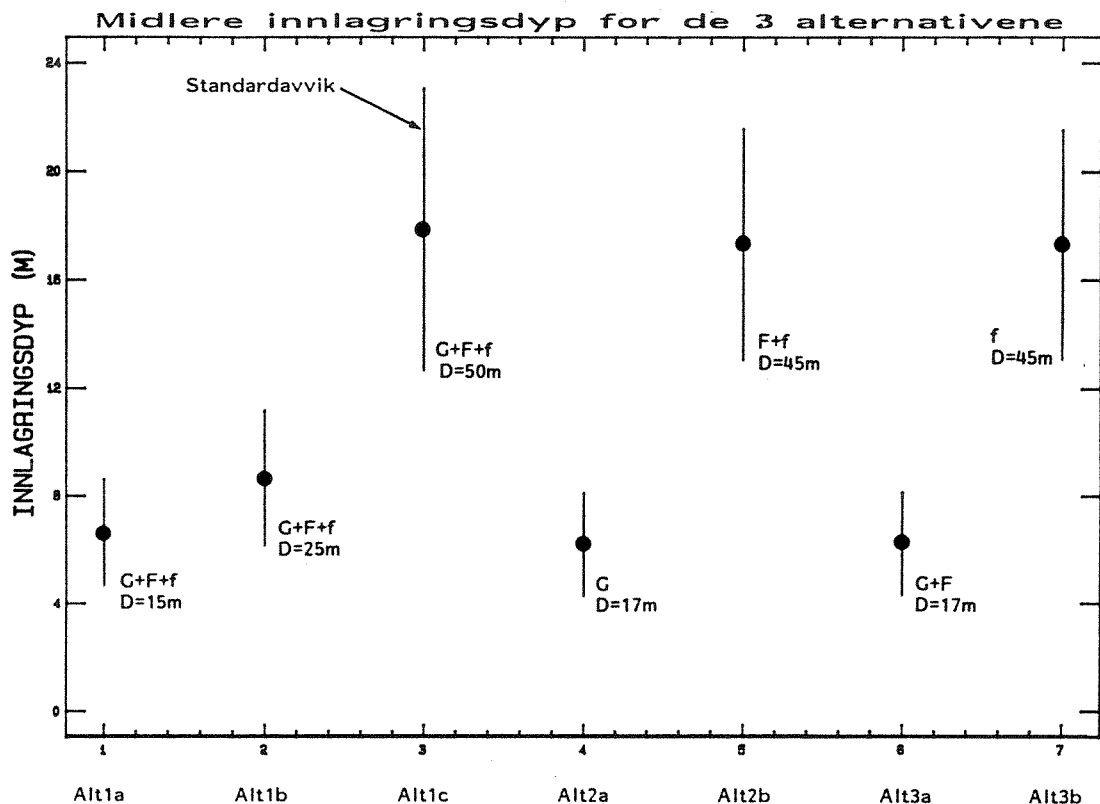


Fig. 3.2.

Figur 3.2. Midlere innlagringsdyp for de ulike alternativene.

### 3.3. Vurdering av framtidige utslipp

Av tidligere undersøkelser framgår at mye avgang sedimenterer nær utslippene. Dette vil også bli tilfellet for det nye arrangementet som skal lages. De grovere deler av avgangen synker raskt til bunns, mens de finere partiklene vil bli spredd utover i fjorden.

En diskusjon omkring spredning for de ulike utslippsalternativene vil dreie seg om hvorvidt en foretrekker/aksepterer en stor fortykning og spredning av finfraksjon, som medfører liten eller moderat påvirkning i et stort fjordareal (fjernsonen), eller en mindre spredning, og sedimentering/påvirkning innenfor et mer begrenset område (nærsonen).

Våre vurderinger går ut på å rangere utslippsalternativene med hensyn til påvirkningsgrad i nærsonen og fjernsonen. Hva som best kan aksepteres, er et spørsmål der miljøvernmyndighetene må trekkes inn i diskusjonen. I den sammenheng bør biologiske effekter av partikkelforurensingen både på bunn og i vannmassene vurderes. Bunnforhold og vannkvalitet i indre deler av Ranafjorden (havneområdet) er allerede sterkt påvirket av tidligere og nåværende utslipp. Utslippene av partikulært materiale fra Rana Gruber består mye av silisiumoksyd og jern/jernoksyd. En del av jernet vil være bundet til partikler, og noe vil være løst. Rundt 1980 synte prøver at det var av størrelsesorden 10-100 ganger så mye jern løst i vannmassene som partikulært bundet (NIVA 1983b).

Fraksjonen av løst jern kan imidlertid ha endret seg, i takt med endrede utslipp. Analyse av jerninnhold i blåskjell i 1989 og 1990 viste overkonsentrasjoner i de innerste delene av fjorden, og relativt jevnt avtakende konsentrasjoner utover (NIVA 1991b). Det er imidlertid spørsmål omkring i hvor stor grad partikkelbundet jern (som fra Rana Gruber) er tilgjengelig for opptak i blåskjell, og dermed om de målte konsentrasjonene er representative for konsentrasjoner i vannmassen.

#### 3.3.1. Utslipp av grovfraksjonen

For grovfraksjonen vil det uansett utslippsarrangement måtte forventes en opphopning av materiale nær/under utslippet, og stundom utrasing som kan virvle opp en del partikler, og danne midlertidige suspensjonsstrømmer. Slik utrasing har nok skjedd ofte tidligere (selv om det ikke er direkte målt), den gang utslippet gikk ut sør for jetéen. Det er imidlertid ikke rapportert om (synlige) effekter av slike utrasinger. Sannsynligvis vil det relativt tunge materialet som virvles opp, følge eksisterende dyprenner nedover, og dermed ikke i merkbar grad berøre de høyereliggende deler av vannsøylen.

Bunntopografien utenfor havneområdet (fig. 1.2) viser en rygg som går utover i retning SV. Bunnen nordafor denne ryggen (utenfor gammelt utslipp "B") synes å skråne noe brattere enn på sørøstsiden av ryggen (ved dagens utslipp for finfraksjon "A"). Ut fra dette kan en plassering av utslipp av grovfraksjon på nordsiden

av ryggen i tilstrekkelig dyp synes gunstigst. Det er imidlertid ingen tungtveiende grunner for dette valget. Et utslipp på sørøstsiden vil sannsynligvis innebære tilnærmet samme betingelser med hensyn til tilstrekkelig skrånende bunn til å lede avgang og eventuelle suspensjonsstrømmer ut på dypt vann. "Tilstrekkelig dyp" for utslipp av grovfraksjon vil være av størrelsesorden 15-20 meter (som for det gamle utslippet) eller dypere.

Det må forventes at grovfraksjonen også inneholder noe finpartikulært materiale. På grunn av ferskvannsmengdene i utslippet vil dette kunne stige noe opp i vannsøylen (jamfør betraktninger ang. finfraksjonen). Sprangsjiktet vil danne en naturlig barriere for denne oppstigningen. På grunn av at det framtidige utslippet vil innebære større vannmengder enn før (jamfør avsnitt 1.1.1), vil risikoen for påvirkning i øvre del av vannsøylen kunne være noe større enn for det gamle utslippet av grovfraksjon sør for jetéen. Stoffmengdene det her er tale om, er sannsynligvis så små at de vil innebære liten partikkelforurensing i vannsøylen, sammenlignet med utslippet av finfraksjon.

Tilstrekkelig avstand til bunn må sikres, slik at avfallshauger ikke kan tette utslippet. Et regularbart/flyttbart utslipp er sannsynligvis det beste, for å unngå dette problemet. Dette er et teknisk spørsmål som må avklares med Rana Gruber, med basis i erfaringer fra det tidligere utslippet for grovfraksjon.

For grovfraksjonen vil alle utslippsalternativene i overveiende grad gi lokale effekter. Av de foreslåtte alternativene for utslipp av grovfraksjon synes alternativ II (utslipp IIa, grovfraksjon gjennom eksisterende ledning sør for jetéen) å innebære den mest tilfredsstillende løsningen. Ved dette utslippet har en også erfaringer og undersøkelser fra tidligere å bygge på. Dette kan være viktig med tanke på å kunne registrere endrede virkninger av utslippet i forhold til tidligere, bl. a. på grunn av endrede vannmengder i utslippet.

Alternativ I (helt nytt, kombinert utslipp) med utslipp i 50 meter gir dypest innlagring (fig. 3.2). Men for grovfraksjonens del spiller innlagringsdypet mindre rolle. Et så dypt utslipp vil måtte medføre at ledningen legges relativt langt ut, til bunn dyp på minimum 70-80 meter (må ha tilstrekkelig avstand fra bunn). Lang ledning og dypere oppankring kan medføre økt risiko for driftsforstyrrelser, og større vanskeligheter med kontroll av utslippet. Dette er imidlertid et teknisk aspekt, som må vurderes separat.

Alternativ III tilsvarer alternativ II, men med et tillegg av grovere del av finfraksjonen, og dermed også noe større vannmengder (1100 tonn/time kontra 925 tonn/time). Innlagringsberegningene synte tilnærmet samme innlagringsdyp, slik at for grovfraksjonens del synes disse alternativene likeverdige.

### 3.3.2. Utslipp av finfraksjon

Spredningen i fjorden vil i første rekke bli bestemt av det aktuelle innlagringsdypet, og strømforholdene i dette dypet. Utenfor Gullsmedvika viste strømmålingene våre i 4.5 meters dyp strøm med hovedretning mot nordvest. Strømmåleren stod i nærheten (litt grunnere) enn de grunneste verdiene for innlagring ved utslipp på dette stedet (alt. IIB og IIIB), men er sannsynligvis representativ for strømmen også i 6-7 meters dyp. Hovedstrømretningen kan tyde på at dette sjiktet er en del av den innoverrettede kompensasjonsstrømmen i fjorden.

Våre strømprofiler fra 29. april 1991 synte at den utoverrettede strømmen på det tidspunktet var begrenset til de øvre 1.5-2 meter, og at sjiktet mellom 2 og 4 meter hadde mest markert innoverrettet strøm (jamfør avsnitt 2.2.2). Tidligere målinger og modellforsøk har indikert en bakevje og tilbakestrømming utenfor Gullsmedvika. Dette er imidlertid sannsynligvis bare knyttet til ellevannet i det øverste laget. Strømmen vi har målt er nok betinget av ellevannet, men ikke direkte styrt av lokale bakevjer nær utløpet.

En lokal resirkulering og sedimentering av finere deler av finfraksjonen er på bakgrunn av det ovenstående mest sannsynlig for alternativene som gir grunnest innlagring (utslipp Ia og IIIa). Av disse vil utslipp IIIa representere minst mengder av finpartikulært materiale (noe går ut i 45 m dyp). Viss en vil unngå fjern-effekter, og søke å konsentrere de negative effektene om nærområdet til utslippet, synes derfor alternativ I, med utslipp Ia (nytt felles utslipp av grov- og finfraksjon i 15 m) best. Deretter rangeres alt. III.

Utslippene som gir dyp innlagring (i 15-20 m) har større sannsynlighet for å bli ført utover i fjorden. Både alt. II og III innebærer denne muligheten, men alt. III innebærer bare en liten del av finfraksjonen (5 tonn/time). Alternativ I, med utslipp i 50 m (utslipp Ic) ligger også i den samme gruppen for liten nærpåvirkning, og større fjernpåvirkning.

I figur 3.3 har vi skissert en rangering av de ulike utslippsalternativene for finfraksjon, med hensyn til grad av påvirkning på nærsone (havneområdet) og fjernsone (fjorden).

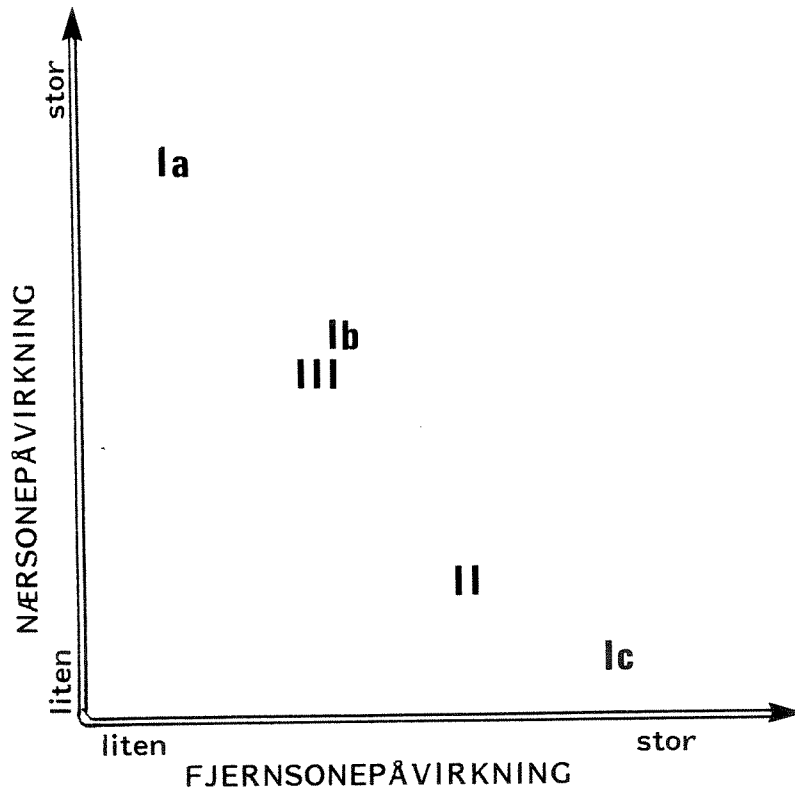


Fig. 3.3. Kvalitativ rangering av de ulike utslippsalternativene av finfraksjon.



### 3.4. Konsekvenser for islegging

Bobleanlegget i utløpet av Ranaelva har siden det blei installert, gjennomgående fungert tilfredsstillende ved å redusere plagen med is. Tidvis har imidlertid virkningen vært mer diskutabel. Det er derfor reist spørsmål om hvorvidt industriutslippene påvirker effekten av bobleanlegget, eventuelt selve isdannelsen.

Utløpet av Ranaelva er et gunstig område for isdannelse, noe som er bekreftet både av teori (jamfør med avsnitt 1.5.2) og av observasjoner. Vannføringen i Ranaelva er i årsmiddel rundt 300 m<sup>3</sup>/s (avsnitt 1.4). Om vinteren kan en regne med vannføring av størrelsesorden 100-200 m<sup>3</sup>/s. Rana Gruber sitt utslipp (av vann) er av størrelsesorden 1 m<sup>3</sup>/s eller mindre. Det er derfor lite sannsynlig at dette relativt sett beskjedne utslippet påvirker brakkvannsforholdene og isleggingen nevneverdig.

Dersom Rana Grubers utslipp stiger til overflaten, vil islegging i nærheten av utslippet kunne bli stimulert. Våre innlagringsberegninger for framtidige aktuelle utslippsdyp, tilsier imidlertid innlagring under overflaten, også om vinteren. Noen av modellsimuleringene for framtidige utslipp likner dagens utslipp av finfraksjon. Det er derfor heller ikke sannsynlig at dagens utslipp påvirker isleggingen i Indre Ranafjorden nevneverdig.

#### 3.4.1. Beregning av vannsøylens isberedskap

Vi har kjørt noen enkle is-beregninger på profilene fra 1990 og 1991 (jamfør tabell 3.1). Vi har simulert et varmetap til lufta, og sett hvilke konsekvenser dette har for den aktuelle vannsøylen. Selve beregningsmetoden er omtalt i avsnitt 1.5.2.

##### Test nr 1, effekt av et gitt varmetap.

Et antatt totalt varmetap på 400W/m<sup>2</sup> over 18 timer (= 2.5x10<sup>7</sup> Joule/m<sup>2</sup>), med resulterende avkjøling, ga ingen islegging for målingene i oktober 1990 og august 1991 (på grunn av varmt overflatelag). De andre "vinter"- målingene ga is-tykkelse varierende mellom 3.6 cm (profil 13, februar 1991) og 7.7 cm (profil nr 20, april 1991). Disse resultatene synes å stemme rimelig bra overens med observerte istykkelser etter et døgn kulde, gjerne med klarvær.

##### Test nr. 2, konveksjonsdyp.

For profilene fra 1990-1991 som ga islegging under test 1, er det kjørt beregninger for å se hvor dypt konveksjonen når, før islegging tar til. I de aktuelle tilfellene berørte konveksjonen bare den øverste meteren av vannsøylen, oftest bare de 2-3 øverste desimetrene. Dette tyder på at konveksjonen normalt ikke berører vannmassene i de dyp hvor Rana Grubers framtidige utslipp innlagres (uansett valg av utslippsalternativ).

Temperatureffekten av utslippene (noe overtemperatur i forhold til det kalde fjordvannet i enkelte tilfeller), vil være minimal. Innlagringsberegningene synte en senterfortynning større enn 10 (typisk 20-40 ganger). En eventuell overtemperatur på 3-4 grader

i utslippsvannet, vil raskt bli redusert, til en tidel eller mindre av overtemperaturen i utgangspunktet.

Teoretisk vil det innlagrede vannet, med en viss overtemperatur, kunne bli ført innover mot bobleområdet, og bli løftet noe oppover i vannsøylen. Dette vil i så fall medføre et varmetilskudd (og salttilskudd) til det øvre lag, og således bidra til å forsinke isleggingen. En taler her om tendenser "i retning av". Kvantitativt er det sannsynligvis tale om svært små bidrag.

En samlet vurdering synes dermed å indikere at verken dagens utslipp eller noen av de planlagte utslippene vil påvirke verken effekten av boblelanlegget eller isleggingen i utløpet av Ranaelva.

**LITTERATURLISTE ang. diverse undersøkelser i Ranafjorden**

NHL 1963? (udatert): Utløpet av Ranaelva. Modellforsøk, delrapp. nr. 1. NHL, Trondheim.

NHL, 1966: Utløpet av Ranaelva. Modellforsøk 1963-1965. Rapp. NHL, Trondheim.

NHL, 1970: Ekkolodding i Mo i Rana 1968-1969. Prosjektet: Suspensjonsstrømmer i naturen. Intern rapp. NHL, Trondheim.

NHL 1971: Suspensjonsstrømmer i naturen. Rapport fra undersøkelser i Ranafjorden våren 1971. Rapp. nr. 600343 NHL, Trondheim.

NHL 1979a: Etterkontroll ved bobleanlegget Mo i Rana Nov. 78 - Feb. 79. Rapp. nr. A79026 NHL, Trondheim.

NHL, 1979b: Strømmålinger ved Koksverkskaia. Rapp. STF60 F79037 NHL, Trondheim.

NHL, 1982: Etterprøving av bobleanlegget ved Mo i Rana. Oversikt over tidligere undersøkelser. Rapp. nr. 2-82048, NHL, Trondheim.

NIVA 1977 (Kirkerud m. fl.): Resipientundersøkelse i Ranafjorden. Rapp. nr. 2, innledende undersøkelser. Rapp. O-31/75 NIVA, Oslo.

NIVA 1983a (Ø. Tryland): Basisundersøkelse i Ranafjorden- en marin industriresipient. Delrapp. 1. Rapp. nr. 1447 NIVA, Oslo.

NIVA 1983b (K. Næs og J. Skei): Basisundersøkelse i Ranafjorden. Delrapp. 3, Løste metaller og partikler i vannmassene. Rapp. nr. 1484 NIVA, Oslo.

NIVA, 1985 (Kirkerud m. fl.): Basisundersøkelse i Ranafjorden. Samlerapp. Rapp. nr. 1800, NIVA, Oslo.

NIVA, 1991a (L. Golmen og N. Green): Målinger av hydrografi og lystransmisjon i Indre Ranafjorden 5. oktober 1990. Notat 2/1 1991, NIVA-Vestlandsavdelingen, Bergen.

NIVA 1991b (N. Green og J. Knutzen): Undersøkelse i Ranafjorden 1989-1990. Statusrapport (foreløpig utgave). Rapp O-800310 NIVA, Oslo.