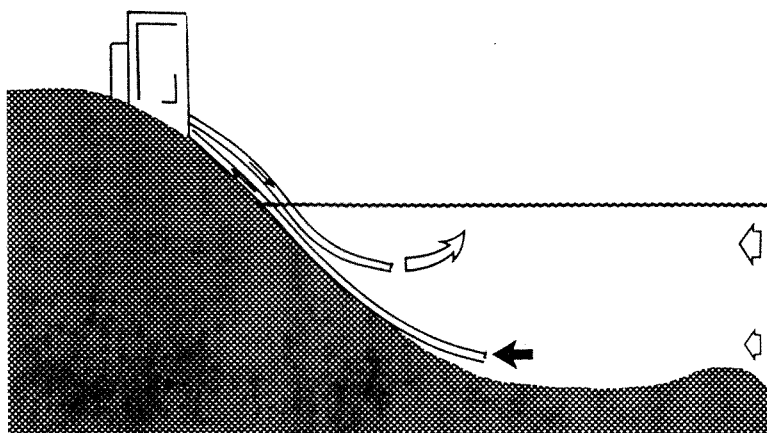




O-89111

Resipientundersøkelse i Opløyfjorden i Nærøy kommune 1989-1990



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

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

Prosjektnr.: O-89111
Undernummer:
Løpenummer: 2571
Begrenset distribusjon: Nei

Rapportens tittel: Resipientundersøkelse i Opløyfjorden i Nærøy kommune 1989 - 1990.	Dato: April 1991
	Prosjektnummer: O-89111
Forfatter (e): Lars G. Golmen Håvard Bakke	Faggruppe: Marin eutrofi
	Geografisk område: N. Trøndelag
	Antall sider (inkl. bilag): 82

Oppdragsgiver: Nærøy Kommune	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt:

Det er utført målinger av strøm og hydrografi i Opløyfjorden i Nærøy kommune, Nord Trøndelag. Måleperioden var juni 1989 -mars 1990. I Indre Opløyfjorden ble det tatt sedimentprøver. Indre Opløyfjorden hadde dårlige oksygenforhold i bassengvannet, og høyt organisk innhold i sedimentet. Kvikk-sølvkonsentrasjonene var omlag på bakgrunnsnivå. Selve Opløyfjorden hadde redusert, men ikke kritisk lavt oksygeninnhold i bassengvannet, og gjennomgår sannsynligvis en fullstendig utskifting hvert år. Ytterligere belastning av Indre Opløyfjord frarådes, mens selve Opløyfjorden kan tåle noe øket organisk belastning.

4 emneord, norske:

1. Fjord
2. Oksygen
3. Fiskeoppdrett
4. Eutrofi

4 emneord, engelske:

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

Prosjektleder:

Lars G. Golmen
Lars G. Golmen

For administrasjonen:

Torgeir Bakke
Torgeir Bakke

ISBN 82-577-1893-9

O-89111

**Resipientundersøkelse i
Opløyfjorden i Nærøy kommune
1989 ---- 1990**

Bergen april 1991

**Håvard Bakke, medarb.
Lars G. Golmen, prosj.leder**

FORORD

I mai 1989 inngikk NIVA en avtale med Nærøy kommune i Nord-Trøndelag om å utføre en resipientundersøkelse i Opløyfjorden. Undersøkelsen var ment som en oppfølging av en mer generell kartlegging som året før var foretatt av OCEANOR. Formålet med undersøkelsen har i første rekke vært å vurdere fjorden som resipient og vannkilde i forbindelse med planlagt landbasert oppdrett.

Lokal kontaktperson i kommunen har vært næringskonsulent Geir S. Hansen. Det er opprettet en lokal styringsgruppe for prosjektet. G. A. Brantzæg fra Salsbruket har stått for prøvetaking, og bistand under NIVAs feltarbeid. Det rettes en spesiell takk til ham og hans medhjelper for god innsats og tålmodighet gjennom måleperioden. En takk rettes også til Namdal kjøtt- og næringsmiddelkontroll, som har utført analyser av oksygenprøvene. Takk også til Terje Hopen og Inger Midttun hos NIVA, som har bistått med EDB og tekstredigering.

Et rapportutkast blei sent til styringsgruppa i september 1990, og kommentarer til utkastet er tatt til etterretning under slutførelse av rapporten.

Bergen, april 1991

Lars G. Golmen, prosjektleder

INNHOOLD

SAMMENDRAG	1
NOEN DEFINISJONER	2
1. INNLEDNING	3
1.1 <u>Bakgrunn for foreliggende rapport</u>	3
1.2 <u>Aktuelle problemstillinger</u>	5
1.3 <u>Tidligere undersøkelser</u>	6
1.4 <u>Opløyfjorden; topografi og meteorologi</u>	7
1.4.1 <u>Bunntopografi</u>	7
1.4.2 <u>Meteorologi</u>	8
2. LITT OM VANNUTSKIFTING I FJORDER	11
2.1 <u>Hydrografiske forhold</u>	11
2.1.1 <u>Litt om sirkulasjon i fjorder</u>	12
2.1.2 <u>Vannkvalitet og utskifting</u>	15
3. UNDERSØKELSENE I 1989-1990	17
3.1 <u>Hydrografi</u>	17
3.2 <u>Strømmålinger</u>	20
3.3 <u>Andre registreringer</u>	21
3.3.1 <u>Værdata</u>	21
4. MÅLERESULTAT	25
4.1 <u>Hydrografi</u>	25
4.1.1 <u>Hydrografi, generelle trekk</u>	25
4.1.2 <u>Oksygen</u>	33
4.2 <u>Målinger med faststående instrumenter.</u>	36
4.2.1 <u>Målinger i 4 m dyp.</u>	36
4.2.2 <u>Målinger i 18 m dyp.</u>	39
4.3 <u>Andre registreringer</u>	40
5. LANDBASERTE ANLEGG FOR FISKEOPPDRETT	43
5.1 <u>Definisjoner</u>	43
5.2 <u>Bakgrunn og utvikling hittil</u>	43
5.3 <u>Driftserfaringer med laks i landbaserte anlegg</u>	44
5.4 <u>Avløp og rensing</u>	45
5.5 <u>Lokalisering av landbaserte anlegg</u>	45
5.6 <u>Utvikling framover</u>	46

6.	DISKUSJON	47
6.1	<u>Vurdering av fjordens tilstand</u>	47
6.1.1	<u>Dypvann og sediment</u>	47
6.1.2	<u>Frie vannmasser</u>	51
6.2	<u>Fiskeoppdrett ved fjorden</u>	52
	LITTERATUR	56

APPENDIKS 1. Figurer ang. strømmålingene.

APPENDIKS 2. Tabell over oksygenverdier.

SAMMENDRAG

Det foreligger planer om etablering av ny industri ved Opløyfjorden i Nærøy kommune, Nord-Trøndelag. En aktuell industriform er landbasert oppdrett. Som en del av utredningsarbeidet for slik etablering, har Norsk Institutt for Vannforskning utført en resipientundersøkelse av Opløyfjorden.

Undersøkelsene i felt strakte seg over tidsrommet juni 1989 til mars 1990. I løpet av denne perioden blei det gjort hydrografiske målinger (inkludert oksygen i utvalgte dyp) omtrent en gang pr. måned. Det blei målt strøm over en 5 ukers periode i august-september 1989. I Indre Opløyfjorden blei det tatt grabbprøver av sediment for bestemmelse av konsistens og kvikksølvinnhold.

Opløyfjorden har et terskeldyp på rundt 100 meter. Resultatene av oksygenmålingene i bassenget innenfor terskelen viste at dypvannet i Opløyfjorden hadde lavest oksygeninnhold ved årsskiftet 1989-1990. Verdien nær bunn tilsvarte om lag 60% metning. I 1988 fant OCEANOR en noe lavere verdi i tilsvarende dyp. Oksygenforbruket i bassengvannet var anslagsvis 0.35 ml/l pr. måned i stagnasjonsperioder. Måledata tyder på at bassengvannet normalt fornyes ved en årlig utskifting, og at kritisk lave oksygenverdier sjelden eller aldri forekommer.

Laveste oksygenverdi i Indre Opløyfjorden i måleperioden inntraff sommeren 1989, med 43 % metning. Bassengvannet der er sårbart for ytterligere organisk belastning. Kvikksølvverdiene i sedimentet tilsvarte omtrent bakgrunnsverdier. Sedimentkvaliteten for øvrig, sammen med tidvis forekommende lave oksygenverdier, tilsier liten egnethet for denne delen av fjorden både som resipient og som kilde for eventuelt prosessvann for landbasert oppdrett.

Beregninger av forventet oksygenbelastning tyder på at Opløyfjorden ikke vil bli nevneverdig påvirket av et utslipp fra et landbasert oppdrettsanlegg med en årsproduksjon på 300-400 tonn. Med en viss form for rensing slik som partikkelfjerning, vil fjorden kunne tåle belastningen fra en vesentlig større produksjon.

En minimumstemperatur i kalde vintre på ca. 5 °C i 50-75 meters dyp kan forventes i fjorden. Høyere middeltemperatur kan forventes for en normal vinter. Innstallasjon av en varmepumpe kan derfor være et gunstig alternativ i forbindelse med energiøkonomisering i et framtidig landbasert oppdrettsanlegg ved Opløyfjorden.

NOEN DEFINISJONER

NOEN FAGLIGE ORD OG UTTRYKK SOM BLIR BRUKT I RAPPORTEN.

Uttrykkene kan ha en annen og videre betydning i andre sammenhenger enn i forbindelse med denne rapporten.

- Adveksjon:** Transport eller forflytning av vann som strømmen forårsaker.
- Brakkvann:** Vanligvis definert som fjordvann med lavere salinitet enn 25. Men betegnelsen brukes ofte i en videre forstand om vann i øvre lag av fjorder som er betydelig påvirket av lokale ferskvannskilder.
- Eutrofiering:** Prosess med næringssalttilførsel og "overgjødning" i sjøvann, som fører til ekstra stort oksygenforbruk i vannmassen, gjerne også unormal stor algevekst.
- Densitet:** Betegnelse på sjøvannets egenvekt, som avhenger av temperatur og salinitet, samt trykk. Oppgis ofte i sigma-t enheter, som er egenvekten i kg/m³ minus 1000.
- Front:** I vår sammenheng betegnelse på en tydelig overgangssone som danner skillelinjen mellom ulike vannmasser, f.eks. brakkvann og kystvann.
- Hydrografi:** Vanligvis brukt som betegnelse på (læren om) sjøvannets fysiske tilstand, d.v.s. om dets egenskaper og tilstand når det gjelder salinitet og temperatur, samt oksygeninnhold.
- Kalibrere:** Begrep som betegner en systematisk prosess med å korrigere måleinstrumenter eller måledata for feil.
- Salinitet:** Betegnelse på total mengde av løste salter i sjøvann, målt i kg salt pr kg sjøvann. Merk at næringssalter inngår som del av de løste saltene, men disse bidrar bare med en forsvinnende liten del i forhold til andre dominerende salter som f. eks. NaCl. Salinitet bestemmes ut fra sjøvannets elektriske ledningsevne. Oppgis ubenevnt, eller med faktoren 10⁻³ ("promille").
- Sediment:** Betegnelse på løsmasser på hav- og fjordbunn. Aktuell sammensetning og konsistens er bestemt bl. a. av topografiske forhold, strømforhold og avstand til partikkelkilder.
- Sprangsjikt:** Betegnelse på overgangen mellom et brakkvannslag øverst i fjorden, og saltvann under. Overgangen kan være svært markert (tynt sprangsjikt) eller strekke seg over flere dybdemeter.

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn for foreliggende rapport

Det foreligger planer om industrietablering i tilknytning til Opløyfjorden i Nærøy kommune i Nord-Trøndelag (fig. 1.1). Bakgrunnen for planene er i første rekke å sikre ny sysselsetting i området, som erstatning for de arbeidsplassene som gikk tapt da Salsbruket Tresliperi brant ned til grunnen i 1985. I følge foreliggende opplysninger er det ikke aktuelt å gjenoppføre tresliperiet. Nærøy kommune har derfor engasjert seg aktivt i planlegging av alternativ industri, og det er bevilget midler, bl. a. gjennom Distriktenes Utbyggingsfond, til forprosjektering.

Foreliggende rapport har som mandat å belyse de muligheter og begrensninger Opløyfjorden har både som resipient for ulike former for utslipp, og som kilde for bl. a. prosessvann i samband med landbasert industri i området. Med omsyn til infrastruktur, tomteareal, kaianlegg o.l. bør Salsbruket være godt egnet som sted for en industrietablering. Det har derfor vært naturlig å basere seg på betraktninger omkring industrietablering der, selv om lokalt stedsvalg ikke er foretatt ennå.

Det er gjennomført en forundersøkelse i området (OCEANOR, 1988). Denne undersøkelsen hadde visse paralleller til den foreliggende. Undersøkelsesområdet var større (se avsnitt 1.3.), mens vurderingen omkring aktuell industrietablering var konsentrert om landbasert oppdrett. Grunnet den økonomiske situasjonen i oppdrettsnæringen i de siste par årene, har det generelt sett vært liten interesse for etableringer innenfor landbasert oppdrett i denne perioden.

Gjennomføringen av NIVAs undersøkelse har vært lagt relativt generelt opp, med fokus på vannkvalitet og vannutskifting i Opløyfjorden. I løpet av prosjektperioden har det ikke blitt presisert nærmere hvilken type industri som er mest aktuell. Våre vurderinger har imidlertid hatt som utgangspunkt landbasert oppdrett, siden dette fortsatt synes å stå sentralt.

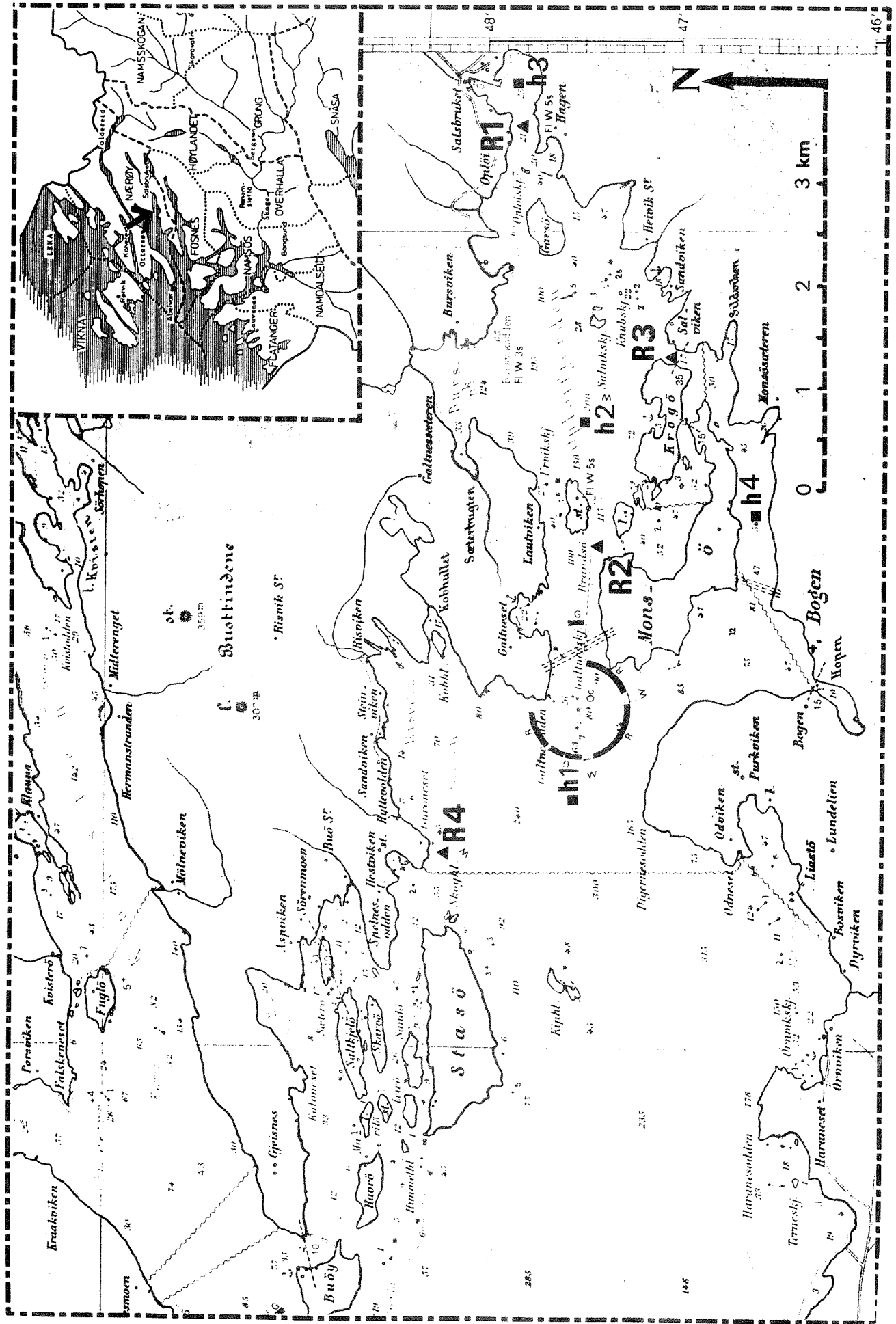


Fig. 1.1. Kart over Opløysfjorden med tilstøtende områder. Posisjon for hydrografistasjoner (h) og Strømmåleriggjer (R) er avmerket.

I følge opprinnelig prosjektbeskrivelse var følgende punkter aktuelle å vurdere:

- a: **Muligheter og begrensinger ved utnyttelse av Opløyfjorden til akvakulturformål.**
- b: **Bruk av fjordområdet (som resipient) i forhold til utnyttelse av eksisterende opparbeidet industriområde ("branntomta") på Salsbruket.**
- c: **Konkret bedriftsetablering og utslippssøknad fra en bestemt type virksomhet på Salsbruket.**

Den innsirklingen av problemstilling/mandat som pkt. c innebærer, var forutsatt å finne sted underveis i NIVA's prosjektarbeid, d.v.s. etter at grunnleggende miljøundersøkelser var igangsatt, og eventuelt også avsluttet. Som nevnt ovenfor har slik innsirkling ikke skjedd. Foreliggende rapport har derfor beholdt et relativt generelt preg, med relativt frie rammer. Noen prosjektdeler (bl.a. hydrografi og strømmålinger) har fått større omfang enn det som var forutsatt i anbudsdokumentet.

1.2 Aktuelle problemstillinger

Industrietablering i det aktuelle området reiser en rekke problemstillinger. Nedenfor presenterer vi de som synes mest umiddelbare, mens andre blir presentert og diskutert seinere i rapporten.

I. BRUK AV OPLØYFJORDEN SOM KILDE FOR VARME OG PROSESSVANN.

Målsettinger for vurderingene:

- Bestemme optimalt dyp/sted for plassering av inntaksledning.
- Bestemme fordeling av vanntemperatur (-tidsutvikling og vertikalfordeling), med henblikk på etablering av varmpumpe/varmeveksler, og/eller som grunnlag for bruk av sjøvann som prosessvann i landbasert industri (oppdrett).

- Bestemme sjøvannets salinitet (-tetthet) med tanke på egnethet som prosessvann i landbasert oppdrett (- herunder energitap ved oppumping av saltere og dermed tyngre sjøvann).
- Beskrive vannkvalitet (-også tidsutvikling, og ekstrémverdier) med tanke på utnyttelse som prosessvann, og til akvakulturformål. Særlig vekt på oksygenforholdene.

II. BRUK AV OPLØYFJORDEN SOM RESIPIENT.

Målsettinger for disse vurderingene:

- Vurdere mulige effekter av utslipp av forurenset vann fra nyetablert industri til fjorden.
- Vurdere hvilke begrensinger i resipientkapasitet som eksisterende og tidligere forurensingstilførsler medfører.
- Vurdere særskilt indre Opløyfjorden m.o.t. miljøeffekter av industrietablering på Salsbruket.

III. KONFLIKTER MELLOM PUNKTENE I OG II.

- Vurdere grenseoppgangen mellom tolerable utslipp og kritiske miljøeffekter.
- Vurdere mulige tiltak for å begrense/reducere mulige negative effekter.

1.3 Tidligere undersøkelser

OCEANOR 1988

Mest sentralt står OCEANOR sin undersøkelse fra 1988 (OCEANOR 1988). Undersøkelsen hadde som mandat/ målsetting å finne egnede lokaliteter for landbasert oppdrettsanlegg samt gi grunnlag for valg av én lokalitet. Det geografiske området som blei vurdert, strakte seg

fra Buøy i vest til Salsbruket i øst (fig. 1.1). Dette området innbefattet således også Ytre Follafjorden og ytre deler av Indre Foldafjorden.

OCEANOR's undersøkelse besto av hydrografiske målinger, bunndyrspøver/ sediment, innhenting av data fra ulike kilder, samt vurdering av vannkvaliteten i området. Sistnevnte inkluderte vurderinger omkring temperaturforhold, ekstremverdier i ulike dyp m.m..

Det blei fokusert på to lokaliteter, h.h.v. Buøya og ytre Langeneset (Opløyfjordens nordside, mellom Salsbruket og Bursvik). Buøya blei vurdert som beste lokalitet av de to. Dypvannet i Opløyfjorden hadde redusert oksygeninnhold. Tidligere industriaktivitet (tresliperiet) har etterlatt seg usikkerhet omkring sedimentkvaliteten. Denne fjorden blei derfor betraktet som mindre egnet som resipient, og som kilde for prosessvann.

Det må likevel understrekes at Opløyfjorden ikke blei utelukket på grunn av redusert egnethet. Buøya må betraktes som en sær god lokalitet med omsyn til de fleste aktuelle kriterier. En lokalisering ved Opløyfjorden vil kunne kreve særskilte tiltak for å redusere risiko eller begrense resipientpåvirkningen.

1.4 Opløyfjorden; topografi og meteorologi

1.4.1 Bunntopografi

Bunntopografiske forhold er i vesentlig grad bestemmende for vannutskifting og vannkvalitet i fjorder. Terskeldybder, og bassengdybder er viktige parametre for beregning/modellering av vannsirkulasjon. For Opløyfjorden og tilstøtende områder eksisterer det et kystsonekart i målestokk 1:20000, med inntegnede bunnkonturer. Kartet er velegnet for vurderinger for legging av rørledninger, nøyaktig bestemmelse av terskeldyp m.m.. Figur 1.2 viser et utsnitt (forminsket) av nevnte kart.

For seinere betraktninger om resipientkapasitet m.m. har vi laget et dybderiss langs djupålen av Indre og Ytre Opløyfjorden (fig. 1.3). Detaljer er ikke inntegnet. Vi har videre beregnet omtrentlig overflateareal og volum for ulike deler av fjordvannet. Disse verdiene brukes seinere bl. a. til beregning av oksygenforbruk. Tabell. 1.1 viser resultat av beregningene.

Tabell 1.1 Overflateareal og volum (omtrentlig) av ulike deler av Opløyfjordens vannmasser. For definisjon av de ulike arealer og volumer, se fig. 1.3.

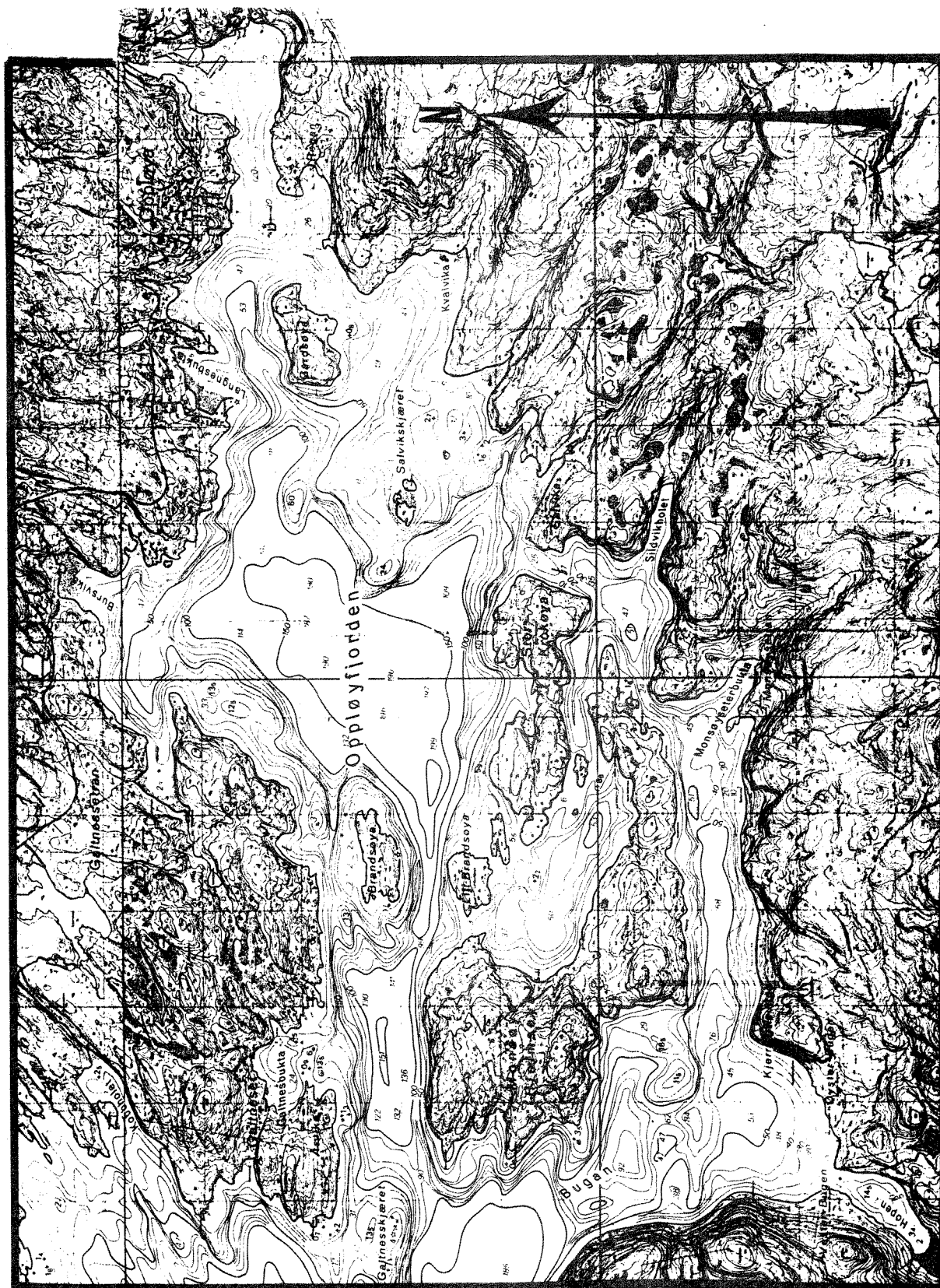
Delområde	Areal (m ²)	Volum (m ³)
Vannmasse		
Over terskel:	$A = 1.4E7$	$V = 1.0E8$
Under terskel:	$A_1 = 1.3E6$	$V_1 = 5.0E6$
" "	$A_2 = 7.0E6$	$V_2 = 3.0E7$

Arealet A representerer fjordens overflateareal. Summen $V + V_1 + V_2$ er omlag $1.3 E8 \text{ m}^3$, (130 mill m^3) og representerer hele fjordens vannvolum, innenfor den ytterste terskelen ved Galtneset.

1.4.2 Meteorologi

Meteorologiske forhold har innvirkning på en rekke prosesser på og i sjøen, og kan legge begrensinger på generell egnethet. De viktigste faktorene i denne sammenheng er vind, nedbør og temperatur. Nedbørens effekt avhenger av størrelsen på nedslagsfeltet. For generell diskusjon om de nevnte faktorene henvises til kapittel 2.

Opløyfjorden ligger i et område med kystklima, som karakteriseres av relativt milde vintre og moderate sommertemperaturer. Forholdene på meteorologisk stasjon Buholmråsa (7199) evt. Rørvik (7526) er noenlunde representative for forholdene ved Opløyfjorden. Månedsmiddeltemperaturen varierer mellom 0° (februar) og 13.4°C (juli-august). Årsmiddel er 6.3°C . Middel månedsnedbør varierer mellom 60 mm (mai) og 133 mm (oktober). Normal årssum er ca. 1100 mm for Rørvik, men for nedbør kan det være relativt store forskjeller mellom nærliggende stasjoner. Vind domineres av retning sørlig til vestlig, slik som lenger sør på kysten. Hyppigheten av kraftig vind er ikke så stor som lenger sør. Det aktuelle området har også oftere østavind enn kystområdene lenger sør i Trøndelag og på Vestlandet.



Figur 1.2. Topografisk kart (M=1:30000) av Opløysfjorden.

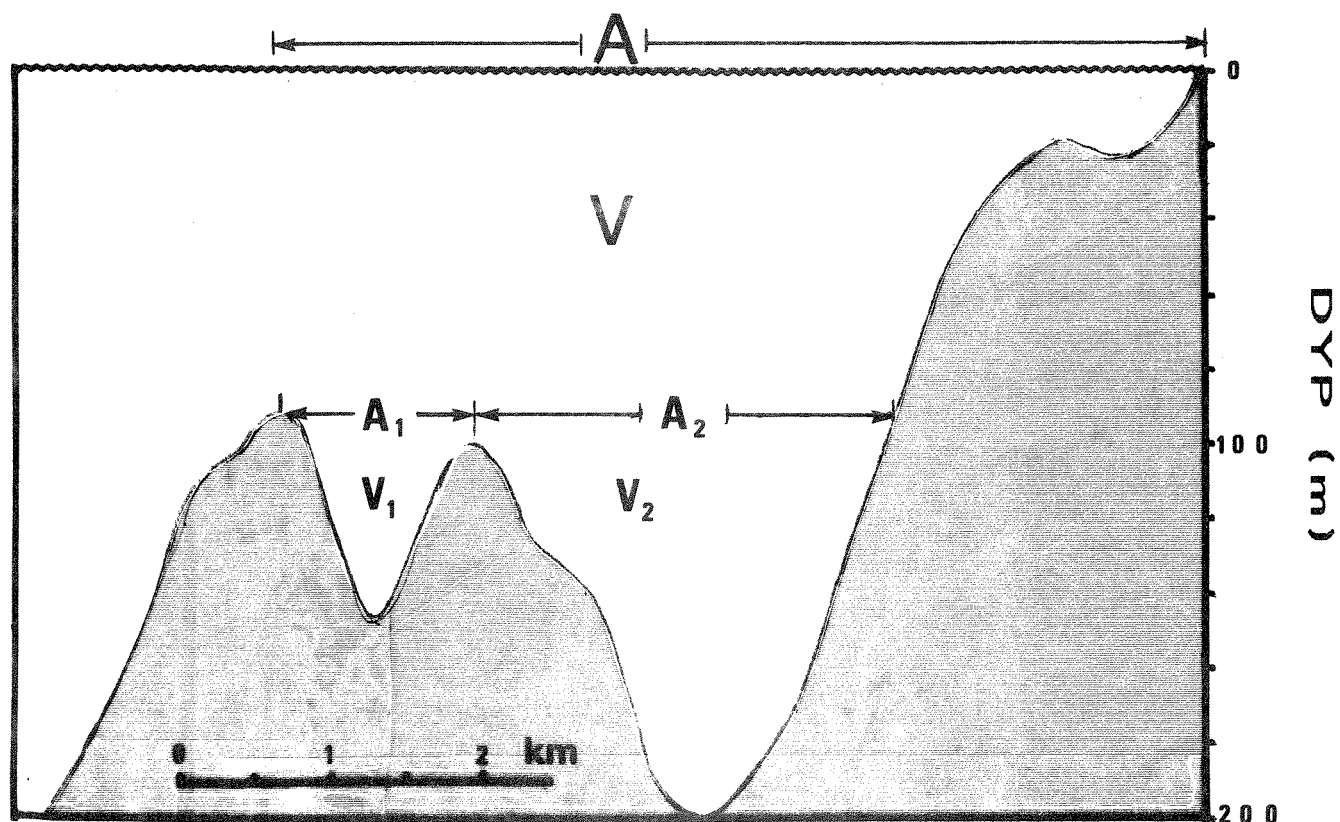


Fig. 1.3. Dybderiss langs djupålen i Opløyfjorden. A og V markerer ulike overflatearealer og vannvolum, se Tabell. 1.1.

2. LITT OM VANNUTSKIFTING I FJORDER

2.1 Hydrografiske forhold

Utskiftingsforhold og vannkvalitet i fjordene er sentrale begreper i vurderinger omkring forurensingstilførsler og akvakultur. Det har blitt viktig å kunne forutsi miljømessige effekter av eksisterende og nye utslipp/tilførsler. Noen fjorder (særlig terskelfjorder) har dårlig dypvannskvalitet (lite oksygen), selv om tilførsler som skyldes menneskelig aktivitet er minimale. Tilførsler av organisk materiale fra land og fra naturlig biologisk produksjon i sjøen er i slike fjorder i seg selv tilstrekkelig til å forårsake redusert dypvannskvalitet. I nyere forskning har en søkt å finne metoder for å kunne skille mellom effekt av naturlige tilførsler, og tilførsler fra menneskelig aktivitet.

Oksygenforhold er en god indikator på vannkvalitet og vannutskifting i fjordene. I enkelte norske fjorder utgjør industriforurensinger som tungmetaller og kjemiske forbindelser ("miljøgifter") en ekstra begrensende faktor for vannkvalitet, og dermed for bruk av vannet. Tilstrekkelig oksygeninnhold gjennom året er imidlertid den primære betingelsen for at et balansert marint økosystem skal eksistere. Redusert oksygeninnhold i hele eller deler av året vil medføre redusert artsrikdom når det gjelder organismer i vann og på bunn, og innebærer sårbarhet for ytterligere tilførsler av oksygenforbrukende materiale.

Fjordene gjennomgår en naturlig årstidsvariasjon i oksygeninnhold. Dette skyldes dels tidsavhengige tilførsler, og tidsavhengig vannutskifting. For å opprettholde tilstrekkelig gode livsvilkår for et rikt spekter av organismer, er det viktig at minimumsverdien for oksygen i løpet av året holder seg over en viss nedre grense, som ofte settes lik 2 ml/l oksygen.

Vannkvaliteten bestemmes i første rekke av sammenhengen mellom vannutskiftingshyppigheten og tilførsler/forbruk av oksygen. Vannutskiftingen bestemmes av faktorer som tidevann, vind og ferskvannstilrenning. Naturlige hydrografiske variasjoner i kystvannet slik som endret densitet kan innebære vannutskifting av vann over terskeldyp, og også av dypvann, når det er tale om store og sjeldnere forekommende endringer. Prosesser som

vertikal diffusjon, ulike former for kjemisk omdanning av substans i vannmassen, og flukser fra sediment til vann vil også påvirke vannkvaliteten.

For norske fjorder er det et skille mellom de mest aktuelle utskiftingsmekanismene fra sør til nord i landet. Dette henger delvis sammen med topografiske forhold, ved at fjordene i nord oftere mangler en terskel i nærheten av fjordmunningen. Fjordene i nord er også i sterkere grad gjenstand for vertikalkonveksjon om vinteren på grunn av avkjøling, evt. kombinert med isdannelse. Nærøy kommune ligger i en overgangssone, hvor vertikalkonveksjon gjør seg noe gjeldende. Dette kan en se i f. eks. Sør-Salten, der dypvannet er svært kaldt gjennom hele året (Golmen m.fl. 1988), og må ha sin opprinnelse som avkjølt vintervann i overflaten. Sør-Salten er imidlertid en fjord med svært grunn terskel i forhold til Opløyfjorden.

2.1.1 Litt om sirkulasjon i fjorder

Kystvannet, dets egenskaper og variasjoner er en viktig ytre påvirkingsmekanisme for vannutskiftingen i fjorder. Tetthetsvariasjoner i den øvre del av vannsøylen utenfor fjorden genererer inn- eller utgående strøm over en eventuell terskel (Klinck m. fl. 1981). Disse tetthetsvariasjonene styres av meteorologiske faktorer og prosesser på større oseanisk skala. Variasjoner i kyststrømmen utenfor Vestlandet er sterkt medbestemmende for utskifting i fjordene, særlig for vannmasser over terskelnivå. Fluktuasjonene i tetthetsfeltet der er typisk av periode 3-5 dager (fig. 2.1), og er relatert til langbølgede svingninger i strømmen. Tetthetsvariasjonene er mer markert i sørlige deler enn lenger nord på Norskekysten, og har derfor størst betydning i sør. For vannutskiftingens del kompenseres dette ved et langt kraftigere tidevann i nord. Stor tidevannsamplitude medfører stimulert tidevannsutskifting over fjordterskler. Videre stimulerer tidevannet blanding mellom vannmasser over og under terskeldypet.

Større dypvannsutskiftinger (terskel-overskyllinger) er knyttet til langsommere, sesongmessige variasjoner, og medfører gjerne opp- og utstrømming av kaldt fjordvann om våren eller sommeren (fig. 2.1). Fjorder med grunne terskler gjennomgår ofte en dypvannsutskifting tidlig på våren på sør- og vestlandet. Fjorder med dypere terskler har utskifting seinere på

året (Aure og Stigebrandt 1988). Fjorder nord i landet har ofte dypvannsutskifting seinere enn sammenliknbare fjorder lenger sør (Haakstad 1979).

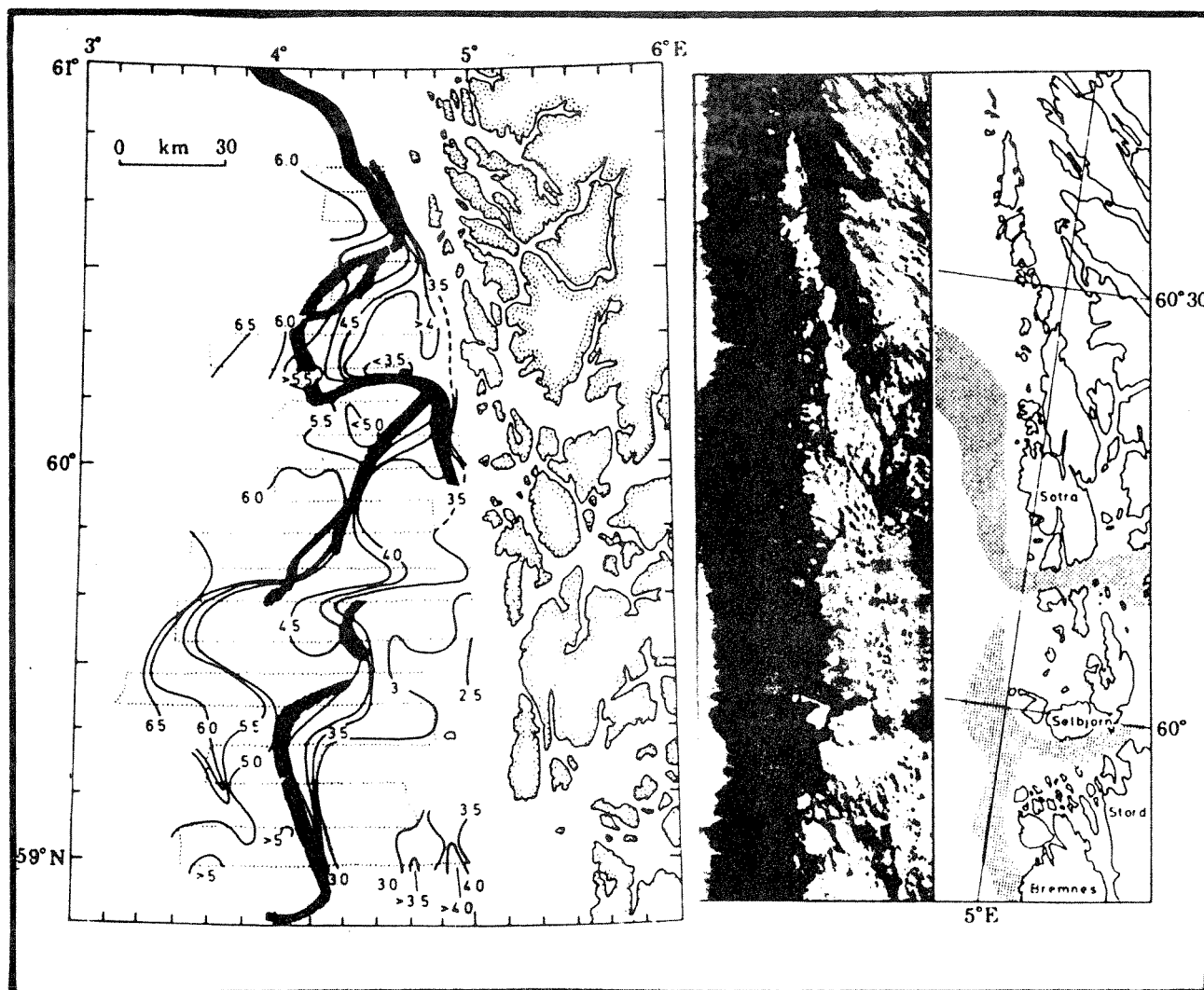


Fig. 2.1. Til venstre: Tetthetsvariasjoner i Kyststrømmen er knyttet til langbølgede svingninger av strømmen. Til h.: Terskeloverskyllinger om våren medfører utstrømming av kaldere fjordvann, lett synlig på satellittbilder. (Mork, 1981).

Sirkulasjonen i fjordene påvirkes av ferskvanns-tilrenningen (tilførsel av oppdrift) fra elvene, som i følge klassisk teori genererer en tolags sirkulasjon, s. k. estuarin sirkulasjon. Ferskvannet flyter øverst utover fjorden, drevet av en horisontal trykkraft. Dette utoverstrøm-

mende vannet blandes gradvis med saltere vann nedenfra, og det dannes brakkvann med stadig økende utoverrettet volumfluks. For å erstatte det saltvannet som blandes opp i øvre lag, skapes det en innoverrettet strøm av saltvann. Overgangen mellom brakkvann inne i fjorden og saltere overflatevann utenfor er ofte karakterisert av store horisontale gradienter. Dette overgangsområdet kalles en front, og framtrer både i horisontalfordeling og vertikalfordeling av hydrografiske parametre, næringssalter, forurensing m.m.. I frontområdet kan det foregå kraftig opp og nedstrømming, og blanding av ulike vannmasser. Beliggenheten til en front vil i noen grad være bestemt av topografi, men varierende ferskvannstilrenning og vind kan forflytte fronten vesentlig innover og utover i fjorden. Slik forflytning kan medføre raske og markerte hydrografiske variasjoner på lokalitet i nærheten av fjordmunningen.

Det s.k. estuarine strømningsmønsteret er ofte sterkt modifisert av vind (se fig. 2.2), tidevann, rotasjon og turbulens på ulike skalaer. Variasjon i hydrografiske forhold utenfor fjorden påvirker sterkt sirkulasjonen over terskelnivå i fjorden (Klinck m.fl., 1981, Aure og Stigebrandt, 1988). Simuleringsmodeller (numeriske modeller) for datamaskin hjelper til å øke forståelsen for dynamikken i et fjordsystem. For flere fjorder eksisterer det fysiske 2D modeller, og det arbeides med fysiske 3D modeller såvel som med økologiske modeller.

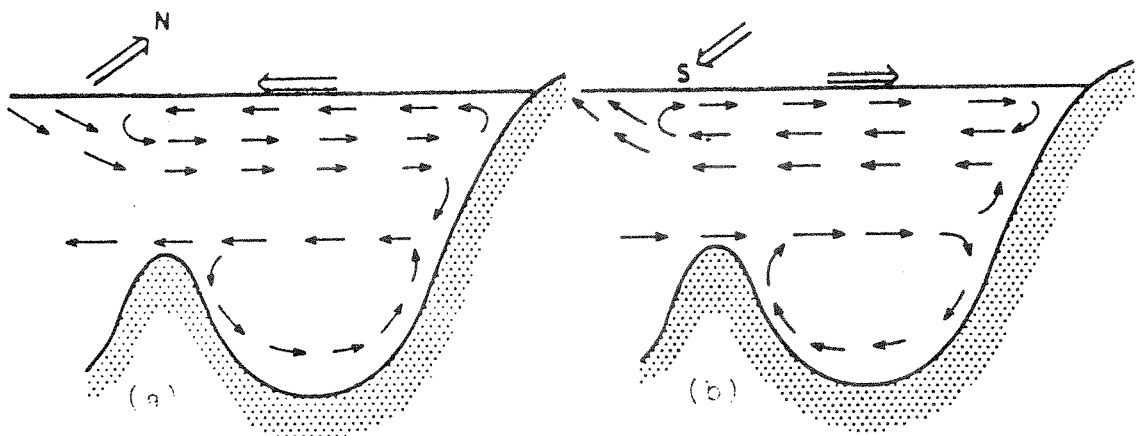


Fig. 2.2. Skisse av sirkulasjonen i en terskelfjord for framherskende vind. a: vind ut fjorden, og mot nord på kysten. b: Vind inn fjorden, og mot sør på kysten (fra Magnusson m. fl. 1983).

Det kan nevnes at det under algeoppblomstringen i Ryfylke sommeren 1989 blei observert kraftig overflatestrøm som var rettet innover i Hylsfjorden (Golmen m.fl. 1989). Dette hang trolig sammen med stor ferskvannstilførsel til Sandsfjorden. Sirkulasjonsmønsteret med utoverrettet strøm i et underliggende lag (3-6 m dyp) medførte resirkulering og økt oppholdstid for overflatevannet i forhold til under normal estuarin sirkulasjon.

Jordrotasjon påvirker strømningsmønsteret i brede fjorder. Den utoverrettede overflatestrømmen vil ofte ha tendens til å følge høyre side av fjorden, hvor også brakkvannslaget kan være tykkere enn på motsatt side. Eksempelvis er det observert forskjeller i saliniteten mellom nord og sørside av Jelsafjorden (Ryfylke) av størrelsesorden 10 promille (Golmen m.fl. 1989). Opløyfjorden har et relativt komplisert munningsområde, med tre passasjer som kan bidra til inn-ut transport. Teoretisk kan det tenkes at jordrotasjonen også her har større tendens til å følge nordre deler (ved Brandsøyene), mens en større del av innstrømmingen foregår i sundet sør for Monsøy (fig. 1.1).

2.1.2 Vannkvalitet og utskifting

Sedimentflukser.

Fjorder i nærheten av industristeder kan ha sedimenter som permanent lekker giftig substans (f. eks. Odda/Sørfjorden). Slike fjorder vil oftest være uaktuelle som oppdrettslokaliteter. Sedimentert avfall fra fiskeoppdrett kan også etter en tid bidra til sediment-til-vann flukser som kan påvirke vannkvaliteten i negativ retning (se bl. a. Pedersen 1982, Farestveit 1986).

I fjorder med permanent råttent bunnvann eller tidvis oksygensvikt vil sedimentene avgi gass som kan skade både oppdrettsfisk og villfisk. Noen slike fjorder blir benyttet som oppdrettslokaliteter. En må imidlertid her forutsette at det foreligger en rimelig kunnskap om dypvannsforholdene og utskiftningsdynamikken.

Tilførsler utenfra.

Kyststrømmen er kilde for stofftilførsler av ulike slag til fjordene. Dette vannet er i seg selv m.a.o. aldri helt "rent". Hvilken tid på året, og under hvilke omstendigheter utskiftingen

i fjordene skjer, vil være avgjørende for kvaliteten til det nye vannet i fjorden. Vannutskifting behøver dermed ikke alltid å innebære "gammelt vann ut, friskt vann inn" (Bjerknes m. fl. 1987).

Kartleggingen av Kyststrømmen og de forurensningstilførsler denne fører med seg, har inntil algeinvasjonen i 1988 inntraff vært svært mangelfull. Først i 1989 blei det satt fart i planlegging og organisering av innsamlingsprogram for overvåkningsformål. Dette er mest resultat av initiativ og press fra andre europeiske land, særlig land rundt Nordsjøen.

Næringssalttransport i Kyststrømmen kan også være av betydning for eutrofisituasjonen i noen norske fjorder. I tillegg til vesentlige bidrag fra Østersjøen og sørlige Nordsjøen, anrikes Kyststrømmen sannsynligvis noe av tilførsler fra de befolkningstette regionene på Øst- og Sørlandet (Faafeng og Ibrekk, 1989). Videre mottar Kyststrømmen på sin veg langs kysten også bidrag fra selve Nordsjøbassenget. Dette kan være bidrag av en annen karakter enn næringssalter, f. eks. miljøgifter. Det er generelt sett få problemer med eutrofiering i fjorder på Vestlandet og lenger nord. Dette indikerer at eventuelle bidrag fra Kyststrømmen der ikke medfører problemer.

3. UNDERSØKELSENE I 1989-1990

3.1 Hydrografi

Det hydrografiske innsamlingsprogrammet bestod i måling av salinitet og temperatur nedover i vannsøylen på fire ulike steder (stasjoner). Tre stasjoner var i Opløyfjorden, den fjerde var utenfor fjorden som referansestasjon. Figur 1.1 viser plassering av stasjonene. I tillegg til salinitet og temperatur, blei det rutinemessig tatt vannprøver for analyse av oksygeninnhold. Figur 3.1 viser prøvetakingsdypene på de fire stasjonene.

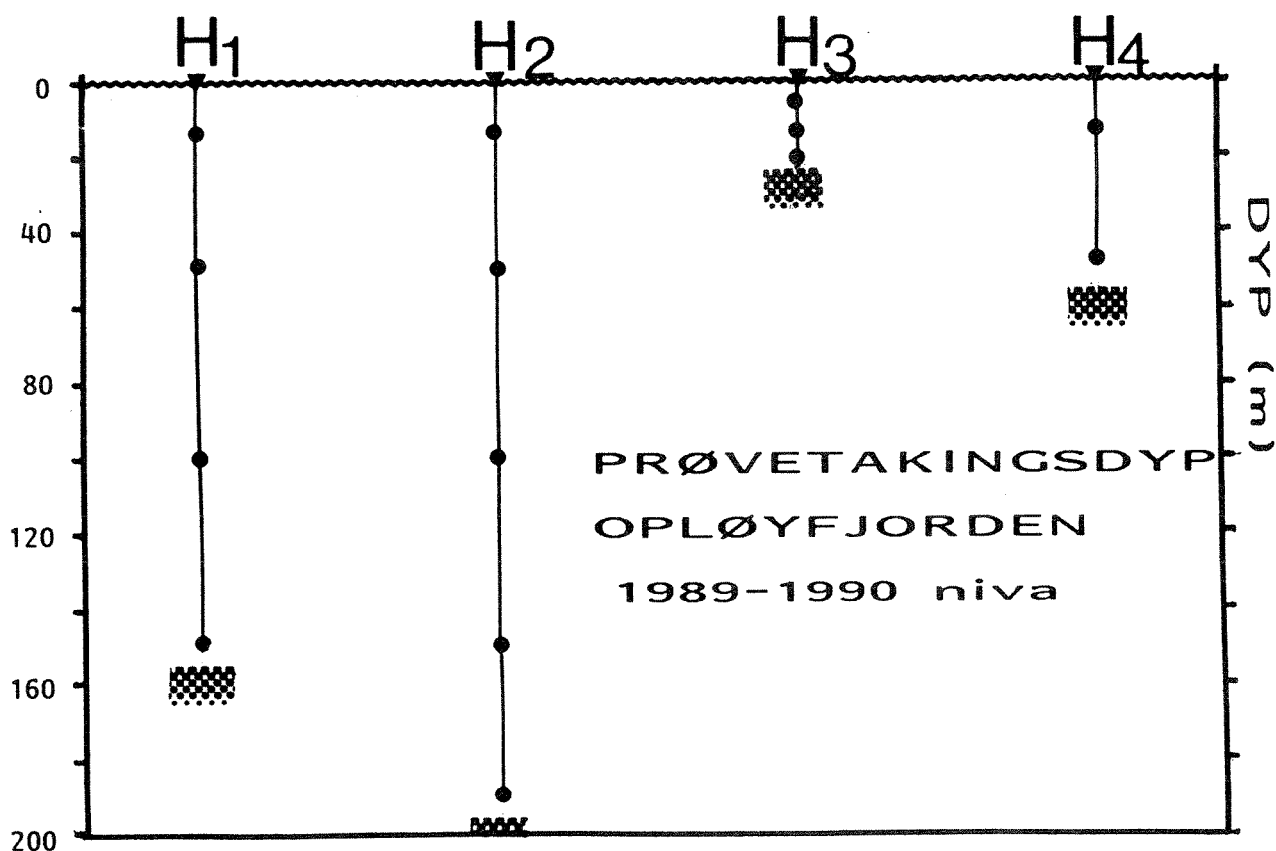


Fig. 3.1. Oversikt over prøvetakingsdyp på stasjonene H1-H4.

Tidspunktene for prøvetaking/måling i 1989 til 1990 var 29/6, 24/7, 23-24/8, 18/9, 9/11, 2/1 og 19/3. Tilsammen gir dette en måleserie av 9 måneders varighet, bestående av 7 forskjellige målepunkt. Salinitetsdataene fra første toktet (29/6) var noe mangelfulle, p.g.a. at en mindre nøyaktig målemetode enn ellers blei benytta. Under toktene 23-24/8 og 19/3 forestod en medarbeider fra NIVA prøvetaking og måling. De øvrige toktene blei gjennomført av lokale observatører. 19/3 var oksygenprøvetakingen noe mindre omfattende enn tidligere.

Oksygenprøver

Oksygenprøvene (tappet fra vannheter) blei analysert av Namdal Kjøtt- og Næringsmiddelkontroll etter Winklers metode, i følge Norsk Standard. Det blei generelt tatt doble prøver i hvert dyp. På toktene 24/8 1989 og 19/3 1990 stod NIVA selv for prøvetaking og analyser. Det var i de fleste tilfeller god overensstemmelse for de parallelle analysene. I de tilfellene det har vært avvik, har vi nyttet middelveidien, med en konservativ avrunding nedover til en desimal der dette var aktuelt. Antall prøvetakingsdyp var fra 3 på stasjon H3 til 5 på stasjon H2. Under toktet 23-24/8 benyttet vi en YSI sonde for måling av oksygeninnhold i sjøen. Denne metoden har begrenset nøyaktighet, men kan gi nyttig tilleggsinformasjon om evt. lagdeling m.m..

Salinitet og temperatur

Til målingene av salinitet og temperatur blei det stort sett benyttet en måler av type Salinoterm. Selve målesonden senkes til ønsket dyp, og salinitet og temperatur avleses så manuelt på en kontrollboks om bord i båten. Måledypene var 0, 1, 2...10, 15, 20.... meter. På toktene der NIVAs medarbeider var til stede, blei automatisk registrerende sonder benyttet. De sistnevnte sondene var av type Sensordata SD200, eller Simtronix UCM-40 (fig. 3.2). Sistnevnte måler også strømhastighet samtidig med hydrografiske parametre. Selv om det måles fra en båt i (langsom) bevegelse, kan disse strømdataene gi en del informasjon om den vertikale strømfordelingen ("strømskjær", se neste avsnitt).

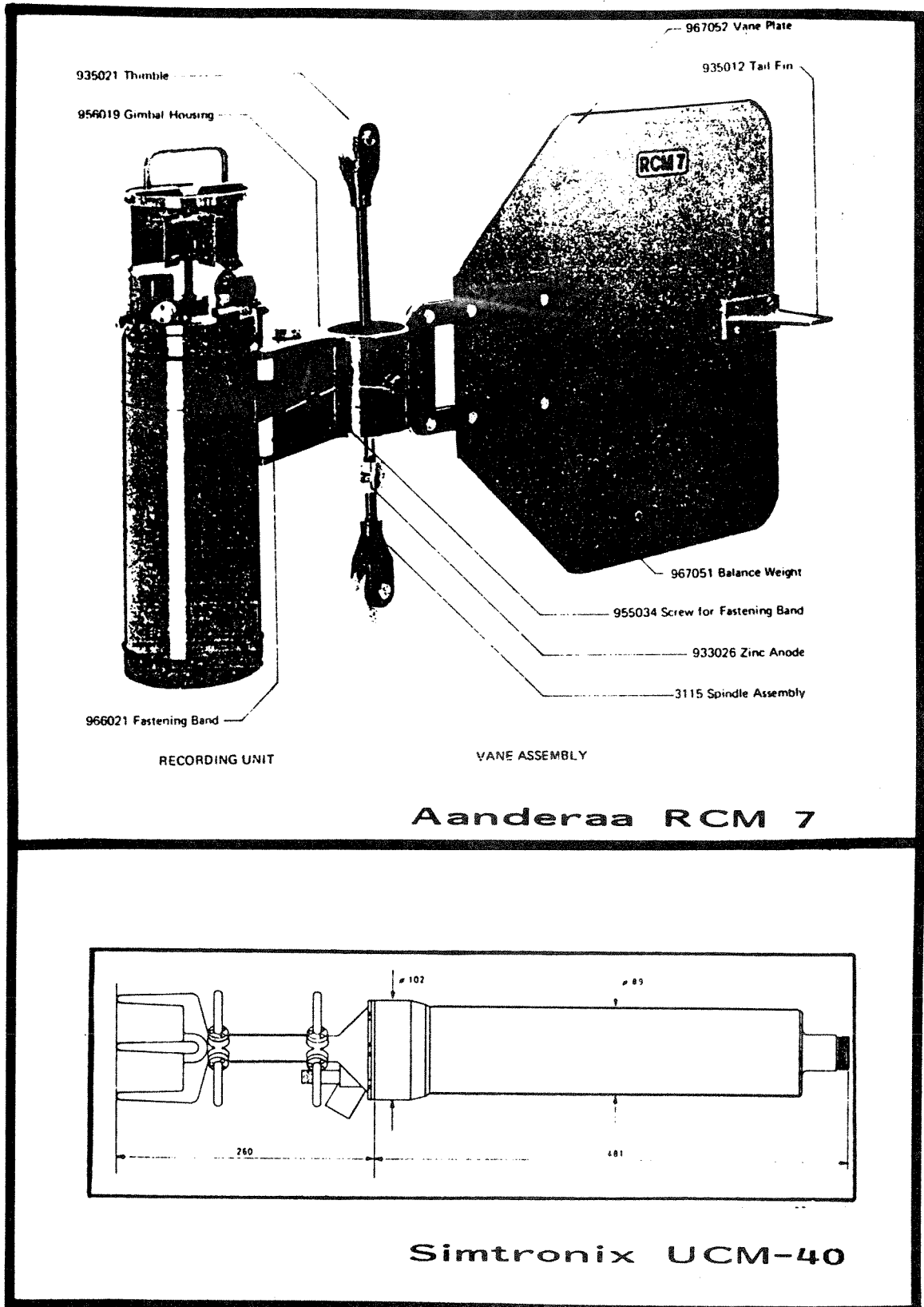


Fig. 3.2. Aanderaa RCM strømmåler (øverst) og Simtronix UCM-40 målesonde.

For hvert tokt blei det også tatt noen vannprøver med vannhenter, for påfølgende presisjonsbestemmelse av salinitet i laboratoriet. Disse laboratorieanalysene blei dels gjort for å kunne kontrollere/kalibrere sondeverdiene. Målesonden nådde ned til max. 90 meters dyp. På større dyp enn 90 meter blei det tatt vannprøver ved hjelp av vannhenter, og foretatt temperaturavlesning ved hjelp av et termometer som var påmontert vannhenteren.

3.2 Strømmålinger

Strømmålingene i Opløyfjorden blei utført på i alt fire lokaliteter (fig. 1.1). Måleperioden var fra 23/8 til medio oktober 1989. De lengste måleseriene er fra to riggposisjoner R1 og R2 i selve Opløyfjorden, med varighet knapt 4 uker. Etter denne første perioden blei måleriggene flyttet til to nye posisjoner, R3 og R4 (fig. 1.1). Tabell 3.1 angir en del aktuelle måleparametre for de ulike seriene.

Tabell 3.1 Oversikt over strømmålingene som blei utført i regi av NIVA i Opløyfjorden i 1989. For riggposisjoner, se fig. 1.1. Måleren på R1, 18 m dyp falt av ved opptak den 17/9, og blei liggende på bunnen til over nyttår. Måleren har imidlertid logget data så lenge riggen stod.

Rigg	Instrument	Måledyp	Måleintervall	Måleperiode 1989
R1	AA 2608	4m	10 min	23/8 - 17/9
R1	SD-S4	18m	32 min	23/8 - 17/9
R2	AA 9289	4m	10 min	23/8 - 18/9
R2	SD-S3	18m	32 min	23/8 - 18/9
R3	AA 2608	4m	10 min	17/9 - 27/9
R4	AA 9289	4m	10 min	18/9 - 27/9
R4	SD-S3	18m	32 min	18/9 - ****

Ved opptak av Rigg 1 17/9 falt det nederste instrumentet av (Sensordata SD2000). Instrumentet blei seinere gjenfunnet og tatt opp uskadd, med data intakt. Måleserien fra

posisjon R4 blir bare kortfattet omtalt i denne rapporten, siden målingene ikke direkte er tilknyttet selve analysen av Opløyfjorden.

MÅLEINSTRUMENTER

Til målingene benyttet vi instrumenter av type Aanderaa RCM4 eller Aanderaa RCM7 (fig. 3.2) til målinger i øvre lag. I tillegg blei det benyttet målere av type Sensordata SD2000. Førstnevnte målere registrerer salinitet og temperatur, i tillegg til strømretning og strømfart. Sensordata målerne registrerer ikke salinitet. Begge instrumenttypene er rotormålere. Dette medfører at det må en minste strømhastighet til for å sette rotoren i gang. Denne minste strømhastigheten ligger i området 1-1.5 cm/s. Svakere strøm enn dette blir altså registrert som null strøm. For målingene i øvre lag er dette sjelden noe problem, da (midlere) strømhastighet der stort sett alltid overstiger disse verdiene. I dypere lag er strømmen svakere, og målinger der kan derfor bli mer usikre.

Begge instrumenttypene lagrer måledata internt, enten i et elektronisk minne, eller på en tape (eldre utgaver av Aanderaa målere). Etter opptak, kan dataene leses ut ved hjelp av en leseenheter koblet til en PC, for videre behandling. Alle målerne fungerte tilsynelatende tilfredsstillende. Sensordata måleren på R2/R4 hadde en del mangefulle data innimellom, noe som sannsynligvis skyldtes for svak strøm i de aktuelle måleintervallene.

3.3 Andre registreringer

3.3.1 Værdata

Til tolking av (variasjon i) hydrografiske data og strømmålinger nytter vi meteorologiske data fra Buholmråsa fyr (kilde: Det Norske Meteorologiske Institutt). Vi presenterer kortfattet en generell oversikt over forholdene i hele observasjonsperioden, samt mer detaljert i perioden for strømmålingene. I siste henseende fokuserer vi på vind, som erfaringsmessig har en markert effekt på strømforholdene. Nedbør og temperatur har i første rekke innflytelse på brakkvannsforhold og sjikting.

Figur 3.3 viser tidsforløpet for midlere månedstemperatur og nedbør i perioden juni-1989 t.o.m. april 1990. Normalverdier (30 års gjennomsnitt) er også synt i samme figur. I siste

halvdel av 1989 var temperaturen omtrent som normalt, mens nedbøren om høsten lå vesentlig over det normale. Perioden november-desember var omtrent som normalt for begge parametre. Vinteren/våren 1990 hadde vesentlig høyere verdier både for nedbør og temperatur enn normalt. Dette var ett trekk som preget det meste av Norge i denne perioden; mildt og fuktig vær.

En enhetlig framstilling av vindforholdene er vanskeligere å gi. Mens høsten og vinteren 1989-1990 i Sør-Norge var preget av mye vind, var forholdene i Midt-Norge mer normale. Vi har framstilt vinddata relativt detaljert fra perioden da strømmålingene foregikk i fig. 3.4. Vindobservasjonene er fra kl. 13 hver dag i perioden 15/8-15/10 1990.

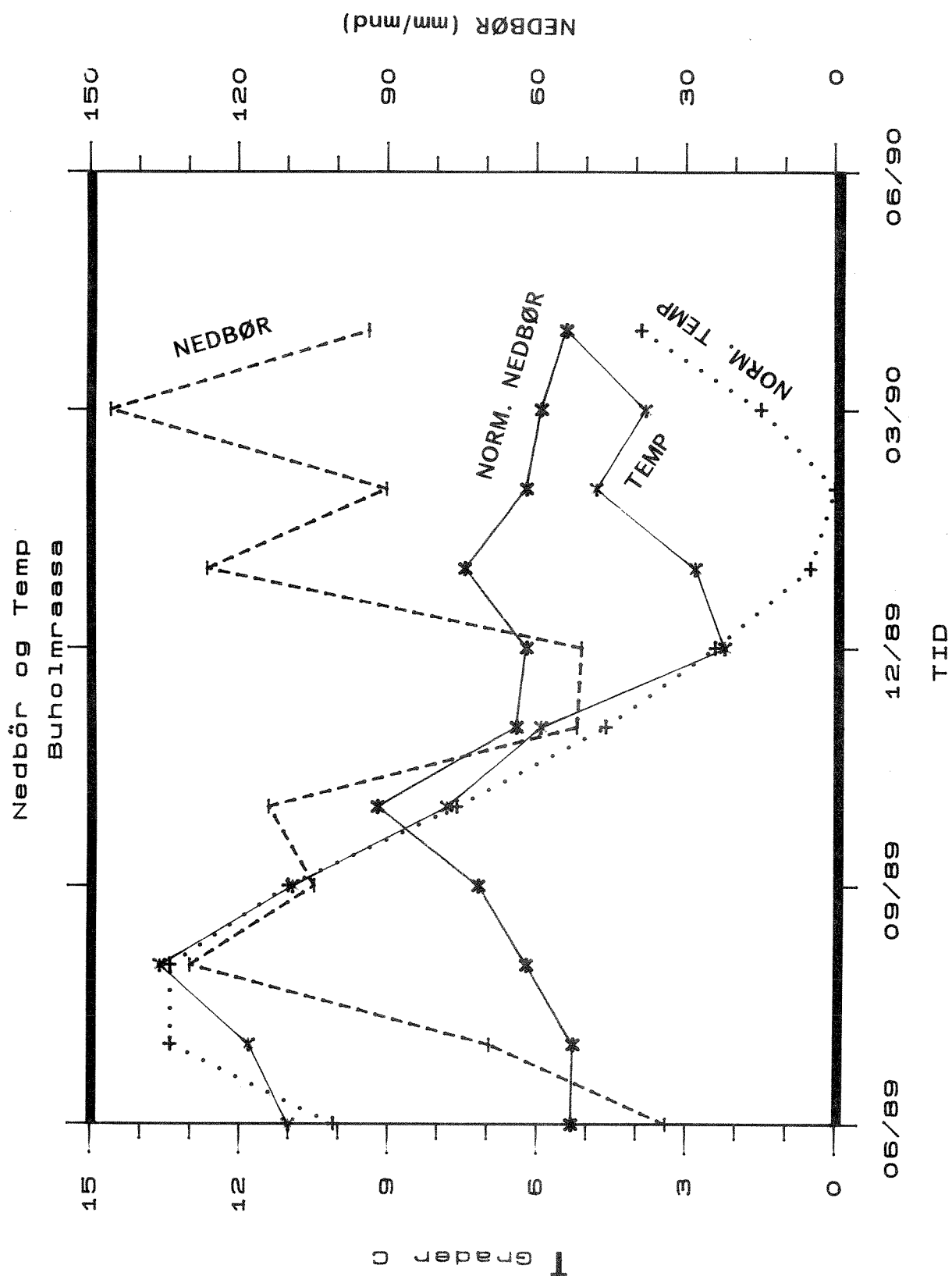


Fig. 3.3. Nedbør og temperatur (månedsmiddel) på Buholmråsa i perioden juni 1989 - juni 1990. Normalverdier er også vist.

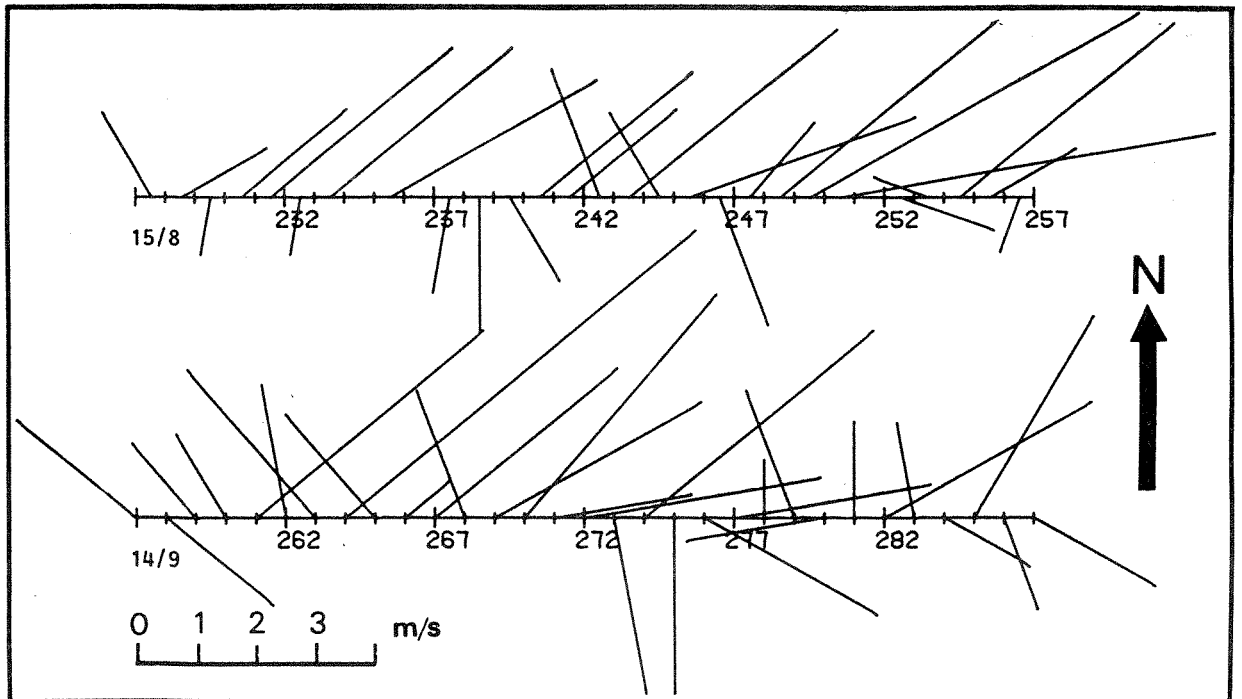


Fig. 3.4. Daglige vindobservasjoner på Buholmråsa i perioden 15/8 - 12/10 1989.

4. MÅLERESULTAT

4.1 Hydrografi

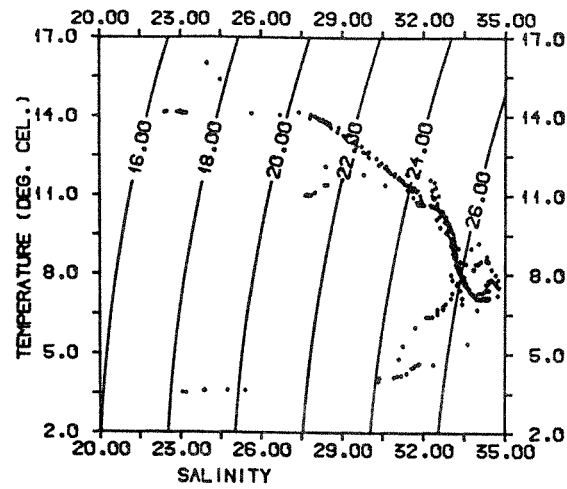
Først presenteres resultat fra de faste målestasjonene. Denne presentasjonen deles i to, med et avsnitt for salinitet og temperatur, og et avsnitt for oksygen og tilknyttede verdier. Vi skiller i presentasjonen (og diskusjonen) mellom øvre lag og dypvann, så langt dette er mulig. Tidsserie-data av salinitet og temperatur fra strømmålerne omtales under avsnittet om strømmålinger.

4.1.1 Hydrografi, generelle trekk

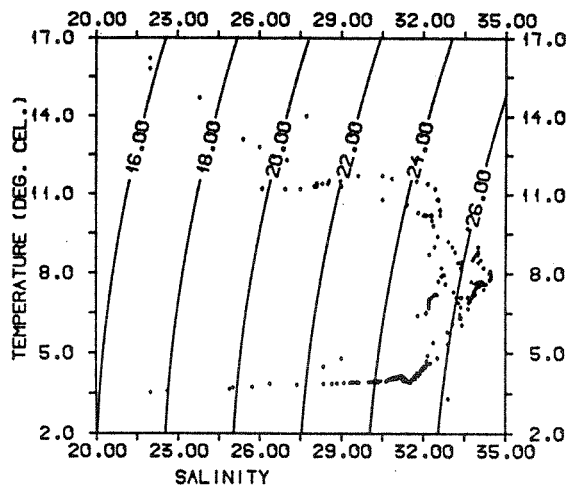
T-S diagrammene som er presentert i fig. 4.1, gir en generell oversikt over spredning i temperatur og salinitet, og indikerer forskjellene mellom de ulike stasjonene T1-T3. Samtlige observasjoner fra hver stasjon er med i framstillingen. H1 har noe større innslag av tyngre dypvann enn H2, på grunn av høyere salinitet utenfor terskelen (S litt i underkant av 35.0). Innslaget av ferskere (brakkere) vann øker med økende avstand fra stasjon H1. H2 og H3 har begge større innslag av kaldt mellomlagsvann (sigma mellom 24 og 26) enn H1.

Fig. 4.2 og 4.3 viser vertikalsnitt av temperatur, salinitet og tetthet i snitt langs fjorden, fra stasjon H1 til H3 innerst. Snittene representerer h.h.v. vinter (2. januar) og sommer (24. juli). Dyp ned til 50 meter er plottet. Snittene gir indikasjon på størrelsen av de sesongmessige svingningene, selv om snittene neppe representerer ekstremisituasjoner verken for sommer eller vinter.

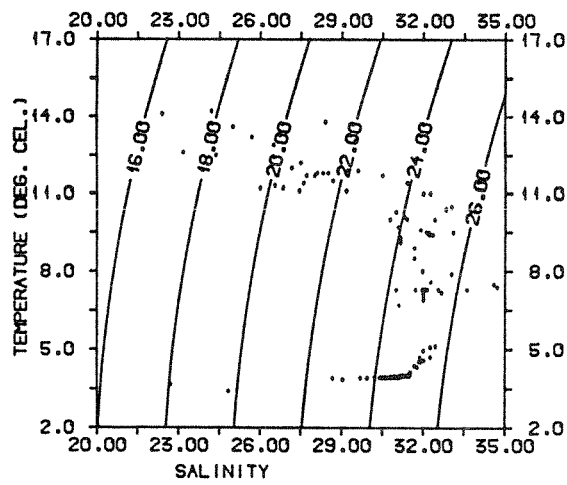
Forskjellen i sjikting (lagdeling) fra sommer til vinter er tydelig. I januar er det kun et tynt (2-3 m tykt) øvre lag, med en relativt svak, kontinuerlig sjikting (ingen markert lagdeling). Sommersituasjonen viser et markert øvre lag, ned til ca. 10 m dyp. Øverste 5 meter har brakkvannskarakteristikk på H2 og H3. Brakkvanns"kilen" strekker seg utover mot fjordmunningen. Eksakt beliggenhet for T-S fronten er ikke målt eller påvist. Beliggenheten vil være bestemt delvis av bunntopografi, og delvis av munningstverrsnittet. Sannsynligvis ligger brakkvannsfronten ved innsnevringen ved Brandsøyene. I andre fjorder med relativt



H1



H2



H3

Fig. 4.1. T-S diagram som viser fordelingen av de hydrografiske observasjonene på H1, H2 og H3. De buede kurvene viser sjøvannets tetthet (sigma-t).

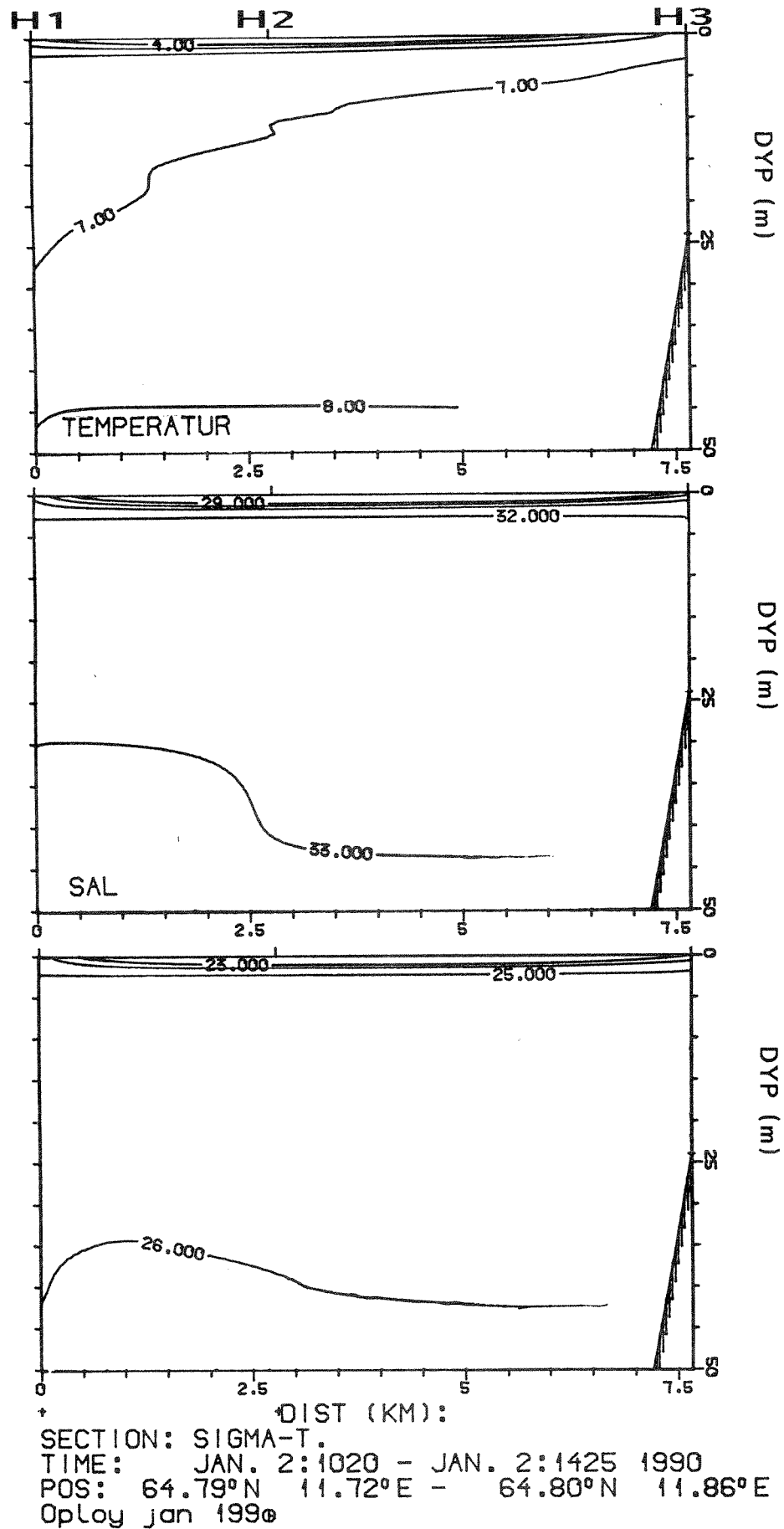


Fig. 4.2.

Vertikalsnitt av temperatur, salinitet og tetthet langs Opløysfjorden i januar 1990.

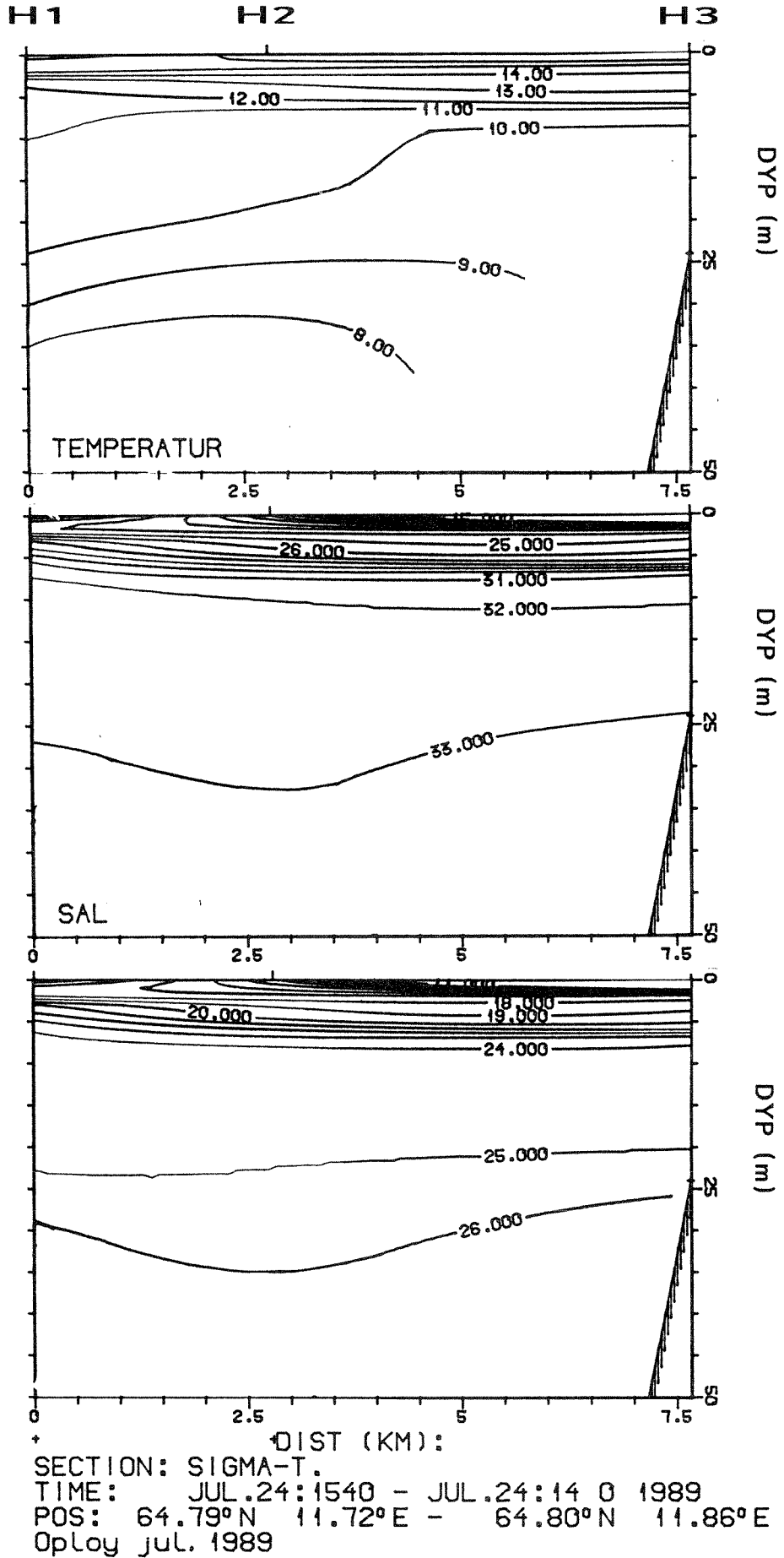


Fig. 4.3. Som Fig. 4.2, men for juli 1989.

dyp terskel og innsnevret munningsområde sees ofte en tilsvarende front i tilknytning til de smaleste partiene av munningen.

Under overflatelaget er det svakere gradienter. I dypvannet er det antydning til svake horisontale gradienter både sommer og vinter. Disse er også sannsynligvis betinget av topografiske forhold. For øvrig indikerer fig. 4.2 og 4.3 liten forskjell mellom sommer og vinter når det gjelder de hydrografiske forholdene i dybdesjiktet mellom ca. 10 meter og 50 meter.

Fig. 4.4 og 4.5 viser vertikalfordeling (0-30 m dyp) for hydrografiske parametre i mars 1990 og august 1989. Disse profilene er tatt med automatisk registrerende STD-sonde. I mars var sjiktingen i øvre lag vesentlig mer markert enn i januar (fig. 4.2), på grunn av en tiltagende snøsmelting. I mars var både H2 og H3 markert brakkvannspåvirket, mens kun H3 hadde tydelig brakkvannsinnslag i august. Som tidligere antydnet, skiller stasjon H4 seg fra H2 (og H3) med generelt sett mindre brakkvann. Dette indikerer at sundet sør for Monsøy har lite av den utgående brakkvannstransporten.

DYPVANN

Dypvannet på stasjon H2 (190 m dyp) hadde temperaturer som varierte mellom 7.6° og 8.0°. Utenfor terskelen (H1) i 150 meters dyp lå temperaturene innenfor intervallet 7.4°-8.5°.

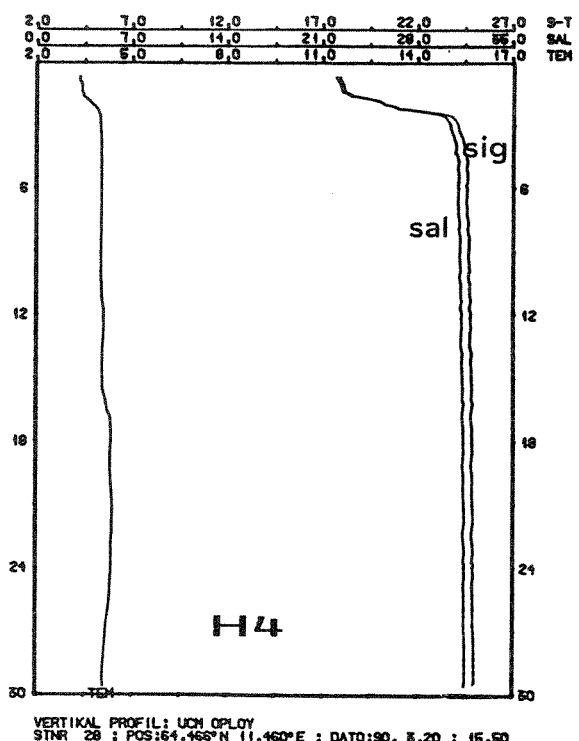
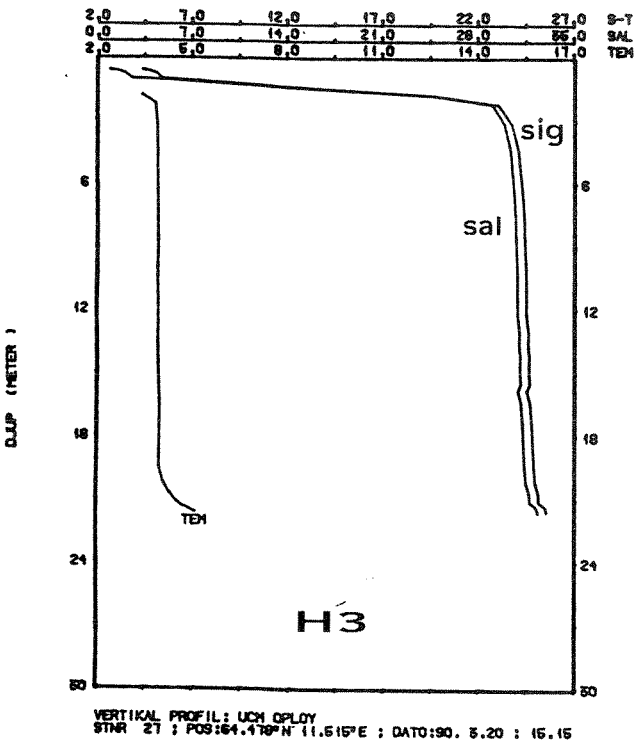
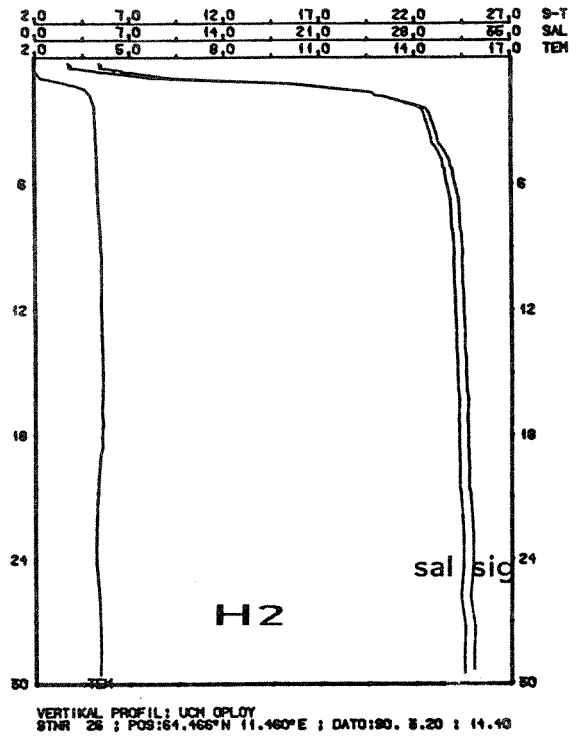
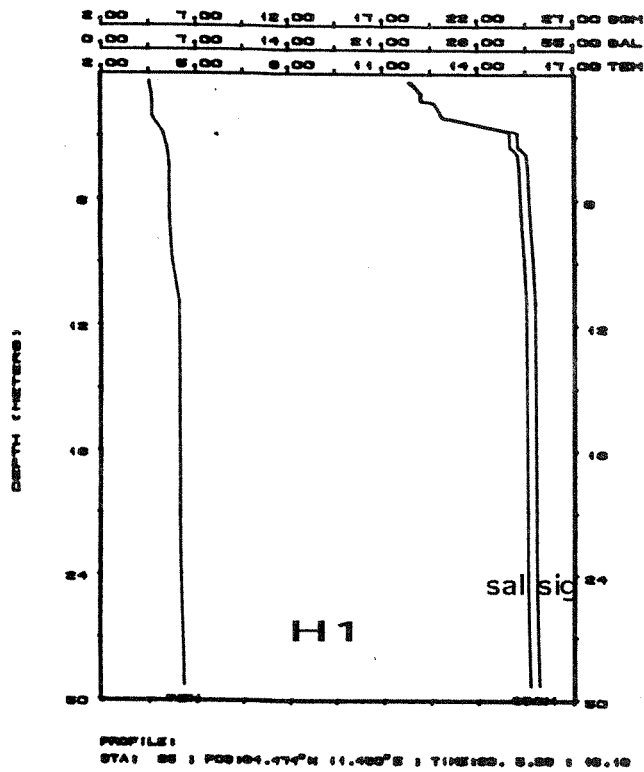


Fig. 4.4. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og sigma-t 0-30 meters dyp i mars 1990.

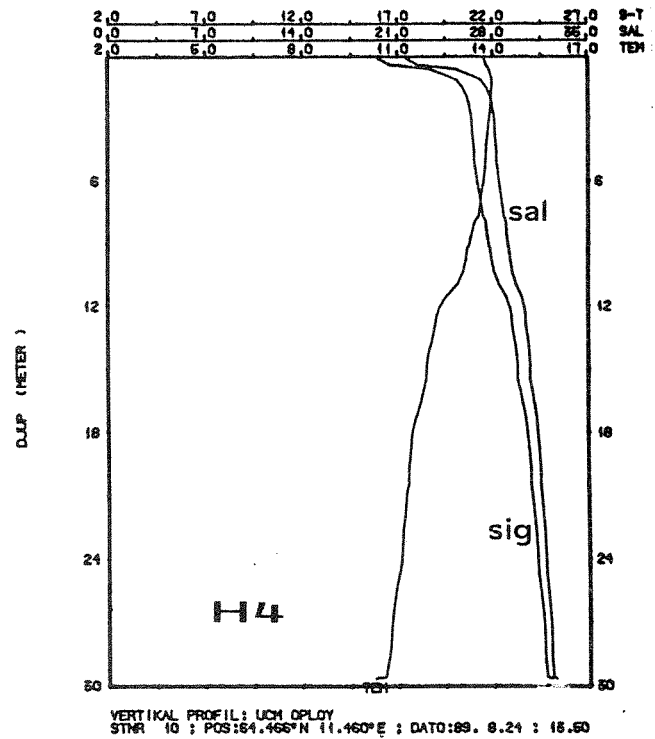
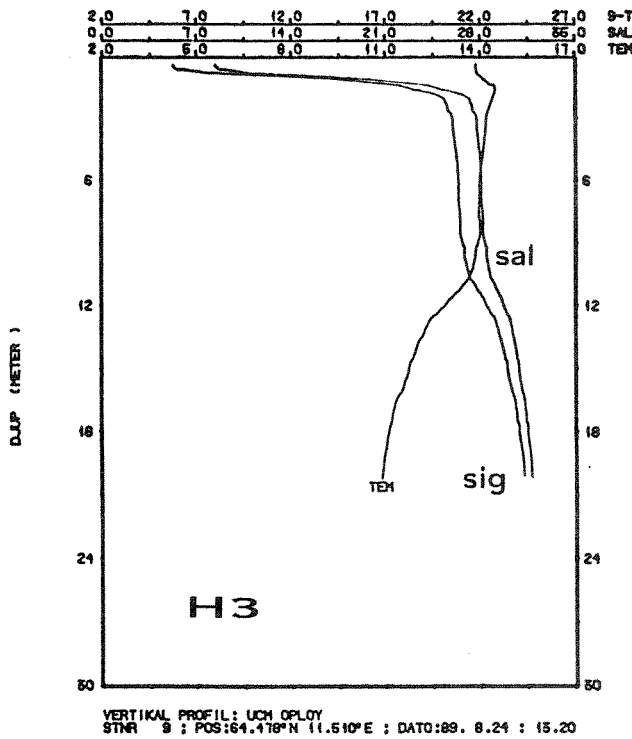
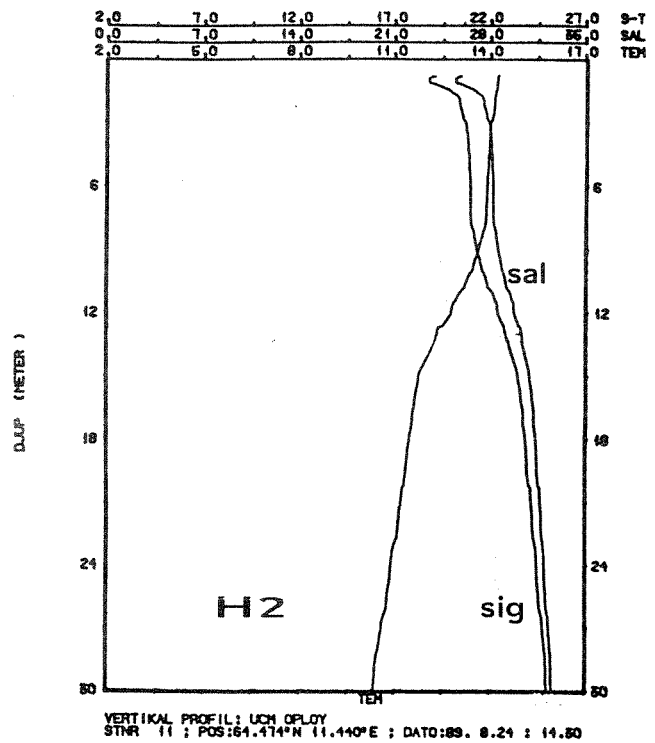
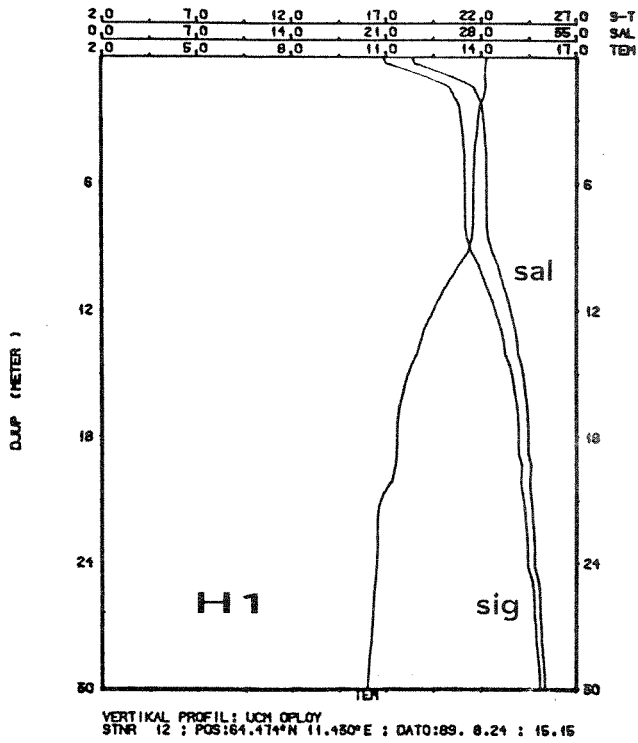


Fig. 4.5. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og sigma-t 0-30 meters dyp i august 1989.

Tilstedeværelse av tungt dypvann (- tyngre enn bassengvannet i fjorden) utenfor fjordterskelen innebærer mulighet for terskeloverskylling og fornyelse av bassengvannet (jmfør med kapittel 2). Fig. 4.6 viser tidsutvikling for sjøvannets densitet (sigma-t) i h.h.v. 100 m dyp på stasjon H1 og 190 m dyp på stasjon H2. 100 m dyp tilsvarer omtrentlig terskeldypet for hovedbassenget i Opløyfjorden. Framstillingen viser at perioden juni-oktober var gunstig for innstrømming og dypvannsfornyelse, mens etterfølgende periode var mindre gunstig. Tettheten nær bunn inne i fjordbassenget lå hele tiden temmelig konstant i intervallet 26.85-26.91 i sigma-t enhet. Eventuell dypvannsinstrømming over terskelen har ikke hatt nevneverdig virkning på tetthetsverdiene nær bunn. Økningen i densitet fra juli til august 1989 kan skyldes en mindre vannutskifting. Densitetsverdiene i 100 og 150 m dyp på stasjon H2 indikerte utskifting i disse dypene, noe som også gjenspeilte seg i økte oksygenverdier i november 1990 (se neste avsnitt).

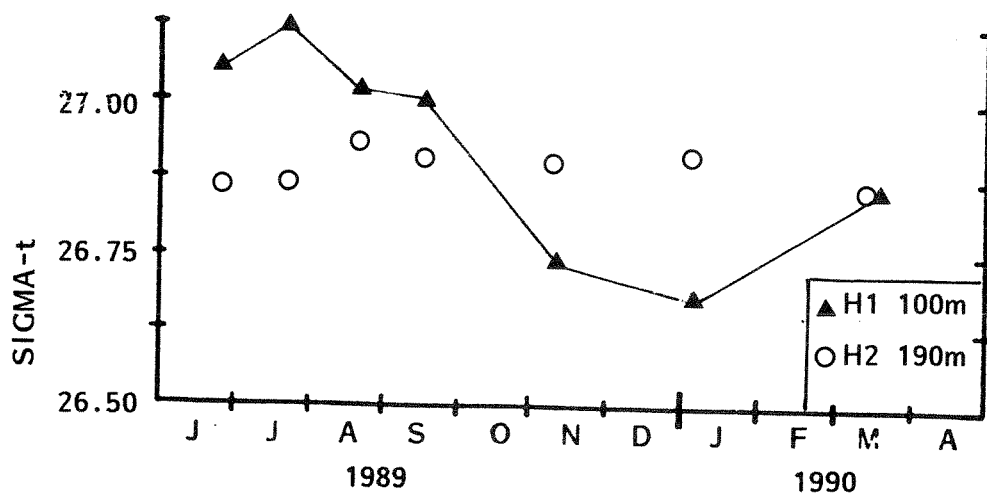


Fig. 4.6. Tidsutvikling av tetthet h.h.v. i 100 m dyp på stasjon H1 (utenfor terskel) og i 190 m dyp på H2 innenfor terskelen til Opløyfjorden. Terskeldypet er om lag 100m.

4.1.2 Oksygen

Fig. 4.7 - 4.9 viser oksygenverdier i prøvetakingsdypene for perioden juni 1989 - mars 1990. Både oksygenkonsentrasjon (ml/l) og tilsvarende metningsverdi i prosent (beregnet fra aktuell salinitet og temperatur) er presentert. Oksygenverdier og relaterte parametre er sammensatt i tabell i appendiks 2.

Verdier fra 15 meters dyp

Alle observasjonene fra 15 meters dyp synte tilfredsstillende oksygenverdier. Metningsverdiene lå hele tiden over 90 % (fig. 4.7). H3 (Indre Opløyfjorden) hadde gjennomgående de laveste oksygenverdiene. Dette kan dels skyldes relativt sett lengst oppholdstid for vann i dette området, og dels større tilførsler av oksygenforbrukende materiale fra land og elver. For øvrig var det ikke noen markert forskjell mellom stasjon H1 utenfor Opløyfjorden og stasjonene H2 og H4 inne i fjorden.

Dypvann i Indre Opløyfjorden, stasjon H3

Dypvannet i Indre Opløyfjorden (sta. H3, 24 meter) hadde den laveste registrerte oksygenverdien for hele observasjonsperioden. 2.96 ml/l viste prøven tatt i juni 1989 (fig. 4.7, nederste ramme). Dette tilsvarer under 30 % metning. Minimumsverdien for året var sannsynligvis ennå lavere. Videre ut over i måleperioden bedret imidlertid forholdene seg, med metningsverdier mellom 40 og 60 %.

Dypvann i sentrale og ytre deler av undersøkelsesområdet

I 50 meters dyp lå oksygenverdiene mellom 6 og 7 ml/l (90-100% metning) i hele måleperioden på stasjonene H1, H2 og H4 (fig. 4.8). Målingene viste generelt sett fallende oksygenkonsentrasjon gjennom perioden juni-september 1989 for H1, H2 og H4. Fra september av inntrådte en endring i utviklingen som innebar svakt økende verdier (H2, H4) gjennom i resten av året. For H4 var høst-verdiene markert høyere enn verdiene på H2. Dette kan indikere at området sør for Monsøy (ved stasjon H4) har bedre kommunikasjon med vannmassene utenfor Opløyfjorden enn selve hovedbassenget i fjorden. I mars 1990 blei det tatt oksygenprøve kun på stasjon H4. Denne prøven synte et nivå omtrent som observert i juni året før. Siden vi mangler data for oksygen(forbruk) for perioden april-mai, har vi ikke

grunnlag for å trekke slutninger omkring hvorvidt tilstanden våren 1989 var tilsvarende som for våren 1990.

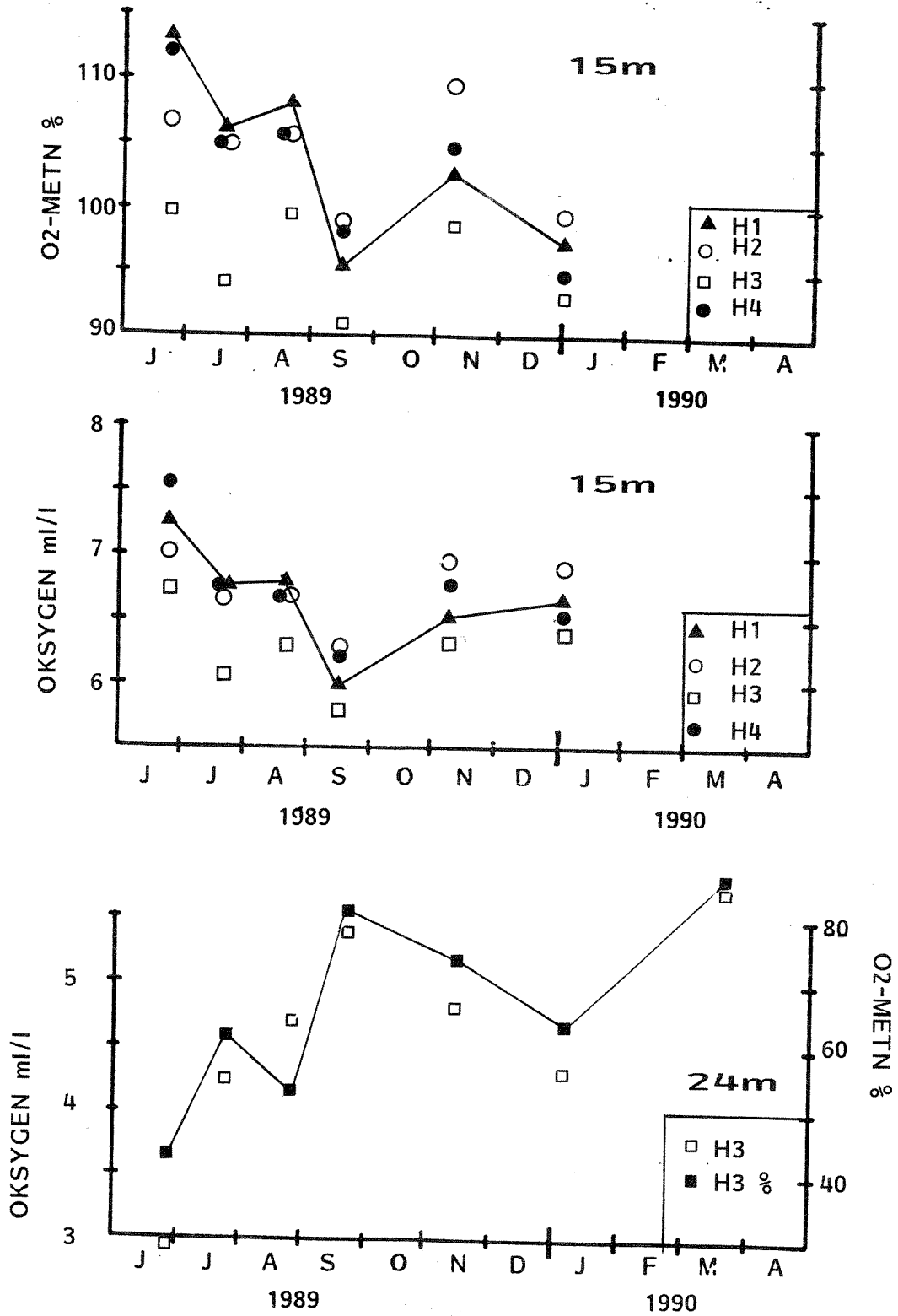


Fig. 4.7. Tidsutvikling av oksygenverdier i 15 m og 50 m dyp.

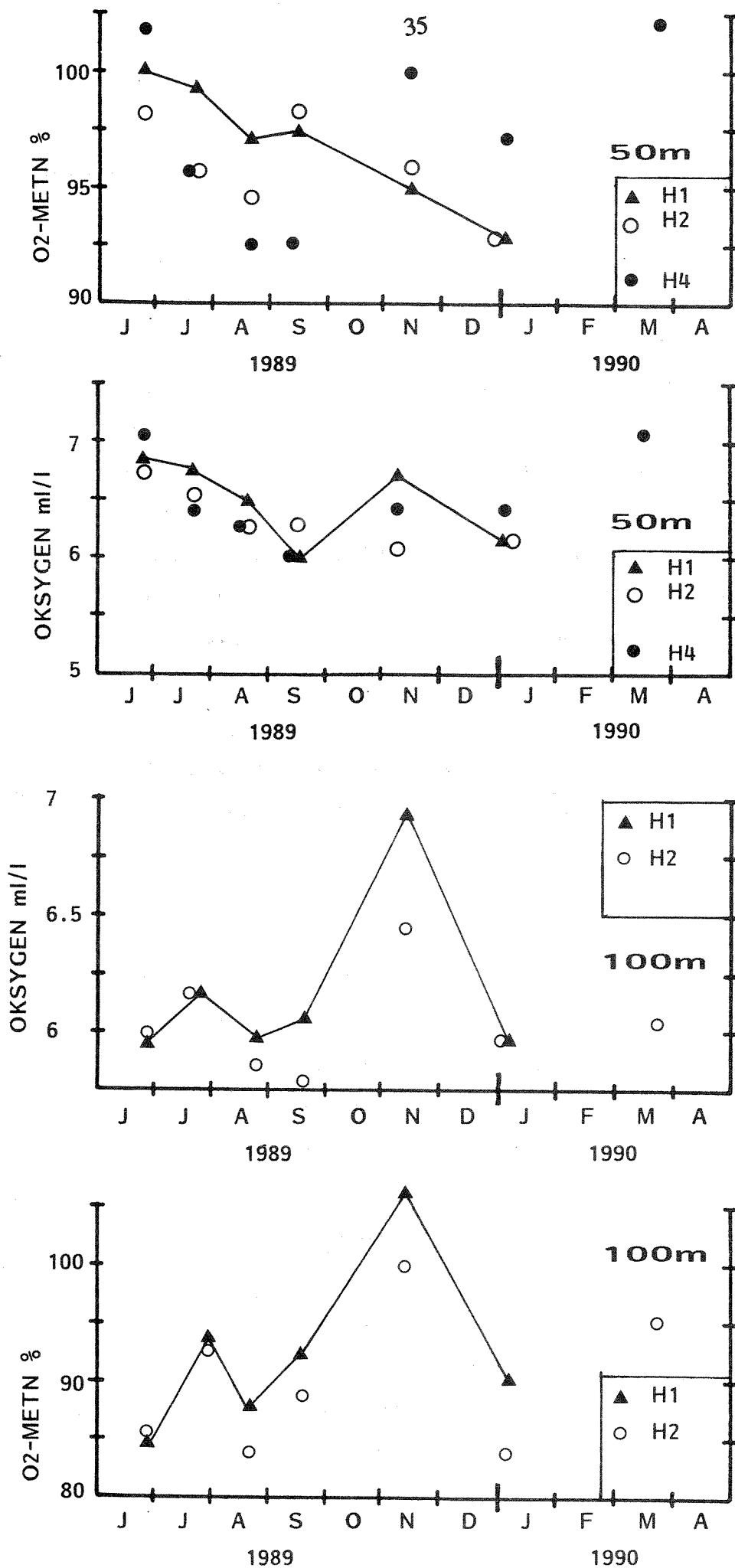


Fig. 4.8. Tidsutvikling av oksygenverdier i 24 m dyp (H3) og 100 m dyp (H1 og H2).

Vannet i 100 m og 150 m på H1 og H2 hadde generelt sett høye oksygenverdier i observasjonsperioden, med metningsverdier stort sett mellom 85 og 95 %. En markert øking i oksygenverdiene i 100 meter skjedde i perioden august-november 1989 på både H1 og H2, mens H2 hadde tendens til stagnasjon i 150 meters dyp (fig. 4.9). I 190 meters dyp i dypbassenget i Opløyfjorden (H2) var det avtakende oksygenverdier gjennom hele sommeren og høsten 1989 (fig. 4.9). Laveste registrerte verdi var 3.9 ml/l, tilsvarende ca 60 % metning ved årsskiftet 1989-1990. Minimumsverdien for året var trolig ennå lavere enn dette, før en utskifting inntraff, sannsynligvis noe etter målingen 2/1 1990.

4.2 Målinger med faststående instrumenter

4.2.1 Målinger i 4 m dyp

Resultatene av målingene som blei gjort ved hjelp av strømmålere presenteres her i kortfattet form. Målerresultatene er framstilt i figurene A1-A18 i appendiks. Resultatene fra hver posisjon og hvert måledyp presenteres for oversiktens skyld hver for seg. For riggposisjoner henvises det til figur 1.1.

Rigg 1 (indre Opløyfjorden) 4 m dyp (fig. A1-A4).

Måleperioden var 23/8 - 17/9 1989. Midlere strømfart for denne perioden var ca. 10 cm/s, m.a.o. relativt sterk strøm. Maksimalstrømmen var oppe i 45 cm/s (nesten en knop), og det var kun kortvarige perioder med strøm svakere enn 5 cm/s. Strømrosene (fig. A1) viser at strømmen hadde to dominerende retninger, vekslende inn/ut fjorden med tidevannet (fig. A2) langs akse 75° - 255°, eller tilnærmet øst-vest.

Det var en litt større vannfluks ut- i forhold til inn fjorden. Dette må ha sammenheng med at indre Opløyfjorden tilføres ellevann, som dermed genererer forsterket utoverrettet brakkvannsstrøm. Lokale vindforhold, med hyppig forekomst av østavind, kan også ha bevirket en netto utgående strøm i 4 m dyp. Sørvestlig vind dominerte imidlertid måleperioden (fig. 3.4), slik at ferskvannstilrenningen er den mest sannsynlige forklaringen.

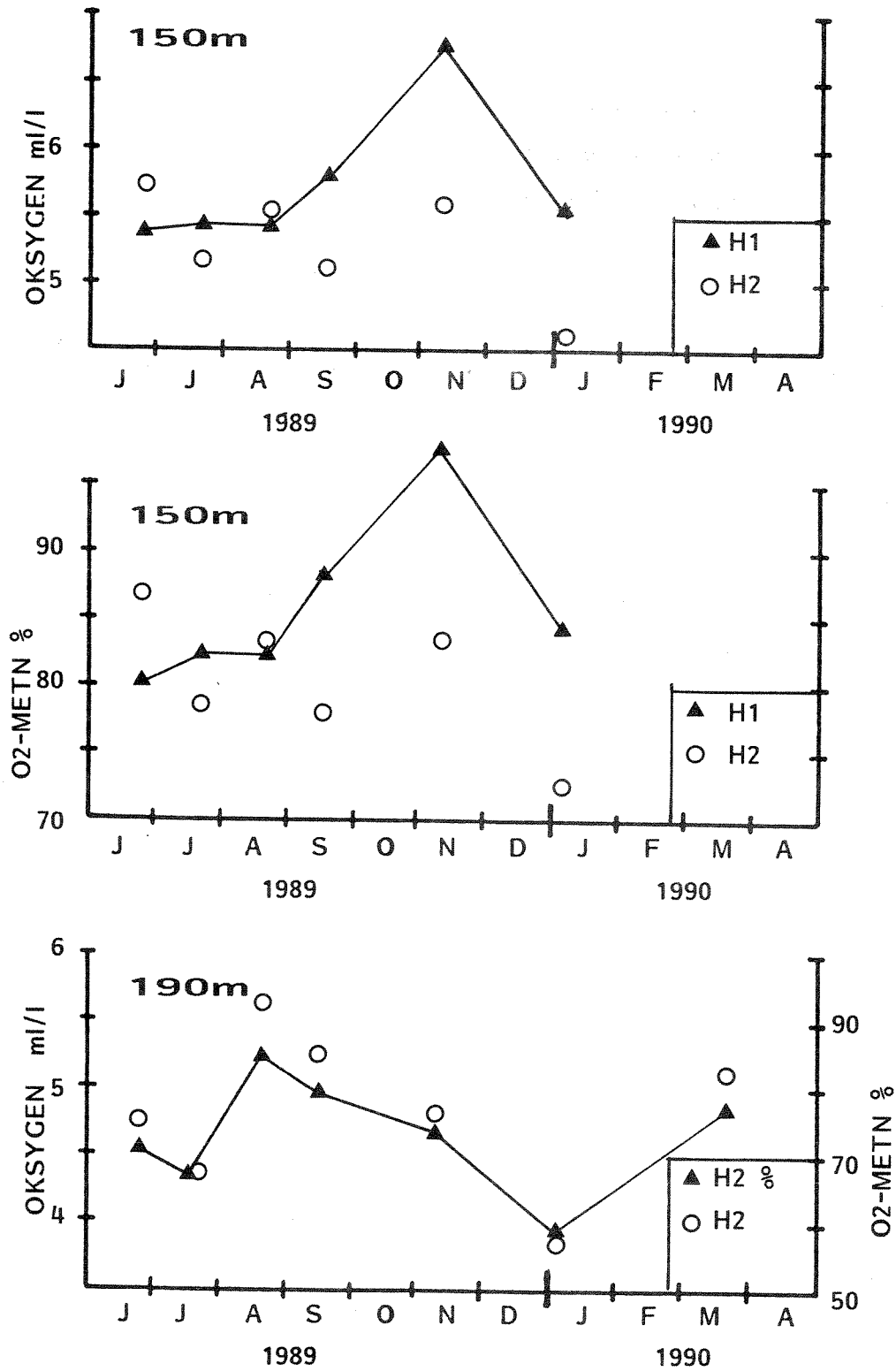


Fig. 4.9. Tidsutvikling av oksygenverdier i dypvannet, 150 m og 190 m.

De strømsterke periodene 6/9-7/9 og 11/9-12/9 ser begge ut til å ha sammenheng med relativt kraftig S/V vind på kysten. I den førstnevnte perioden var strømmen overveiende rettet ut fjorden (framgår ikke av figurene). Sterk nedbør eller nip/spingflo var ikke årsaken.

Temperaturen hadde en langsomt avtakende trend gjennom måleperioden, fra ca. 14° i begynnelsen til under 12° mot slutten (fig. A3). Laveste temperatur var 10.5° ; høyeste 14.5° i 4 m dyp, i tilknytning til kortvarige "episoder". **Saliniteten** lå relativt konstant rundt 27-28 promille. I perioder var det markerte avvik med lavere verdier. Spesielt markert var perioden 6/9-7/9, som hadde salinitet helt ned i 1-2 promille. Dette var en periode også med sterk utoverrettet strøm, og litt lavere temperatur enn ellers. Denne episoden kan skyldes vindoppstuvning, med et stagnerende øvre lag vesentligst bestående av tilnærmet ferskvann, og en utgående strøm (- som observert) under dette øverste laget.

Rigg 2, Ytre Opløyfjorden, 4 m dyp (fig. A5 - A9).

Måleperioden var 23/8 - 18/9 1989. Også i denne posisjonen var det relativt sterk strøm nær overflaten. Midlere strømfart var ca. 12 cm/s. Maksimalstrømmen var oppe i 42 cm/s, og periodene med svak strøm var kun kortvarige, i samband med tidevannsskifte. Dominerende strømretning var langs akse 120° - 300° , med en sterk aksialsymmetri (fig. A5). Den nevnte akse samsvarer bra med topografien. Også i denne posisjonen var den utgående vannfluksen større enn den inngående, sannsynligvis av samme årsak som diskutert for Rigg 1. Perioden 6/9-7/9 hadde kraftig strøm også i denne posisjonen. Strømretningen synes å ha vært stort sett utgående i forbindelse med denne episoden, m.a.o. som for Rigg 1 lenger inne i fjorden. Samme dynamikk har tilsynelatende vært rådende på begge steder.

Temperaturen (fig. A8) hadde som ventet et generelt forløp tilsvarende som for Rigg 1, og 4 m dyp der (se avsnitt ovenfor). **Saliniteten** (fig. A9) varierte noe mer enn tilfelle var på Rigg 1. Middelveien lå rundt 28, altså litt høyere enn på Rigg 1. Ellers svingte salinitetsverdiene mellom 25 og 30. Episoden rundt 7/9-8/9 hadde et langt svakere salinitetssignal enn tilfellet var på Rigg 1 i 4 m dyp. Dynamikk og struktur i dataene indikerer et mer oppblandet lag lenger ute i fjorden ("estuarin sirkulasjon", jamfør kapittel 2).

Rigg 3, 4 m dyp (fig. A10 - A12).

Måleperioden var 17/9 - 27/9 1989. Posisjonen var i sundet øst av Krogøy (fig. 1.1), nær Salviken. Midlere strømfart var målt til ca. 10 cm/s. Maksimalstrøm var 36 cm/s (21/9), og også her var det kun kortvarige perioder med svak strøm. Den strømsterke episoden var knyttet til østgående strøm. Den aktuelle dagen hadde kraftig (23 m/s) vind fra S/V, noe som må ha forårsaket denne strømsterke episoden, som også har gitt seg et eget statistisk utslag i strømrosene (fig. A10). Strømrosene indikerer for øvrig ellers en symmetri omkring aksene 20° - 200°, med en viss overvekt på strøm mot S-SV, altså "ut" sundet.

Temperaturen var temmelig konstant rundt 11-11.5°. Saliniteten hadde en middelvei på rundt 28, med variasjoner innenfor intervallet 26.5 - 29.5 (fig. A12).

Rigg 4 (Guroneset), 4 m dyp (fig. A13 - A14).

Måleperioden var 18/9 - 27/9 1989. Posisjonen var ved Guroneset, i nærheten av eksisterende oppdrettsanlegg i Risviken. Middelstrømmen her var relativt svak, rundt 4 cm/s. I en periode (22/9 - 25/9) har instrumentrotoren tilsynelatende vært blokkert, slik at strømverdiene viser null. Den relativt svake målte strømmen ellers i perioden kan til en viss grad skyldes begroing av rotoren. Måleperioden var for øvrig rundt "halvmåne", hvor tidevannstrømmen normalt er svakest. Observasjonene indikerer nettostrøm rettet utover (mot vest).

Temperaturforløpet var som for Rigg 3, 4 m dyp, med svak variasjon rundt 11°. Saliniteten varierte mellom 25.5 og 30, med middelvei rundt 28 promille (fig. A14).

4.2.2 Målinger i 18 m dyp

Målingene fra dypere lag var av begrenset varighet, p.g.a. instrumentenes minnekapasitet. Det var målinger fra Rigg 1 og Rigg 2.

Rigg 1, 18 m dyp (fig. A15, A17 og A18).

Måleperioden var 23/8 - 9/9 1989. Midlere strømfart var rundt 3 cm/s. Maksimalstrøm var oppe i 25 cm/s, og det var lengre perioder (opp til 1 døgn) med strøm svakere enn 1.5 cm/s. Strømmen vekslet mellom retning SV og NØ (fig. A17), altså tilnærmet langs aksene til

fjordinnløpet. Nettostrømmen var svak, og rettet utover. Dette indikerer at strømmen på terskelen til indre Opløyfjorden i middel har en tre-lags struktur, med netto utgående strøm i overflaten (som målt), netto inn i midlere dyp, og netto ut (som målt) nær terskeldypet. Dette samsvarer med strømbildet som er observert i andre fjorder.

Temperaturen (fig. A18) varierte mellom knappe 11°C og 13°C, med de høyeste verdiene mot slutten av perioden. Salinitet blei ikke målt.

Rigg 2, 18 m dyp (fig. A16, A17-A18).

Middelstrømmen var også her rundt 3 cm/s. Maksimalstrøm blei målt til 25 cm/s (samtidig med Rigg 1). Temperaturen lå rundt 11 °C, men perioden 6/9-7/9 hadde markert lavere temperaturer (fig. A18). Ingen salinitetsmålinger i dette dypet.

4.3 Andre registreringer

SEDIMENT

Under feltarbeidet 24/8 1989 blei det foretatt grabbing på fem forskjellige steder i bassenget i Indre opløyfjorden. Prøvene blei vurdert m.o.t. lukt og konsistens, og seinere analysert m.o.t. organisk innhold (C og N innhold) samt kvikksølv.

Sentralt i bassenget, på 24 m dyp, var det finkornet, svart sediment, med lukt av H₂S. På sedimentoverflaten var det antydning til hvitt belegg (flekker), sannsynligvis bakterier. TOC og TN verdiene var h.h.v. 24 og 1.3 p.p.t. Dette gir et C/N forhold lik 18.4. Kvikksølvinnholdet var 0.1 p.p.m. tørrvekt.

Inne ved Opløyelva, på 3.5 m dyp i nordskråningen inneholdt prøven grovere sand og treflis/bark, samt blåskjell og noen snegler. Ingen H₂S lukt. Analyse av blåskjellene ga et kvikksølvinnhold på 0.25 p.p.m. tørrvekt.

Like utafor kaia til tresliperiet, (13 m dyp) var det grovkornet sediment oppblandet med treflis/bark. Svak lukt av H₂S. Prøven viste høyt innhold av organisk innhold (161 p.p.t. TOC). TN var 3.7 p.p.t, som gir C/N forhold lik 43. Konsistensen på prøven (svært

inhomogen) kan ha vanskeliggjort laboratorieanalysen. Kvikksølvanalysen ga 0.26 p.p.m. tørrvekt.

Ved **utløpet av Elgåelva** (sør for kaianlegget) blei det tatt en prøve på 24 m dyp. Det var finkornet sediment der, med svak lukt av H₂S. TOC og TN verdiene var h.h.v. 41 og 1.9 p.p.t., som gir C/N forhold lik 21.5. Kvikksølvinnholdet var 0.13 p.p.m. tørrvekt.

Ytterst ved **utløpet**, på 20 meters dyp lyktes vi ikke å få opp noe sediment, kun småstein. Dette indikerer lite finkornet materiale i dette området, sannsynligvis p.g.a. mer turbulente strømforhold.

NÆRINGSSALT

Under feltarbeidet 24/8 1989 blei det tatt næringssaltprøver i 5 m dyp på de fire hydrografi-stasjonene. Analyseresultatene er presentert nedenfor i tabell 4.1.

Tabell 4.1. Næringssaltinnhold i vannprøver fra 5 m dyp på stasjonene H1-H4 24/8 1989. Enheter µg/l.

Stasjon-->	H1	H2	H3	H4
Tot-P	5.0	5.0	5.0	4.0
PO ₄ -P	<.5	<.5	1.0	<.5
Tot-N	138	131	249	138
NO ₃ -N	9	9	9	9
NH ₄ -N	11	11	21	11

Tidspunktet er innenfor perioden med forventet forbruk av næringssalt i vannsøylen. Dette gjenspeilte seg i lave nitrat- og fosfatverdier på alle stasjonene. Total-nitrogen var innenfor som kan kalles normalt når det gjelder stasjon H1, H2 og H4, mens H3 ligger noe i overkant. Høy konsentrasjon av total-nitrogen, og moderate verdier for nitrat og ammonium, indikerer tilstedeværelse av større mengder (levende eller dødt) partikulært organisk materiale

i vannet. Sannsynligvis dreier dette seg om materiale fra land, som er tilført med de to elvene som renner ut i indre basseng. Verdiene for total-nitrogen og $\text{NH}_4\text{-N}$ fra stasjon H3 indikerer en forskjell i forhold til de andre tre stasjonene med hensyn til belastingsgrad for nitrogen.

5. LANDBASERTE ANLEGG FOR FISKEOPPDRETT

5.1 Definisjoner

Landbasert fiskeoppdrett skjer med mange typer teknologi fra enkle jorddammer til kar-anlegg med automatisk føring, miljøovervåking og -styring. Det meste av smoltproduksjonen i Norge foregår i landbaserte anlegg, og det samme gjelder yngelproduksjon av andre arter. Oppdrett av laks og ørret fra smoltstørrelse til slakteferdig fisk skjer i det alt vesentlige i åpne sjøanlegg, d.v.s. merdanlegg.

Når mulighetene for landbasert oppdrett på en lokalitet skal diskuteres, dreier det seg oftest om føring av fisk helt fram til markedsstørrelse. Med landbaserte anlegg menes i den sammenheng anlegg for intensiv produksjon av fisk i fiskekar/-tanker bygget på land, der vann pumpes inn fra sjøen (eller andre kilder), og der man på andre måter sørger for at fisken får gode miljøbetingelser.

5.2 Bakgrunn og utvikling hittil

Da man startet oppdrett av laks i merdanlegg i sjø, syntes det som om en hadde funnet en rasjonell driftsform som på en utmerket måte utnyttet de kvaliteter som sjøen langs norskekysten har. I andre land var forholdene annerledes, og interessen for landbaserte anlegg større. I Skottland ble det bygget flere landbaserte anlegg på 1970-tallet, på Island er det flere anlegg, og i Canada satses det nå på slike anlegg (Aabel 1990).

Det er flere grunner til at det nå er økende interesse for landbaserte anlegg i Norge :

- Fiskesykdommer og algeoppblomstringer er stadige trusler mot oppdrettsfisk i åpne anlegg. Landbaserte anlegg vil redusere risikoen sterkt.
- Nye oppdrettsarter som kveite og piggvar krever anlegg med fast bunn, og kan neppe tilpasses dagens merdteknologi.
- Det er muligheter for mindre miljøbelastning fra et landbasert enn et åpent anlegg.

- Det har skjedd betydelig utviklingsarbeid med landbaserte anlegg, slik at en kjenner produksjonsmulighetene.
- Landbaserte anlegg gir mulighet for bedre produksjons- og kvalitetsstyring.
- Landbaserte anlegg gir betydelige muligheter for energiøkonomisering slik som varmegjenvinning fra produksjonsvannet.

Når det trass i slike positive forhold er etablert få landbaserte anlegg hittil, skyldes det først og fremst de relativt høge byggekostnadene for slike anlegg. Prisen på laks og ørret falt sterkt i løpet av 1989-1990. Det er derfor små økonomiske marginer i fiskeoppdrett, noe som begrenser investeringene i næringa.

Det er likevel grunn til å tro at landbaserte anlegg vil spille en rolle i norsk oppdrett i årene framover (Jaques 1990). NTN (Norges Teknisk-Vitenskapelige Forskningsråd) satser 90 millioner kroner på utvikling av lukkede oppdrettsanlegg i årene 1989-93 (Tvinnerem 1990).

5.3 Driftserfaringer med laks i landbaserte anlegg

Vanninntak bør ligge dypt slik at en får stabil temperatur og "reint" vann. Da ser det ut til at en oppnår betydelig lavere dødelighet enn det som er vanlig i merdanlegg.

De store investeringene krever god utnyttning av anlegget, og tettheten bør være minst 50 kg/m³. 100 kg/m³ synes forsvarlig ved optimal drift, i forhold til vekst og fiskens miljø (Ibrekk og Braaten 1989).

For å dekke fiskens oksygenbehov må det tilføres ekstra oksygen, ellers blir vannbehovet enormt. Flere system for oksygenering finnes, men det gjenstår ennå utviklingsarbeid på dette området (Åsgård 1989, Nøttveit 1990). For å redusere vannbehovet og pumpekostnadene ennå mer, kan ulike grader av resirkulering tas i bruk. Dette er spesielt aktuelt viss vanntemperaturen skal heves over det naturlige (Ibrekk og Braaten, 1989).

Fiskens tilvekst og kvalitet synes å være minst like god i landbaserte anlegg som i vanlige merdanlegg. Man får god kontroll med føringa i et landbasert anlegg, slik at det er mulig

å holde et lavt fôrforbruk (Ibrekk og Braaten 1989). Videre har man i prinsippet mulighet for å opprettholde "optimale" miljøbetingelser til en hver tid.

Et viktig forhold er at et landbasert anlegg krever stor kompetanse i planlegging og bygging, og stiller store krav til både teknisk og biologisk kunnskap for å oppnå god drift av anlegget.

5.4 Avløp og rensing

Avløpsvannet (urenset) fra et landbasert anlegg inneholder de samme komponenter som tilføres vannet rundt et vanlig merdanlegg. Ved gunstig plassering av inntak og utløp for et landbasert anlegg kan man unngå resirkulasjon og selvforurensing. Om det har noe for seg å rense avløpet avhenger av resipientens kapasitet, og om det er praktisk mulig å skille inntak og utløp i tilstrekkelig grad. Lange inntaks- eller utslippsledninger vil medføre økte installasjonskostnader og driftsutgifter.

Ved etablering av et landbasert anlegg vil en alltid stå overfor spørsmålet om avløpet skal renses, og hvilken rensing som eventuelt skal foretas.

Med en lav resirkuleringsgrad er det store vannmengder som går inn og ut av et anlegg. Dette innebærer bl. a. store driftsutgifter (pumper m.m.). Såkalt høggradig rensing er oftest økonomisk uaktuelt. Det som oftest synes realistisk er en enkel partikkelfjerning ved hjelp av et silsystem. Dette reduserer den organiske belastningen på resipienten, og fjerner noe av næringssaltene. Det kan ikke gis noe allmenngyldig svar på spørsmålet om rensing av avløp, men det må vurderes i hvert tilfelle (Smith 1988).

5.5 Lokalisering av landbaserte anlegg

Kravene til en lokalitet for landbasert oppdrett er delvis de samme som for plassering av et merdanlegg, men det stilles ekstra krav til areal på land. Ibrekk og Braaten (1989) har utredet de spesielle kravene til landbaserte anlegg med utgangspunkt i kravene til merdanlegg i LENKA-systemet. Her gjengis noen punkt fra deres rapport:

- Sjøområdene bør være i LENKA-sone A1, A2 eller B2.
- Inntak bør være på minst 50 meters dyp, og dette dypet må være i rimelig nærhet av land. For marine arter som krever høg og stabil salinitet bør det være mulig å hente vann fra dyp på 100-200 meter.
- Tilgang på ferskvann i betydelige mengder er ønskelig.
- Det må gjøres grundige forstudier av temperatur og vannkvalitet. Det bør være tilgang på dypvann som holder temperatur over 7°C hele året.
- For et anlegg på 8000-12000 m³ bør man ha en tomt på 8-10 mål.
- Arealet bør ligge 1-4 meter over høyvannstand.
- Det bør være utbygd infrastruktur med veg, el-kraft o.l..
- Det må ikke være fare for forurensing fra annen virksomhet i området.
- Resipienten bør være så god at myndighetene kan godta utslipp uten strenge krav til rensing.

5.6 Utvikling framover

Norge har lagt ned stor innsats for å utvikle oppdrett av nye arter. For noen av disse (flatfiskene) vil oppdrettet i hovedsak skje i landbaserte anlegg, og anleggene vil komme etter hvert som oppdrettet blir kommersielt.

Kommersielt oppdrett av laks vil nok hovedsaklig skje i merdanlegg i mange år framover, men det vil etter hvert komme en del landbaserte anlegg (Jaques 1990). I første omgang venter en at stamfiskproduksjonen vil bli overført til landanlegg. Det vil i noen grad skje ved at flere oppdrettsfirma går sammen om å bygge anlegg for å produsere fisk på 1-2 kg, som ferdigføres i merdanlegg, og det vil trolig komme reine landbaserte matfiskanlegg etter hvert.

6. DISKUSJON

I dette kapittelet diskuteres de innsamlede data i lys av den aktuelle problemstillingen om (landbasert) oppdrett ved Opløyfjorden, og med basis i eksisterende kunnskap omkring belastning fra oppdrettsanlegg. Et lansert konsept har gått ut på å lokaliserte virksomhet til selve branntomta op Salsbruket. Denne løsningen har vært vurdert som gunstig m.o.t. eksisterende infrastruktur. Andre alternativ går ut på å plassere anlegg noe lenger ute, nær innløpet til Indre Opløyfjorden (jamfør kapittel 1).

OCEANOR (1988) vurderte både Opløyfjorden og et område utenfor i sin undersøkelse. OCEANOR fant at betingelsene for et anlegg var bedre i det ytre området. Det blei ytret skepsis til at et anlegg blei lagt ved selve Opløyfjorden. Først og fremst var det mulighetene for redusert dypvannskvalitet som bidro til en slik vurdering. OCEANOR målte (i mars 1988) noe lavere oksygenverdier i hovedbasenget enn det NIVAs registreringer fra 1989-90 viser. Forskjellen var på omlag 1 ml/l i 190 meters dyp. Denne forskjellen kan dels tilskrives naturlig svingning fra år til år, og dels på manglende sammenfall av prøvetakings-tidspunkt. De reduserte oksygenforholdene ga grunnlag for å rangere Opløyfjorden lavere enn det ytre området (ved Buøya) når det gjelder egnethet.

I det foreliggende prosjektet er problemstillingen noe anderledes. Vi fokuserer kun på Opløyfjorden, og prøver i tråd med prosjektmålsettingen å vurdere de muligheter og begrensninger som denne fjorden har.

6.1 Vurdering av fjordens tilstand

6.1.1 Dypvann og sediment

Opløyfjorden har dypvann med tidvis redusert oksygeninnhold. Ned til 30-40 % metning er tidligere registrert (OCEANOR 1988). Kvalitativ vurdering av sedimentprøve fra dypbassenget indikerte at direkte kritiske eller anoksiske forhold sjelden eller aldri forekommer.

Oksygenmålingene i 1989-1990 indikerte noe bedre forhold enn i 1988, noe som sannsynligvis reflekterer naturlige svingninger fra år til år. Den organiske belastningen av fjorden fra kilder på land var sannsynligvis tilnærmet lik de to årene. Sjøtemperaturen langs norskekysten lå i perioden 1987-1990 over det normale. Midtre del av vannsøylen blei i denne perioden stadig lettere. Først på ettersommeren 1989 kom det innstrømming av tyngre dypvann langs Vestlandskysten. En tilsvarende innstrømming til Opløyfjorden kan ha skjedd noe seinere, noe som økningen i NIVAs observerte oksygenverdier i november 1989 indikerer. Haakstad (1979) har diskutert slike innstrømminger, og dokumenterer den tidsforskjell mellom sør og nord på norskekysten som eksisterer. Også i terskelbasseng på Vestlandskysten hvor NIVA har kontinuerlig overvåking var det bedre oksygenforhold i 1989 enn i 1988. Dette kan gjenspeile bedre generelle betingelser for vannutskifting i 1989 både i Opløyfjorden og lenger sør.

I en generell kartlegging av eutrofisituasjonen i norske kystfarvann som nylig er foretatt (Erga m. fl. 1990) er ikke Opløyfjorden nevnt som noe problemområde. Bakgrunnen for rapporten var den økede forekomst av symptomer på overbelastning i kystområdene i det sørlige Norge de seinere åra. Virkningen av langtids-variasjoner i hydrografi på kysten er imidlertid ikke vurdert i den rapporten.

Faktisk oksygenforbruk i bassengvannet kan estimeres fra målingene i 1989-1990. I 190 meters dyp dreide det seg om ca. 0.25 ml/l O₂ pr måned (perioden august-januar, fig. 4.9). I 150 meters dyp var det en mer fluktuerende tidsutvikling (fig. 4.9), men verdier mellom 0.4 og 0.5 ml/l O₂ pr måned i stagnasjonsperioder kan være representativt. En verdi for oksygenforbruk som karakteriserer hele dypvannsbassenget vil sannsynligvis ha en verdi noenlunde midt i mellom de to estimatene, d.v.s. rundt 0.35 ml/l O₂ pr. måned.

Den naturlige tilførselen av organisk, nedbrytbart materiale kan estimeres for fjorder med grunne til middels grunne terskler (Aure og Stigebrandt 1988). Med et terskeldyp på 100 meter i Opløyfjorden, blir den teoretiske "naturlige" karbonfluksen negativ i følge det empiriske grunnlaget fra Møre og Romsdal som Aure og Stigebrandt (1988) baserte seg på. Forutsetningene for formlene er sannsynligvis ikke dekkende for Opløyfjorden, hverken med

omsyn til geografisk beliggenhet eller bunntopografi. Det empiriske grunnlaget kan imidlertid gi en pekepinn om på hvilken side av "streken" Opløyfjorden ligger.

Aure og Stigebrandt fant 40 tonn C/km²/år som verdi for "typisk" karbonfluks til bassengvannet i terskelfjorder (Møre og Romsdal). Det teoretiske oksygenforbruket i dypvannet kan da beregnes fra ovenfornevnte empiriske grunnlag:

$$dO_2/dt = 2.43 * F/H_b$$

F_c = karbonfluks/m²/mnd, og H_b er bassengdybde. Dette gir et oksygenforbruk på om lag 0.2 ml/l O₂ pr mnd (karbontilførsel og oksygenforbruk kun i 6 måneder), eller 0.1 ml/l/mnd med tilførsel og forbruk fordelt over 12 måneder. Dette gir en teoretisk reduksjon i oksygennivå på minimum 1.2 ml/l over et helt år, forutsatt ingen vannutskifting i mellomtiden. Som nevnt ovenfor skjer fullstendige utskiftninger i terskelfjorder ikke alltid hvert år. Oksygenmålinger fra 1989-1990 i Opløyfjorden hadde ca. 4 ml/l som laveste verdi i dypvannet på stasjon H2, mens ca. 3 ml/l blei observert i 1988 (neppe årsminimum). Den nevnte verdien fra 1988 indikerer et årsforbruk som er minst 3 ml/l oksygen (antatt et "bakgrunnsnivå" på 6 ml/l). Dette kan indikere at et oksygenforbruk på 0.25-0.3 ml/l/mnd i stagnasjonsperioder er en realistisk gjennomsnittsverdi for de dypere delene av Opløyfjorden, noe som også våre tidligere estimat på oksygenforbruk, basert på observasjonene, tilsier.

Oksygenverdiene og de tidligere observasjonene av de dype sedimentene gir ikke grunnlag for å karakterisere Opløyfjordens dypvann som overbelastet i dag. Det reduserte oksygennivået som er observert er av en størrelsesorden som ofte finnes i fjorder med antatt naturlig belastning. De observerte minimumsverdiene setter imidlertid grenser på hvor stor ekstra organisk belastning fjorden tåler. En midlere karbonfluks på om lag 6-8 gC/m²/mnd synes å være et rimelig estimat for den midlere organiske belastningen på dypvannet i den produktive sesongen i dag.

Dypvannet i **Indre Opløyfjorden** hadde også relativt lave oksygenverdier sommeren 1989. Minimumsverdien på ca. 3.0 ml/l var likevel godt over kritisk grense på 2 ml/l, og forholdene bedret seg raskt utover høsten 1989 til 60 %-80 % metning. Volumet av

bassengvannet er lite. Dette indikerer sårbarhet for økt belastning, men samtidig at en eventuell negativ oksygenutvikling ikke har vesentlig betydning for Opløyfjordens øvrige vannmasser.

Sedimentkvalitet og oksygenforhold i Indre Opløyfjorden tilsier forsiktighet med å nytte denne delen av fjorden til noen form for inntak eller utslipp av prosessvann. C/N forholdet i sedimentet var generelt høyt. De høye C-verdiene indikerer at mye av sedimentet stammer fra kilder på land.

Kvikksølvverdiene i sedimentet i 1989 lå mellom 0.1 og 0.2 p.p.m. tørrvekt. Dette er omtrent det samme som OCEANOR (1988) fant i de dypere delene av hovedbassenget i Opløyfjorden, og tilsvarer omtrentlig bakgrunnsverdier.

Lekkasje av tungmetaller som kvikksølv fra sedimenter til vann skjer langsomt. Akseptable verdier for vann i sammenheng med fiskeoppdrett er h.h.v. 0.002 p.p.m (korttids eksponering) og $5 \cdot 10^{-5}$ p.p.m. som middelverdi (Shepherd og Bromage 1989). Kvikksølvinnhold i sjøvannet er ikke blitt målt under det foreliggende prosjektet. En analyse av kvikksølv i blåskjell nær Opløyelva ga 0.25 p.p.m tørrvekt. Denne prøven er ikke unormalt høy.

Sørfjorden i Hardanger er ofte diskutert i samband med tungmetaller. Det er der registrert verdier over 0.5 p.p.m kvikksølv i flyndre (Skei 1986). Norske myndigheter har foreløpig satt 0.5 p.p.m Hg som øvre grense for konsentrasjon i næringsmidler (Green 1988). Verdien fra Opløyfjorden ligger under denne grensen. Men det må understrekes at grunnlagsmaterialet er for spinkelt til å gi en helhetlig vurdering.

Inntil tidlig i 1970-åra blei kvikksølv benyttet i noen grad i forbindelse med impregnering/konservering av trevirke. Dette gjaldt også sannsynligvis for tresliperiet i Salsbruket. Det har derfor vært mistanke om forhøyede verdier av kvikksølv særlig i Indre Opløyfjorden. De foreliggende observasjonene gir ingen direkte indikasjon på at forhøyede verdier foreligger.

6.1.2 Frie vannmasser

Med frie vannmasser menes i vår sammenheng den del av vannsøylen som ligger over terskelnivået (ca. 100 meter) til Opløyfjorden. Til en vurdering av tilstanden der har vi både strømmålinger, hydrografi- og oksygenmålinger. Generelt sett kan disse vannmassene antas å ha høy utskiftingsgrad. Utskiftingen bestemmes av ytre faktorer som tilrenning, vind og tidevann. Endringer i tetthetsfeltet i tilstøtende ytre vannmasser er også viktig.

Aure og Stigebrandt (1988) estimerte på grunnlag av data fra Møre og Romsdal at sistnevnte faktor bidro til utskiftingen med 40-100 m³/sek pr. km² fjordoverflate. For Opløyfjordens vedkommende, med 14 km² overflate, bidrar således sistnevnte faktor aleine med av størrelsesorden 500-1000 m³/sek i følge nevnte forfattere. Med et samlet volum på 1*10⁸ m³ (avsnitt 1.4.1), gir dette utskifting i løpet av ca. 2 døgn i gjennomsnitt. Det empiriske grunnlaget for estimatet for utskiftingen gjelder stort sett fjorder med vesentlig grunnere terskler enn Opløyfjorden, og er dermed ikke nødvendigvis dekkende for Opløyfjorden. Deler av fjordvannet, i mer skjermede områder og i dypere sjikt vil uansett ha vesentlig lengre oppholdstid enn ca. 2 døgn.

Hydrografimålingene fra 1989-1990 er egnet til å kartlegge langtidstrender, på tidsskala måneder. En hyppigere utskiftingsrate vil avspeile seg i opprettholdelse av et høyt oksygennivå. Målingene fra 15, 50 og 100 meters dyp på stasjon H2 (og H4) bekrefter tilfredsstillende oksygenforhold i Opløyfjorden, med kun mindre avvik fra utviklingen på referansestasjonen utenfor terskelen.

Strømmålingene (i 4 og 18 m dyp) indikerte netto utgående fluks i overflatelaget. Episoder med kraftig vind bidro spesielt til kraftig utoverrettet strøm. Lokale forurensninger og annet materiale med liten synkehastighet i dette laget, vil derfor ha stor mulighet for å bli transportert raskt ut av fjorden. Tidvis har øvre lag i fjorden markert reduksjon i siktedyp. Dette blei registrert bl.a. under toktet i august 1989, da sjøen var sterkt brunfarget. Fargen skyldes trolig en kombinasjon av brunalger og mye suspendert stoff fra land via elvene.

Området sør av Monsøy hadde også en netto ut (vest-)gående strøm i overflatelaget. Selv om dette området topografisk sett er relativt innelukket, synes utskiftingsforholdene å være tilfredsstillende. Området har små lokale forurensningstilførsler, og ingen terskel.

I mellomlaget vil det eksistere minst ett sjikt med relativt liten horisontal strøm, men med kraftig vertikalblanding p.g.a. strømskjær. Slike sjikt befinner seg mellom lag med forskjellig strømrretning (inn-ut). Med våre strømmålinger som var begrenset til to dyp, har vi neppe dekket et slikt sjikt. Målingene fra terskelen til Indre Opløyfjorden indikerte imidlertid en tre-lags struktur der. Dette medfører i så fall minst to tynnere sjikt mellom overflate og ca 20 meter i indre deler av selve Opløyfjorden med noe begrenset horisontal utveksling.

6.2 Fiskeoppdrett ved fjorden

For et landbasert oppdrettsanlegg ved Opløyfjorden vil det kunne iverksettes rensetiltak på avløpsvannet som i stor grad vil kunne begrense tilførslene til fjorden. Erfaringene med ulike rensetiltak (vesentligst fra settefiskanlegg) er varierende. Som nevnt i kapittel 5 synes en delvis partikkelfjerning (siling) å være den mest aktuelle løsningen. Dette vil redusere den organiske belastningen, og fjerne en del av næringssaltene.

Vann skal taes inn fra et gitt dyp, og slippes ut igjen i mer eller mindre renset form. Dersom utslippsvannet har en høyere temperatur enn inntakstemperaturen vil det også være noe lettere (lavere densitet) enn vannet i inntaksdypet. Det samme gjelder dersom ferskvann blandes med sjøvannet. Med et dypt inntak av vann, og utslipp høyere opp, vil risikoen for resirkulering uansett være liten. Dersom det er relativt markert forskjell i salinitet mellom inntaksdyp og utslippsdyp, vil utslippsvannet ved null eller moderat reduksjon i densitet kunne synke noe før innlagring. Hvor langt avhenger bl. a. av aktuell sjiktning i sjøen, og av aktuell vannmengde. Det kan her utføres beregninger, noe som ligger utenfor rammen av foreliggende rapport, med manglende spesifikasjon av anlegg og utslipp.

Vannmassene over terskelnivået vil ikke være statiske, men vil være gjenstand for hydrografiske variasjoner på ulik tidsskala. Korttidsvariasjoner kan her virke forstyrrende inn i relasjon til inntaks- og utslippsvann. En brå innstrømming av tyngre vann til fjorden

vil øke oppdriften til utslippsvann i en overgangsfase. Slike brå endringer forekommer hyppigst i frontområder i nærheten av fjordmunninger.

Hydrografimålingene i Opløyfjorden tilsier at et inntak bør ligge over terskeldypet, på grunn av oksygenforholdene i bassengvannet. Den dype terskelen tilsier at inntak/utslipp sannsynligvis må ligge over terskeldypet av kostnadmessige hensyn.

Opløyfjorden vil kunne utnyttes i samband med en varmpumpe. Nordisk Ministerråd (1985) redegjorde for bruk av varmpumper og spillvarme innenfor akvakultur. Deres konklusjon var at spillvarmebasert produksjon ga noe lavere (5-10 %) produksjonskostnader enn bruk av varmpumper. Siden denne utredningen blei laget, har imidlertid teknologien blitt forbedret på begge felter. ENERGIDATA (1990a,b) har redegjort for kostnader m.m. ved bruk av varmpumper innenfor husholdning, tjenesteyting og industri. Den samfunnsmessige lønnsomheten er vurdert som størst innenfor industri. Innenfor næringsmiddel-sektoren er det hittil installert ca. 300 varmpumpeanlegg i Norge. I analysen er det antydnet en spesifikk investeringskostnad på 4000 kr/kW, og en effektdekning på 60 % for varmpumper innenfor denne sektoren. Analysen er imidlertid ikke nyansert m.h.t. ulike typer næringsmiddelindustri.

Økonomien i samband med varmpumper (i sjøvann) avhenger av lokale temperaturforhold. ENERGIDATA (1990b) sine beregninger baserte seg på jevn sjøvannstemperatur lik 6°C. Temperaturforholdene i Opløyfjorden indikerer tilfredstillende forhold (stabilitet/verdi) i allefall dypere enn 50 meter. Vinteren 1989-1990 var mildere enn normalt, slik at effekt av nedkjøling i øvre del av vannsøylen ikke var så markert som den kan være i kalde vintre. Opløyfjorden hadde da økende temperaturer nedover i dypet. I januar 1990 var det rundt 8.5°C i dybdesjiktet 50-75 meter. I mars 1990 var temperaturen i dette sjiktet sunket til 6.5-7.0°C, som var tilnærmet som observasjonene fra juni 1989. OCEANOR (1988) registrerte minimumstemperaturer rundt 5°C i 50 meters dyp i slutten av februar 1988 ved Buøya. I 80 meter var imidlertid minimumstemperaturen rundt 7°C. Noe lavere minimumstemperaturer enn dette må forventes i kaldere vintre. Foreliggende datamateriale kan gi grunnlag for å beregne disse dersom innstallasjon av varmpumper eller utnyttelse av dypvann blir aktuelt.

Med dagens teknologi burde det være mulig å variere inntaksdypet noe i takt med variasjoner i hydrografiske parametre. Sistnevnte kan registreres kontinuerlig av kurante sensorer, og teknisk sett kan en lage et selvregulerende system, som vil være energibesparende.

Utslipet vil måtte gå ut enten i overflaten, eller i øvre del av vannsøylen. Det kan være aktuelt med etablering av et anlegg i nærheten av innløpet til Indre Opløyfjorden. Å legge utslippsledningen ut til forbi ytterste terskel er sannsynligvis urealistisk p.g.a. kostnader. Utslipet antas derfor å bli plassert inne i Opløyfjorden. Som for inntaket, kan også utslippsdypet i praksis varieres automatisk, og optimaliseres i forhold til aktuelle hydrografiske forhold. Et "intelligent" system vil kunne minske risiko for såvel resirkulering, som for negativ synlig påvirkning i overflatelaget.

Som en førsteordens tilnærming kan vi ta utgangspunkt i at utslipp tilføres og innlagres i et øvre 10 meter tykt sjikt i vannsøylen i Opløyfjorden. Sjektet befinner seg under overflatelaget. Vi tar videre utgangspunkt i forurensing fra et vanlig anlegg, uten noen form for rensing, men med normal drift. For et 12 000 m³ kubikkmeter anlegg kan en regne med (jamfør kapittel 2) 750 tonn O₂/ pr år i oksygenforbruk. Oksygenforbruket vil variere gjennom året. For et landbasert anlegg vil sesongvariasjonene være mindre enn i et vanlig merdanlegg, p.g.a. bedre kontroll.

Vi antar 100 tonn O₂/mnd tilført oksygenforbruk i sommermånedene. Observasjonene fra Opløyfjorden øvre lag (15 m) indikerer typisk oksygenverdi på rundt 7 ml/l; tildels over 100 % metning. En viss oksygenreduksjon kan tolereres, uten påviselige effekter. Settes den nedre grensen til 5 ml/l, tilsvarer dette et oksygenforbruk på anslagsvis 400 tonn O₂ for det nevnte lagets vedkommende. Dette tilsvarer tilførsler for 4 produksjons måneder etter våre forutsetninger. I løpet av en så lang periode må imidlertid vannet i det nevnte sjiktet være utskiftet mange ganger. En oksygenreduksjon av størrelsesorden 2 ml/l utenfor nærområdet til utslippet er derfor lite sannsynlig.

Tilførsler av næringssalt vil kunne stimulere primærproduksjon i fjorden. Slik primærproduksjon vil kunne bidra til netto oksygenforbruk i midtre og nedre del av vannsøylen, inkludert bunnvannet. Kunnskapene om de aktuelle prosessene er imidlertid såpass begrensede at en

tallfesting av effekter er vanskelig å gi. Ved et kontrollert utslipp, der næringssalt utnyttes som grunnlag for kontrollert algeproduksjon, vil eventuelle problemer bli redusert. NIVA i samarbeid med SINTEF foretar nå eksperimenter med denne form for kontrollert produksjon.

Før det foretas mer detaljerte vurderinger av muligheter og begrensninger i bruk av Opløyfjorden som resipient, bør det taes et mer konkret utgangspunkt når det gjelder industrietableringen. Basert på foreliggende opplysninger, synes Opløyfjorden å kunne tåle utslipp fra et landbasert anlegg som tilsvarer forurensing fra et normalt merdanlegg. Prosessvann kan hentes fra Opløyfjorden under forutsetning av et skille mellom inntaksdyp og utslippsdyp.

LITTERATUR

- Aure, J. og A. Stigebrandt 1988: Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havbruksplan, Møre og Romsdal, delrapp. 3, I. M & R Fylkeskommune, Molde.
- Bjerknes, V., L. G. Golmen, J. Sørensen, K. Sørgaard og P. B. Wikander 1987: Kriterier og metoder ved planlegging av fiskeoppdrett i sjøen. NIVA rapp. nr. 2063.
- ENERGIDATA 1990a: Anvendelse av varmepumper. Rammebetingelser. Sammendragsrapport ED 90-110 Energidata, Trondheim.
- ENERGIDATA 1990b: Anvendelse av varmepumper. Rammebetingelser, vedleggsrapport 2. Rapp. Energidata ED 90-113, Trondheim.
- Erga, S. R., E. Oug, J. Knutzen og J. Magnusson 1990: Eutrofitilstand i norske fjorder og kystfarvann med tilgrensende havområder. Rapp. nr. 2370 NIVA, Oslo.
- Farestveit, T. 1986: Tiltak for å redusere forurensnings-belastninger fra fiskeoppdrett. SFT rapp. nr.76.
- Faafeng, B. og H. O. Ibrenk 1989: Norske tilførsler av fosfor og nitrogen til Skagerrak. VANN nr 2/89.
- Golmen, L. G., I. Haugen, B. Rygg og J. Skei 1988: Indre Namsenfjorden i Nord-Trøndelag. Vurdering av vannkvaliteten. Rapp. nr. 2129 NIVA, Oslo.
- Golmen, L. G., H. Svendsen og S. Mikki 1989: Straumtilhøve og vassutskifting i Sandsfjorden og Hylsfjorden i Ryfylke. Norsk Fiskeoppdrett, under utg.
- Green, N. W. 1988: Felles overvåkningsgruppen (JMG)- Norge. Overvåking av miljøgifter i sjøvannsmiljø. Rapp. nr. 2139 NIVA, Oslo.
- Haakstad, M. 1979: The exchange of water between the Norwegian coastal current and the fjords in autumn. Rapp. 1979:4 Nordl. Distriktshøgskole Bodø.
- Ibrenk, H. O. og Braaten B. 1989. LENKA. Lukket oppdrettsteknologi. Metode for typifisering av sjøområder. NIVA-rapport nr 2269.
- Jaques, R. 1990. Landanlegg - fremtid for norsk lakseoppdrett ? Norsk Fiseoppdrett nr 2/90.
- Klinck, J. M., J. J. O'Brien og H. Svendsen, 1981: A Simple Model of Fjord and Coastal Circulation Interaction. Journ. Phys. Ocean, Vol. 11, nr12.
- Magnusson, A.K., R. Moi, A. Lohrmann, L. Petterson m. fl. 1983: Undervisningstokt 4-6 februar 1983 i Hardangerfjorden. Rapp. Geofysisk Institutt, Univ. i Bergen.

- Mork, M. 1981: Circulation phenomena and frontal dynamics of the Norwegian coastal current. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 302.
- Nordisk Ministerråd 1985: Energiøkonomisering i akvaintustrien. Rapp. Nord. Ministerråd, København.
- Nøttveit, S. 1990. Gassutskifting og oksygenering etter "nytt" prinsipp. *Norsk Fiskeoppdrett* nr 9/90.
- OCEANOR 1988: Lokalisering av landbasert oppdrettsanlegg. Forprosjekt. Rapp. OCN 88022 OCEANOR, Trondheim.
- Pedersen, A. (red.) 1982: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett. Rapp. FP 80802 NIVA, Oslo.
- Schwikowski, M, M. Schults, M. Steiger og W. Dannecker 1988: Contribution of Airborne Nitrate and Ammonium to the Eutrophication of the North Sea. ICES paper C. M. 1988/C:43.
- Shepherd, C. J. og N. R. Bromage 1989: *Intensive Fish Farming*. BSP Prof. Books, Oxford.
- Skei, J. 1986: Tiltaksorienterte miljøundersøkelser i Sørfjorden og Hardangerfjorden 1984-1985. Konklusjonsrapport. Rapp. nr. 1889 NIVA, Oslo.
- Smith, M. J. 1988. Elimination of waste materials from landbased fishfarming. Fordrag ved NITO konferanse: "Landbaserte oppdrettsanlegg og lukkede sjøanlegg".
- Tvinnerem, K. 1990. Stort NTNF-program for lukkede oppdrettsanlegg. *Norsk Fiskeoppdrett* nr 2/90.
- Aabel, J. P. 1990. Betydelig satsing på landbasert oppdrett i Canada. *Norsk Fiskeoppdrett* nr 6/90.
- Åsgård, B. 1989. Nytt system for oksygenering i landbasert oppdrettsanlegg. *Norsk Fiskeoppdrett* nr 11/89.

APPENDIKS 1. FIGURTEKSTER TILHØRENDE STRØMMÅLINGENE

- Fig. A1. Statistisk fordeling av alle strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8-17/9 1989. Observasjonene av strømfart er fordelt i 10 graders retningsintervaller. "rosene" viser h.h.v. antall obs., antall obs. ganget med middelfart ("fluks") samt midlere strømstyrke innenfor hvert intervall. En prosentvis strømfordelingskurve er også vist.
- Fig. A2. Tidsserie av strømfart (cm/s) i 4 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 17/9 1989. Dato langs X-aksen.
- Fig. A3. Tidsserie av observert temperatur i 4 m dyp, Rigg 1. Periode 23/8 - 17/9 1989.
- Fig. A4. Tidsserie av observert salinitet i 4 m dyp, Rigg 1. Periode 23/8 - 17/9 1989.
- Fig. A5. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, Rigg 2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989. Se tekstforklaring til Fig. A1.
- Fig. A6. Tidsserie av observert strømfart i 4 m dyp, Rigg R2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 8/9 1989.
- Fig. A7. Fortsettelse av Fig. A6. Periode 9/9 - 18/9 1989.
- Fig. A8. Tidsserie av observert temperatur i 4 m dyp, Rigg (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989.
- Fig. A9. Tidsserie av observert salinitet i 4 m dyp, Rigg 2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989.
- Fig. A10. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R3 (Salviken). Periode 17/9 - 27/9 1989. Se figurtekst til Fig. A1 for forklaring.
- Fig. A11. Tidsserie av observert strømhastighet i 4 m dyp, posisjon R3 (Salviken). Periode 9/9 - 27/9 1989.
- Fig. A12. Tidsserie av observert temperatur og salinitet i 4 m dyp, Rigg R3 (Salviken). Periode 9/9 - 27/9 1989.
- Fig. A13. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R4 (Risviken/ Guroneset). Periode 18/9 - 27/9 1989. Se figurtekst til Fig. A1 for forklaring.
- Fig. A14. Tidsserie av observert temperatur, salinitet og strømfart i 4 m dyp, posisjon R4 (Risviken/Guroneset). Periode 18/9 - 27/9 1989.
- Fig. A15. Tidsserie av observert strømfart i 18 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 10/9 1989.
- Fig. A16. Tidsserie av observert strømfart i 18 m dyp, posisjon R2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 10/9 1989.
- Fig. A17. Strømobservasjonene i 18 m dyp (R1 og R2) framstilt som pilplott. Hver observasjon er plottet som en "pil" med skalert lengde (= fart), og strømreretning langs tidsaksen. Dataene er på forhånd lavpassfiltrert, for å fjerne en del høyfrekvente signaler (med periode < 1 time).
- Fig. A18. Tidsserier av observert temperatur i 18 m dyp i Opløyfjorden (R1 og R2). Periode 23/8 - 10/9 1989.

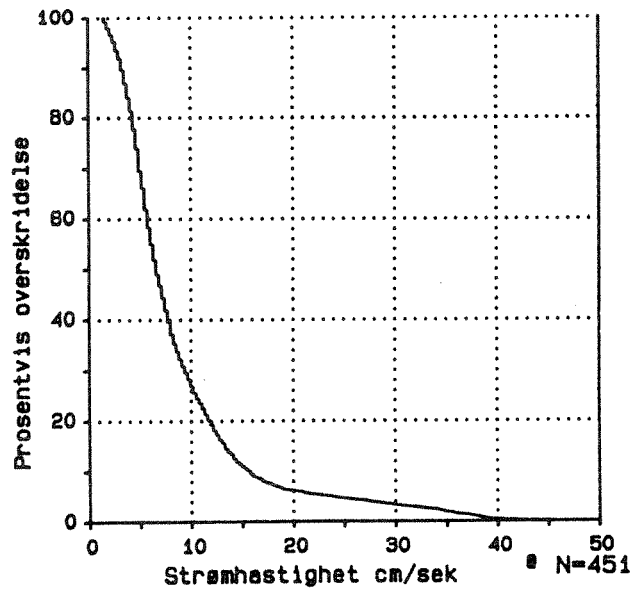
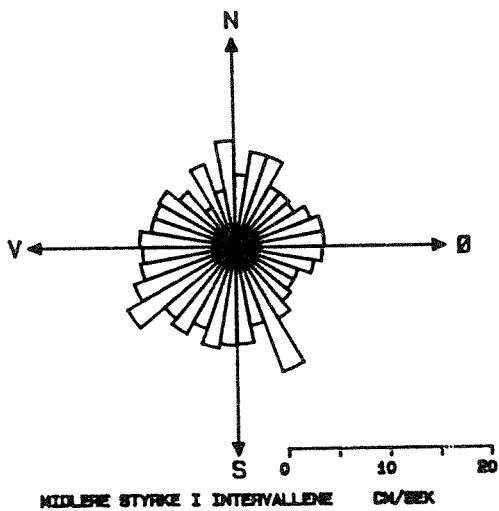
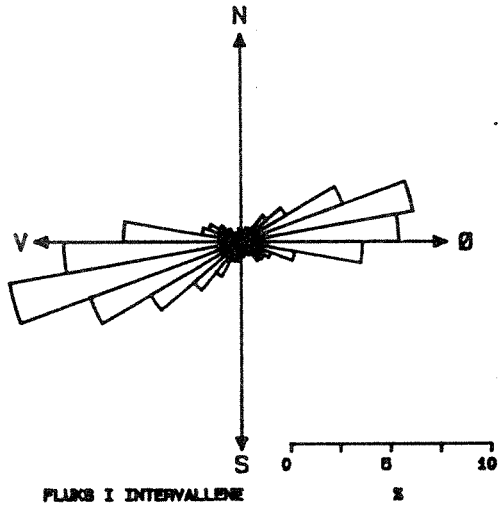
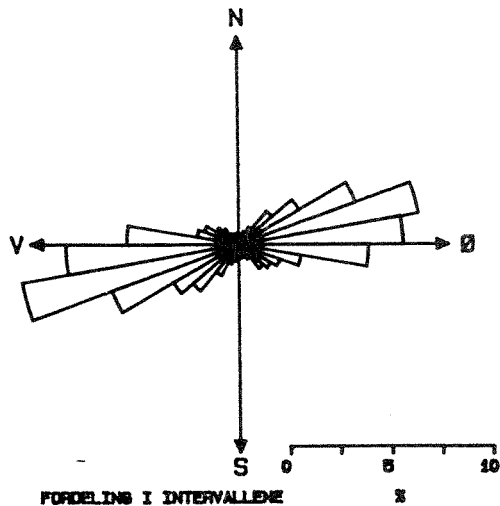


Fig. A1. Statistisk fordeling av alle strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8-17/9 1989. Observasjonene av strømfart er fordelt i 10 graders retningsintervaller. "rosene" viser h.h.v. antall obs., antall obs. ganget med middelfart ("fluks") samt midlere strømstyrke innenfor hvert intervall. En prosentvis strømfordelingskurve er også vist.

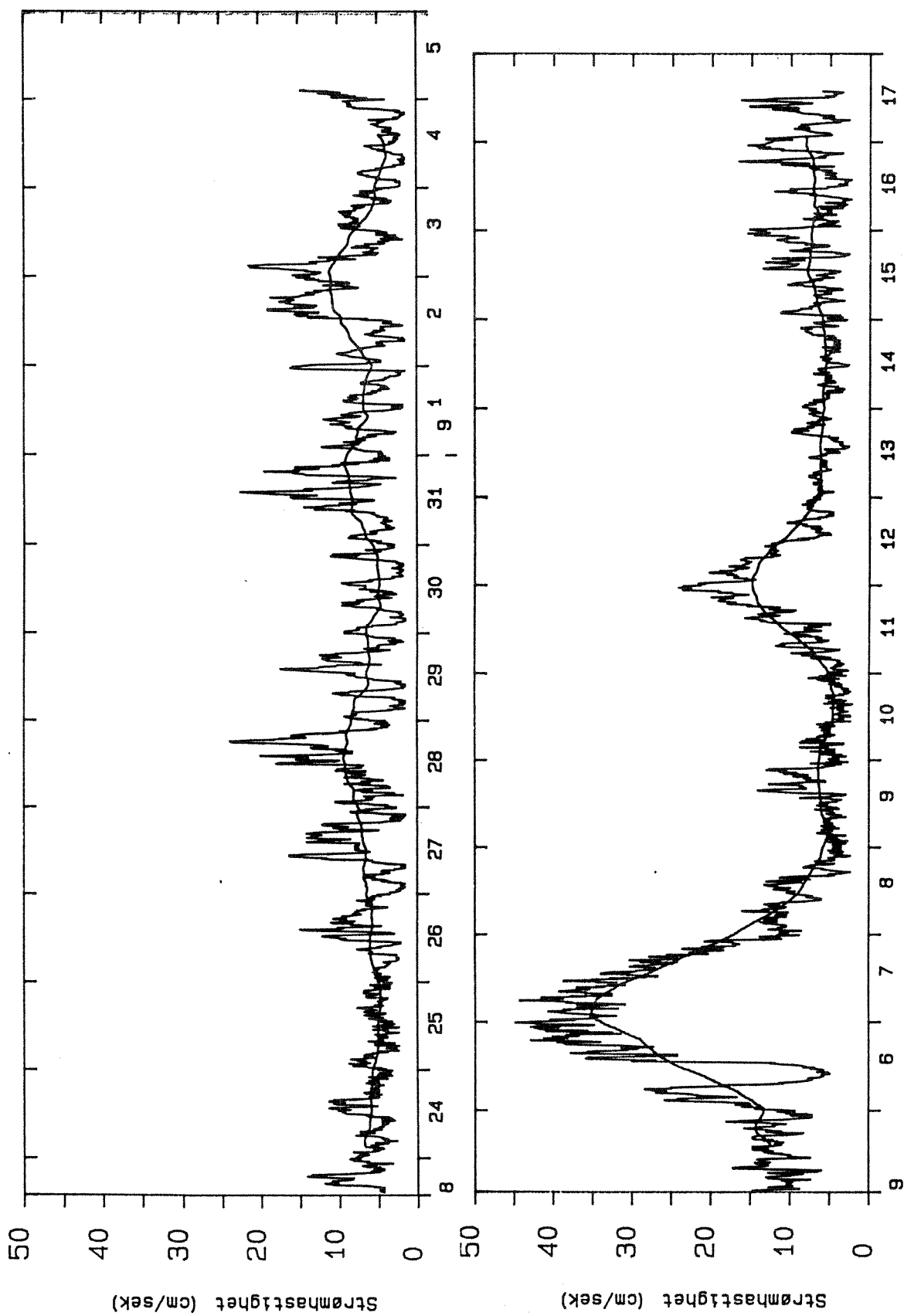


Fig. A2. Tidsserie av strømfart (cm/s) i 4 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 17/9 1989. Dato langs X-aksen.

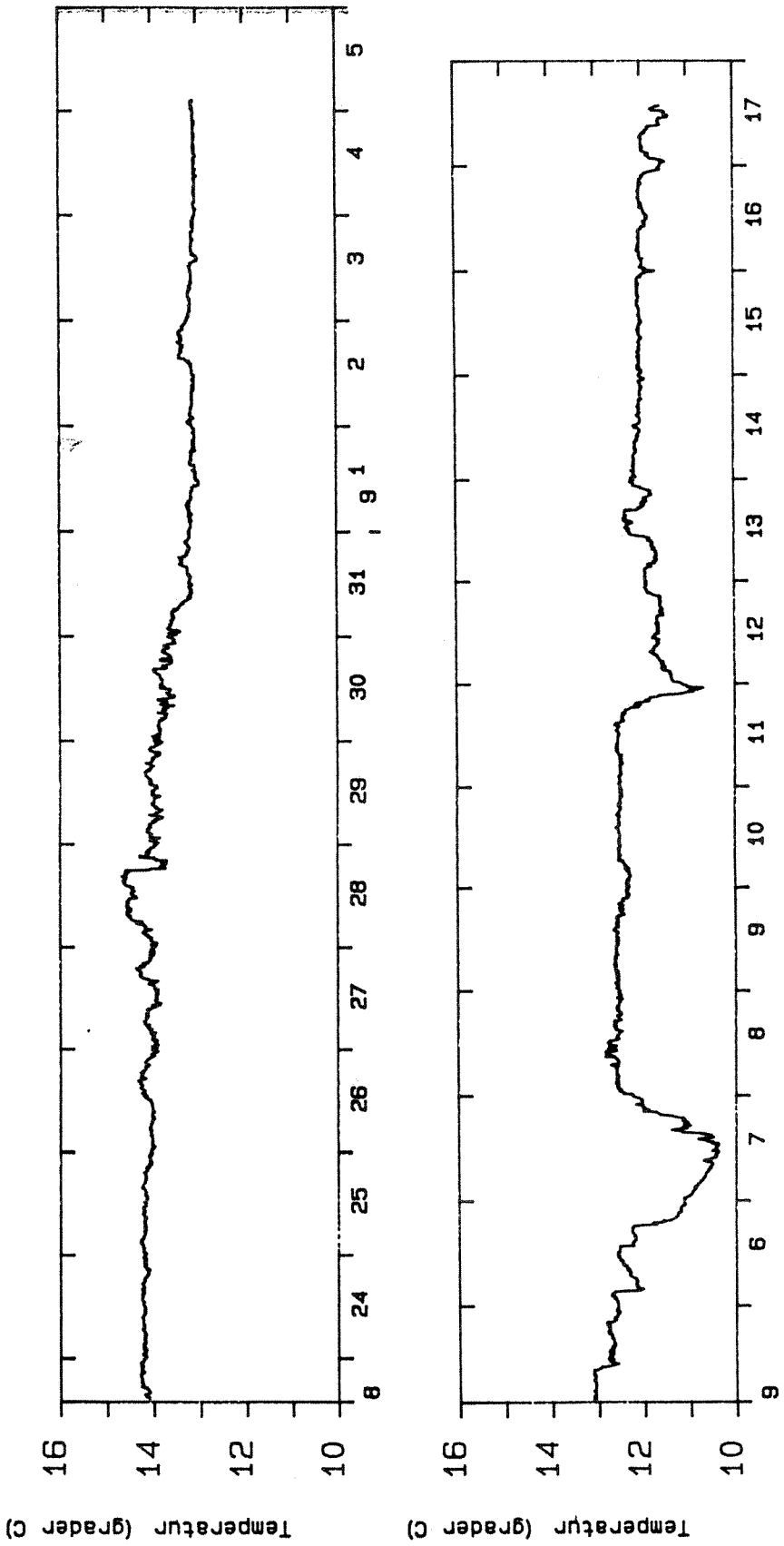


Fig. A3. Tidsserie av observert temperatur i 4 m dyp, Rigg 1.
 Periode 23/8 - 17/9 1989.

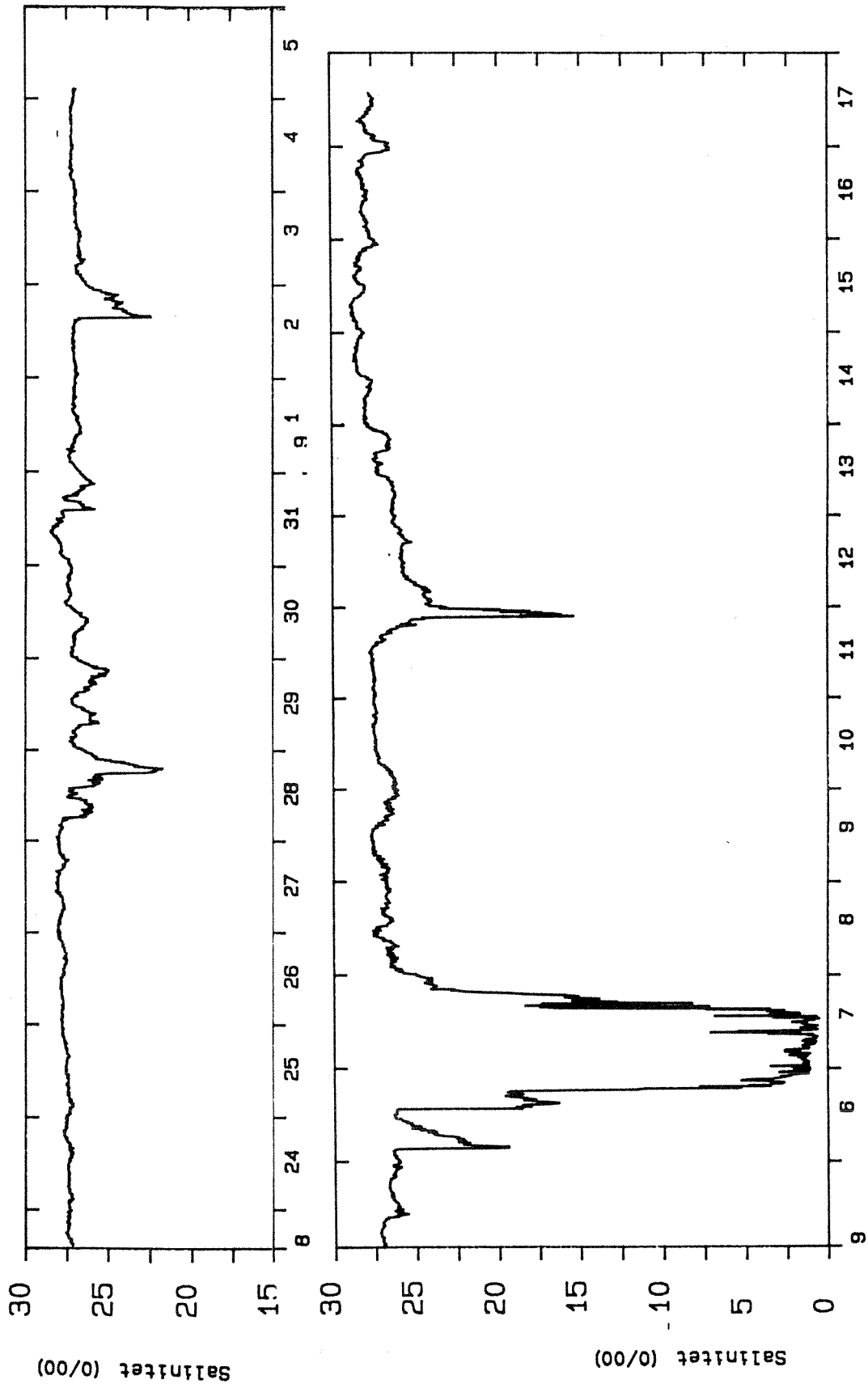


Fig. A4. Tidsserie av observert salinitet i 4 m dyp, Rigg 1.
 Periode 23/8 - 17/9 1989.

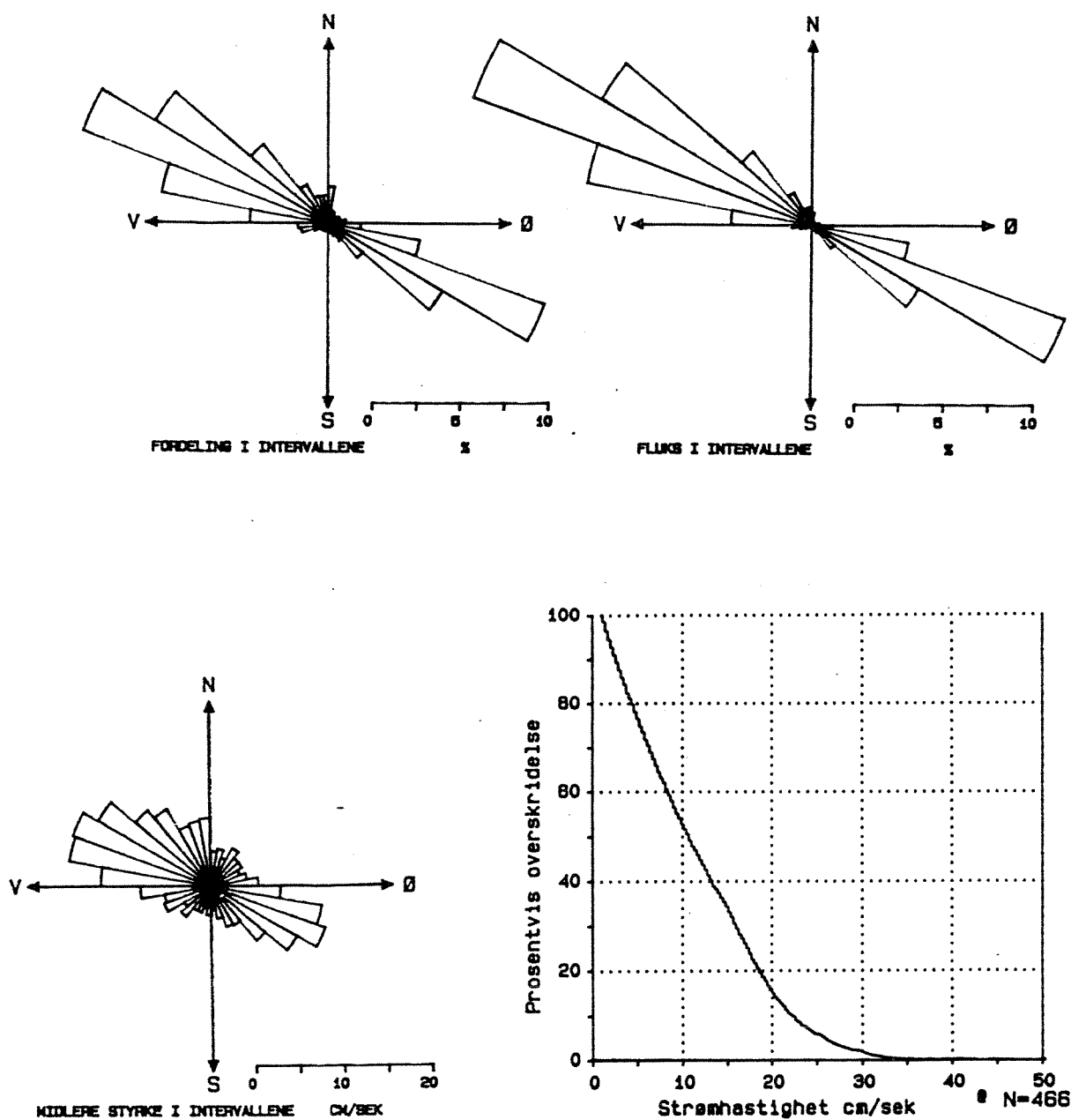


Fig. A5. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, Rigg 2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989. Se tekstforklaring til Fig. A1.

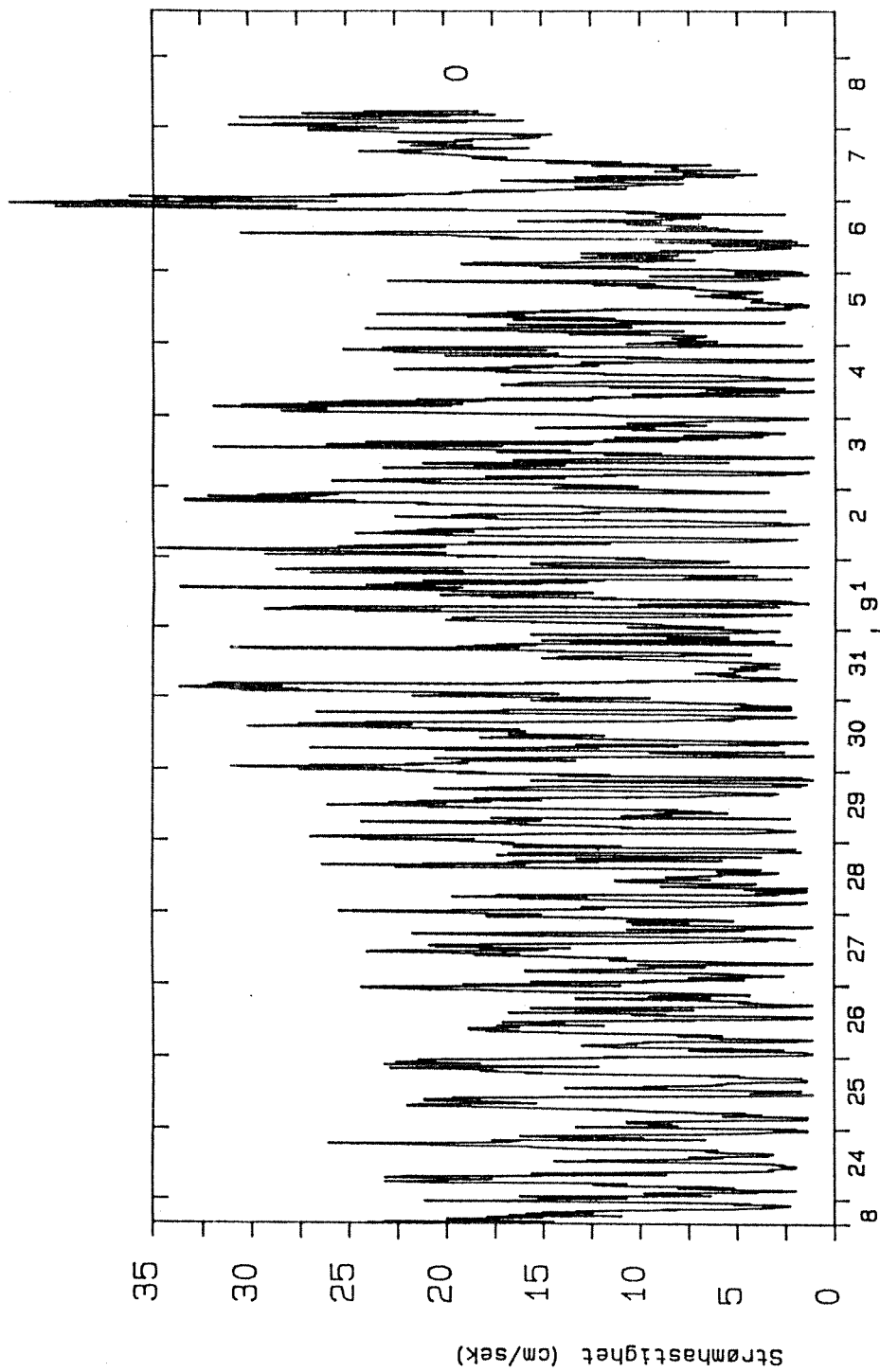


Fig. A6. Tidsserie av observert strømfart i 4 m dyp, Rigg R2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 8/9 1989.

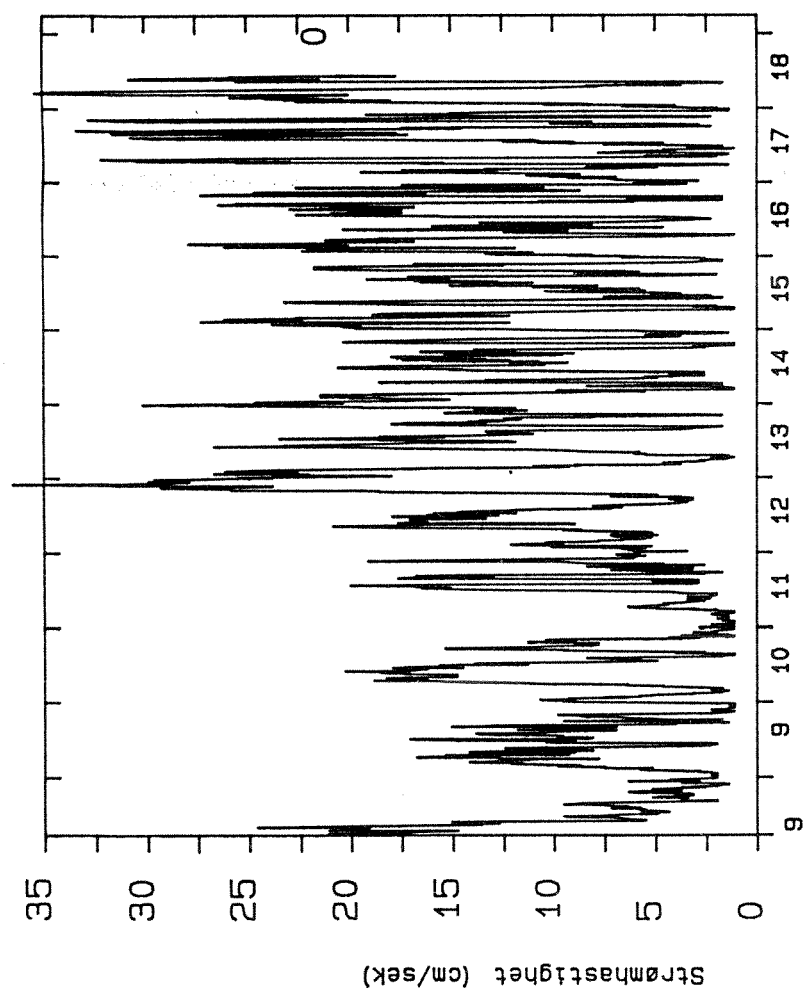


Fig. A7. Fortsettelse av Fig. A6. Periode 9/9 - 18/9 1989.

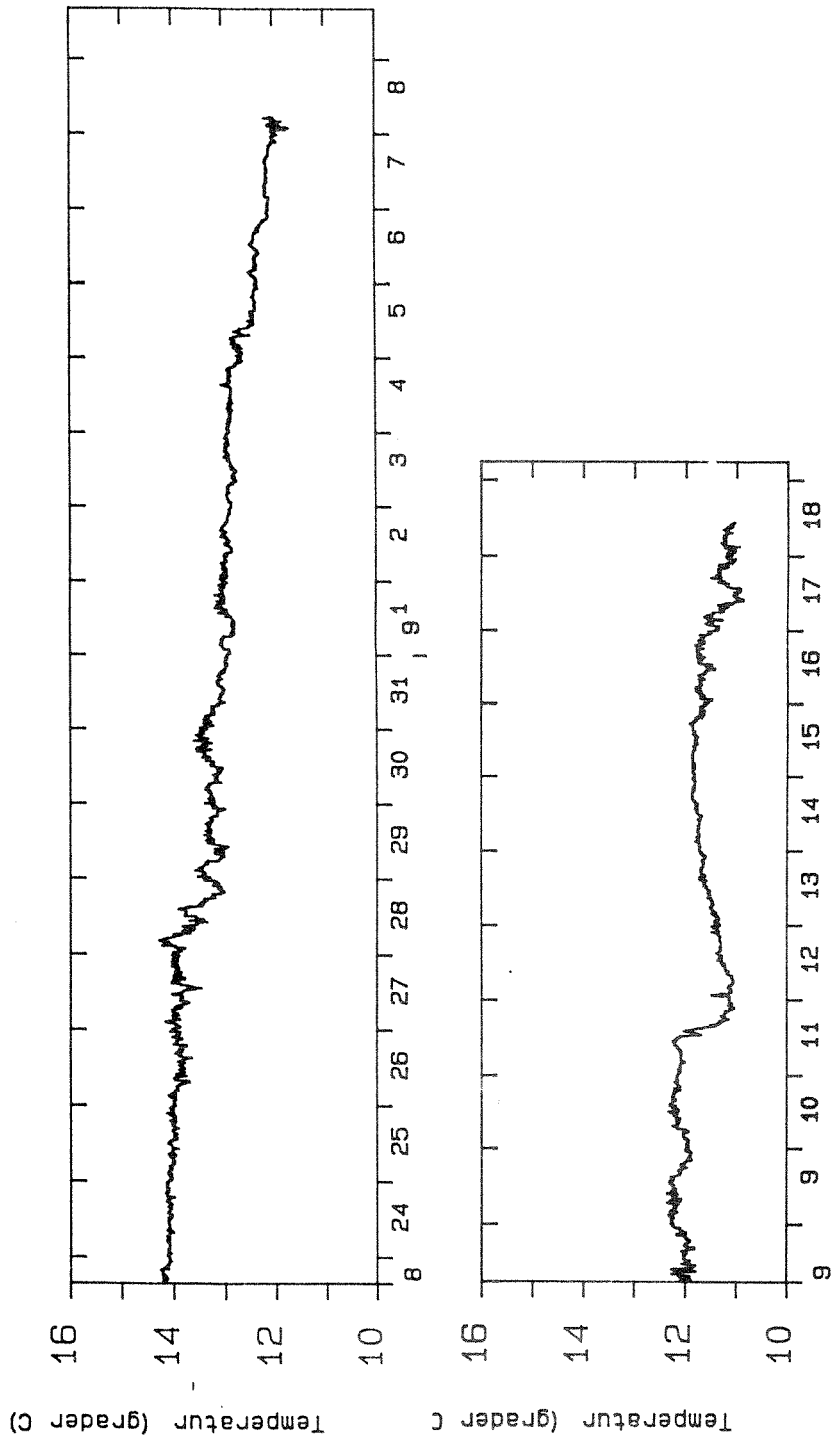


Fig. A8. Tidsserie av observert temperatur i 4 m dyp, Rigg 2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989.

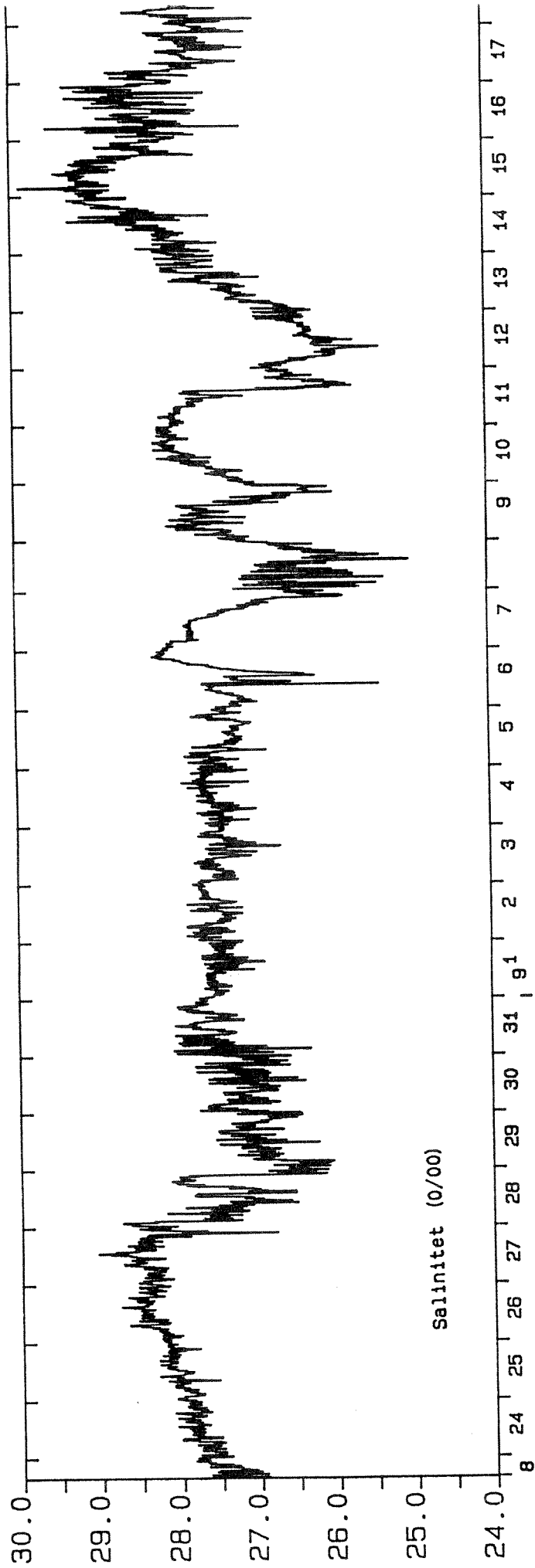


Fig. A9. Tidsserie av observert salinitet i 4 m dyp, Rigg 2 (ytre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 18/9 1989.

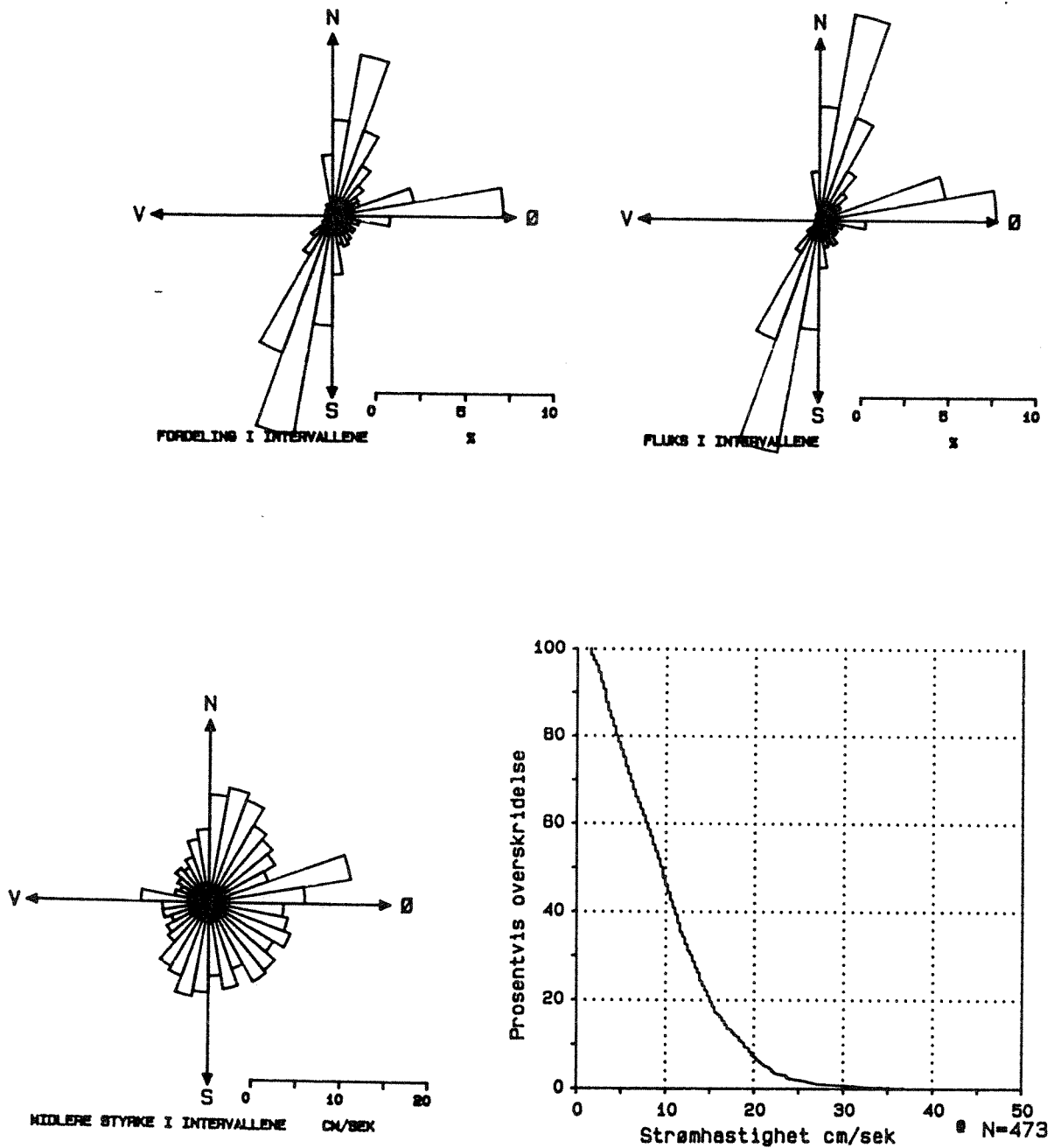


Fig. A10. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R3 (Salviken). Periode 17/9 - 27/9 1989. Se figurtekst til Fig. A1 for forklaring.

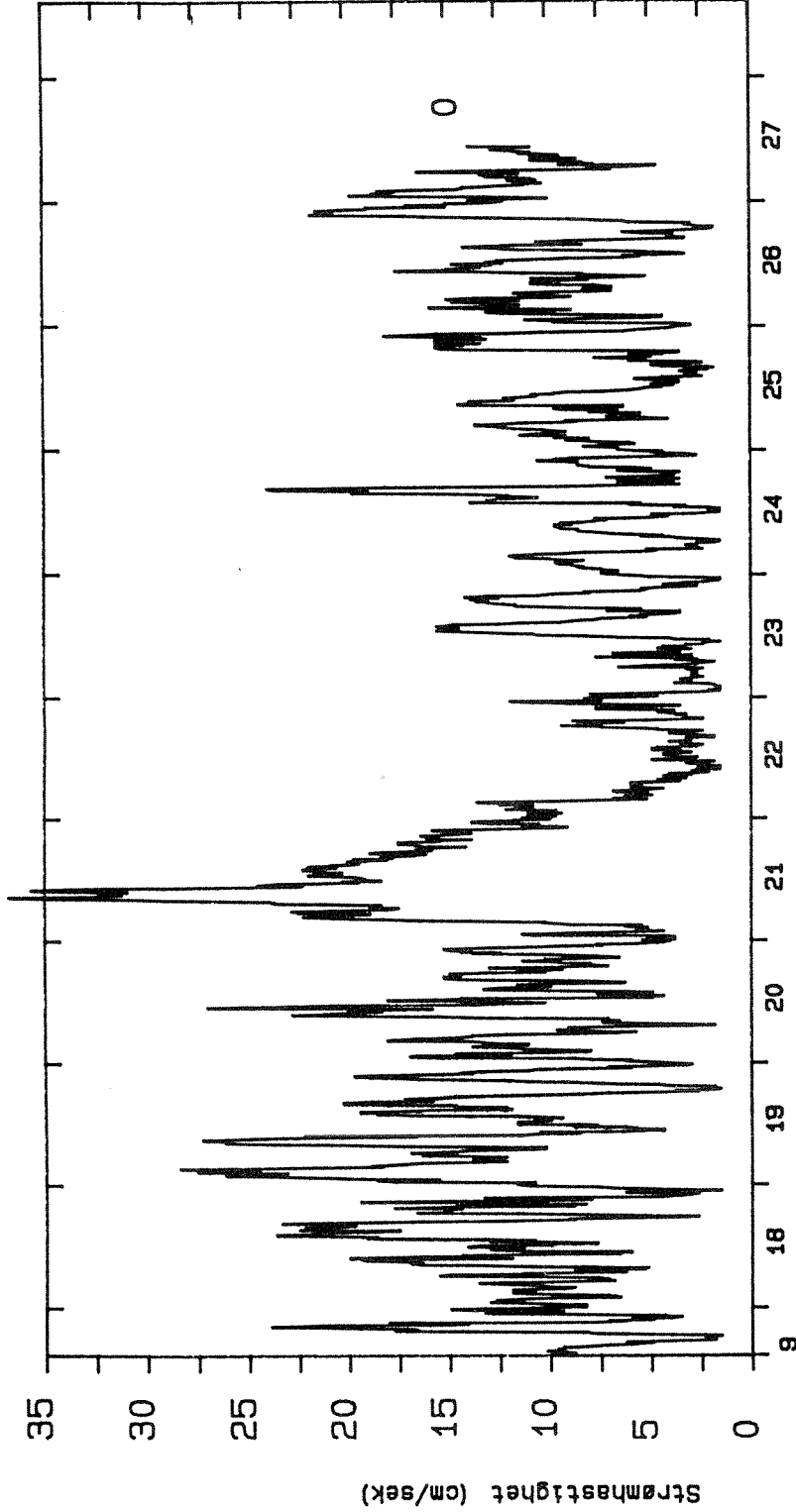


Fig. A11. Tidsserie av observert strømhastighet i 4 m dyp, posisjon R3 (Salviken). Periode 9/9 - 27/9 1989.

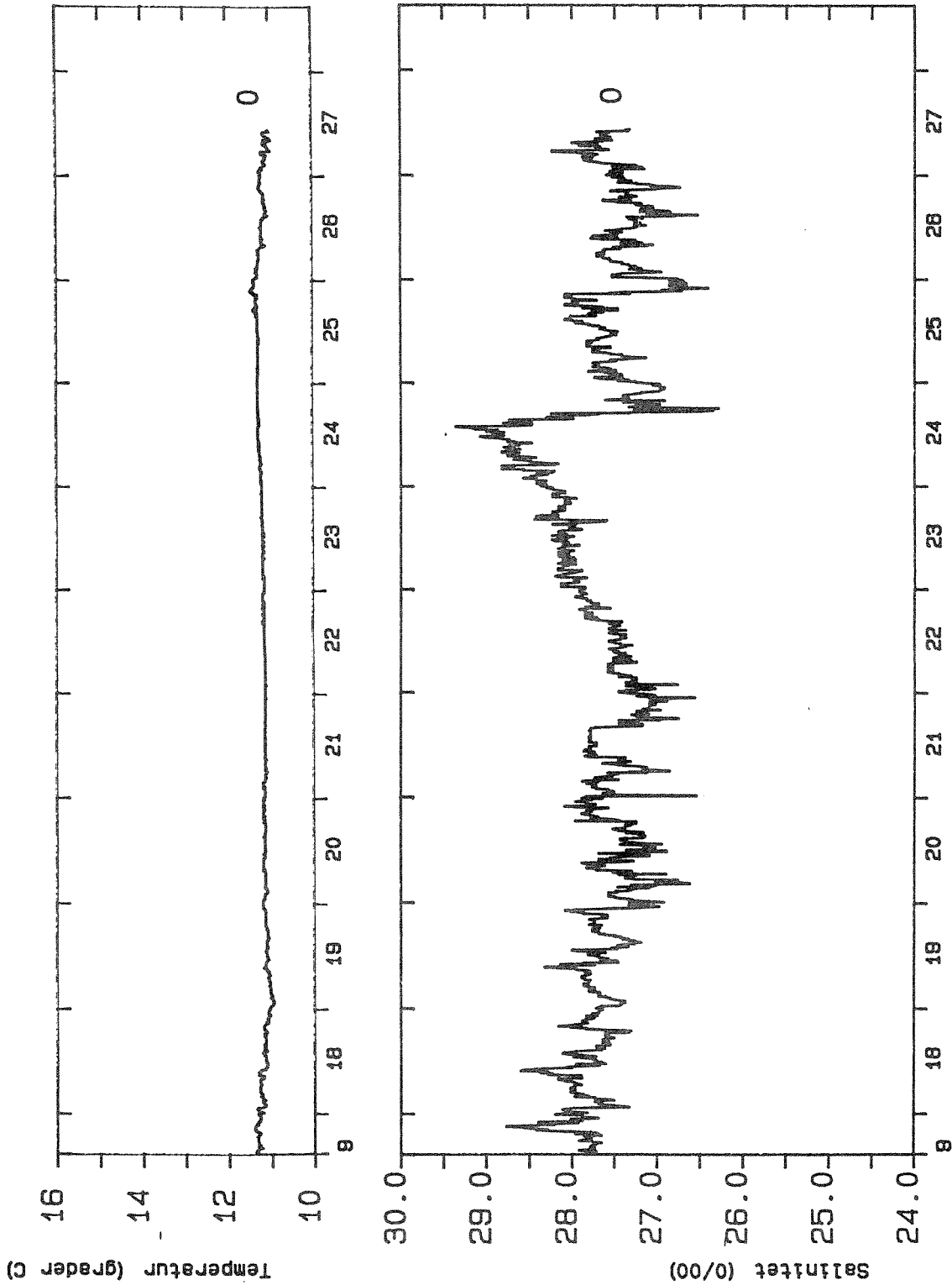


Fig. A12. Tidsserie av observert temperatur og salinitet i 4 m dyp, Rigg R3 (Salviken). Periode 9/9 - 27/9 1989.

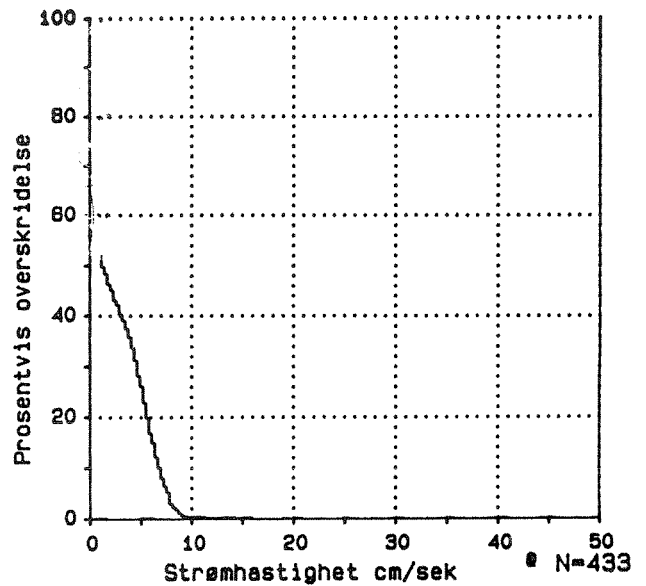
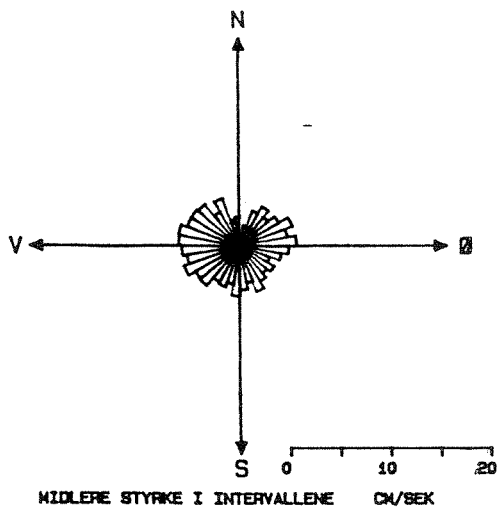
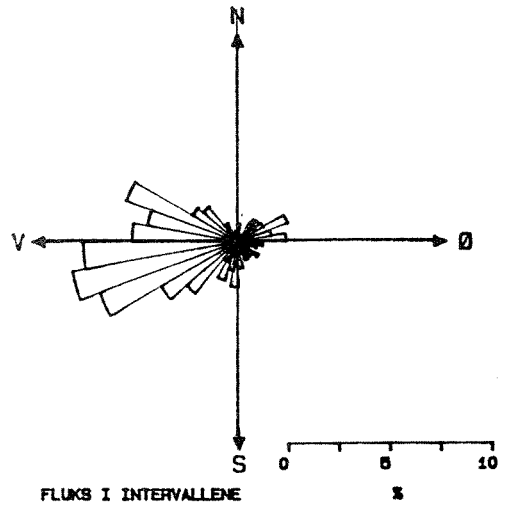
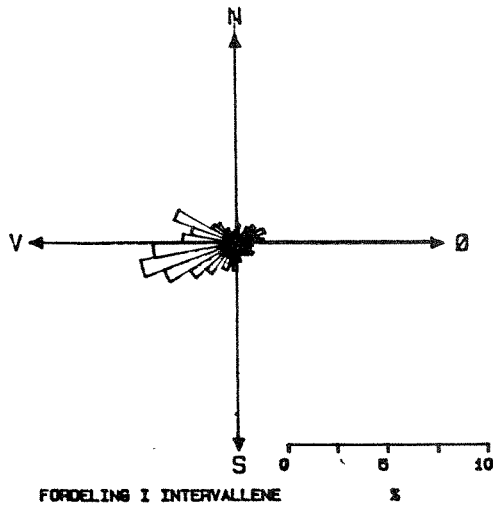


Fig. A13. Statistisk fordeling av strømobservasjonene i 4 m dyp, posisjon R4 (Risviken/Guroneset). Periode 18/9 - 27/9 1989. Se figurtekst til Fig. A1 for forklaring.

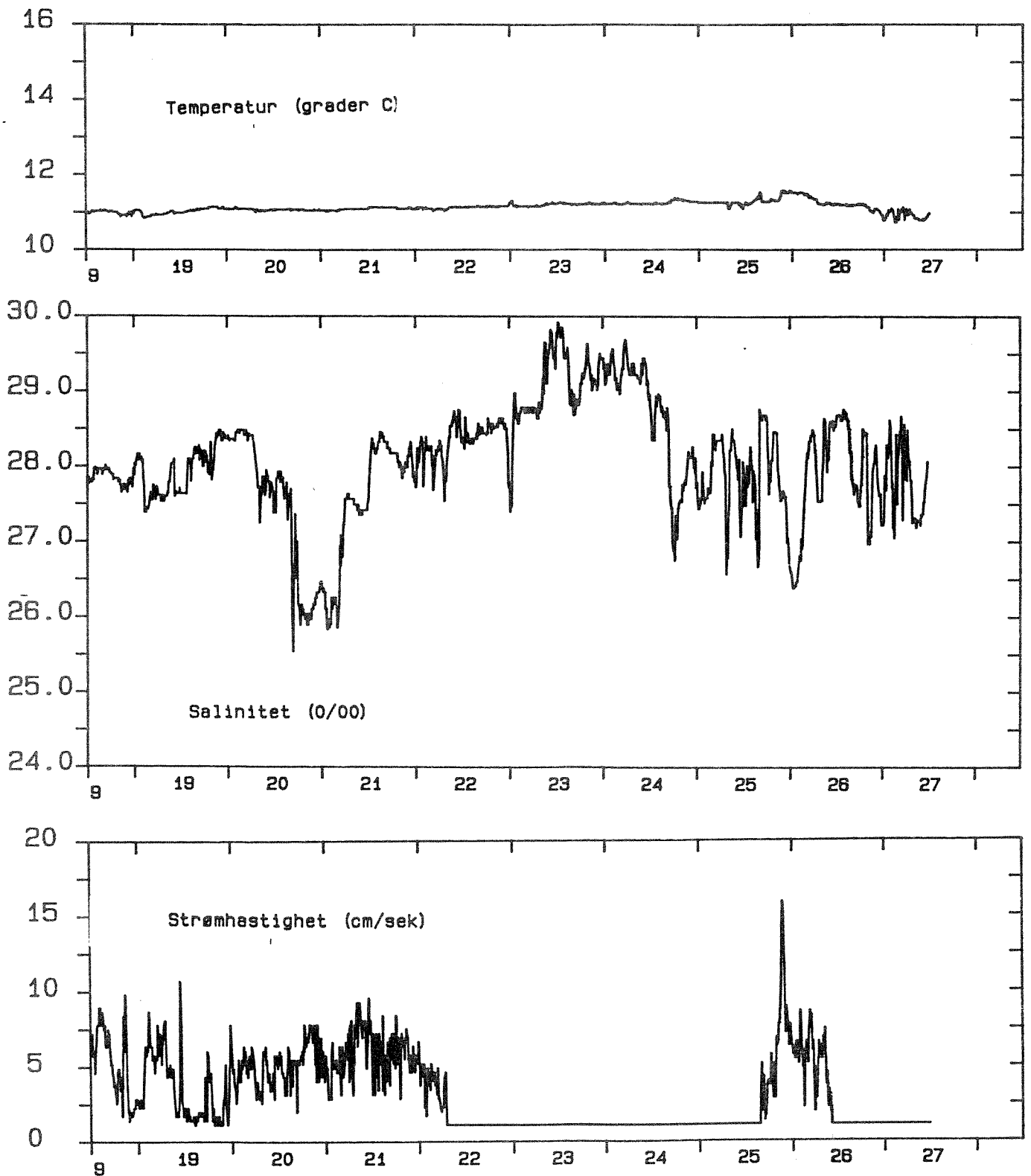


Fig. A14. Tidsserie av observert temperatur, salinitet og strømfart i 4 m dyp, posisjon R4 (Risviken/Guroneset). Periode 18/9 - 27/9 1989.

Gytre S4, OpLoy 23/8 -- 1989 18 m dyp

M=Gys4 N= 2047 FUVT D= 12 T=890823-1300 Z=18 PS=OpLoy R1 S4

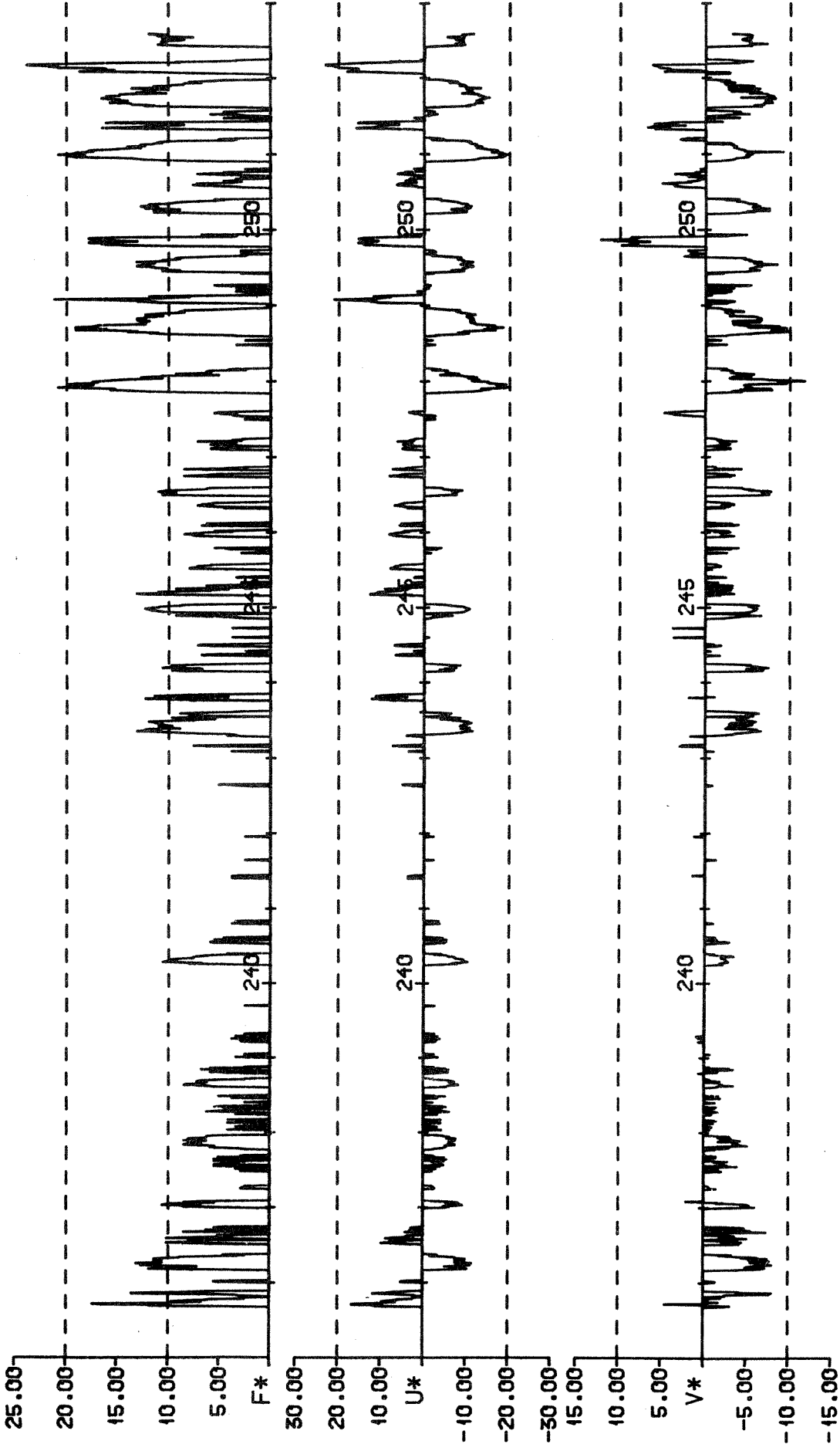


Fig. A15. Tidsserie av observert strømfart i 18 m dyp, posisjon R1 (indre Opløyfjorden). Periode 23/8 - 10/9 1989.

Opløy, Gytre S3, Rigg 2 18 m 23/8--17 dogn

M=GYs3 N= 2047 FUVT

D= 12 T=890823-1300 Z=18m

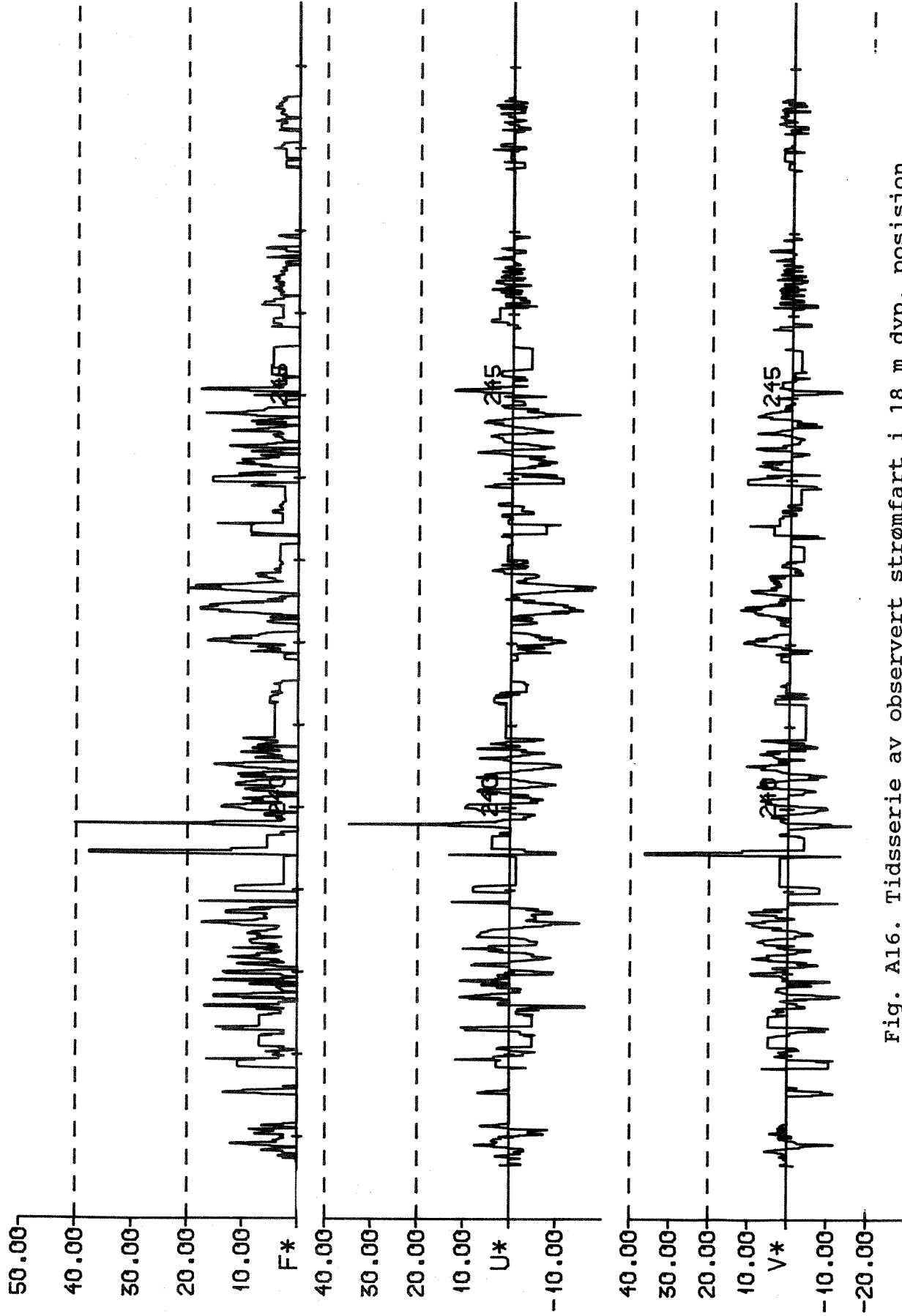
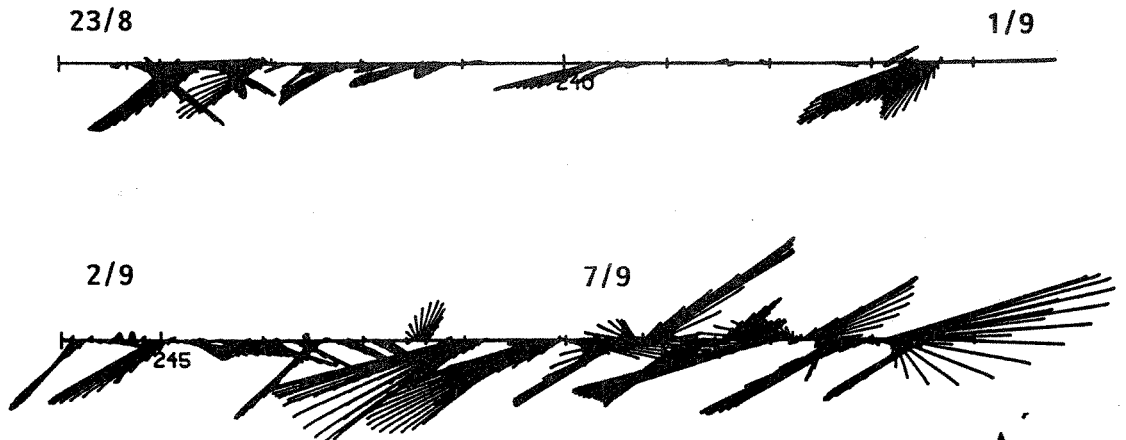


Fig. A16. Tidsserie av observert strømfart i 18 m dyp, posisjon R2 (ytre opløysfjorden). Periode 23/8 - 10/9 1989.

Gytte S4, R1 18. Low-pass $t_c=2$ tlm

M=Gys4 N= 2037 FUVT

D= 12 T=89 823-14 0 Z=18



Gytte S3, 18 m Butler low-pass, $t_c=2$ tlm

M=gys3 N= 2037 FUVT

D= 12 T=89 823-14 0 Z=18

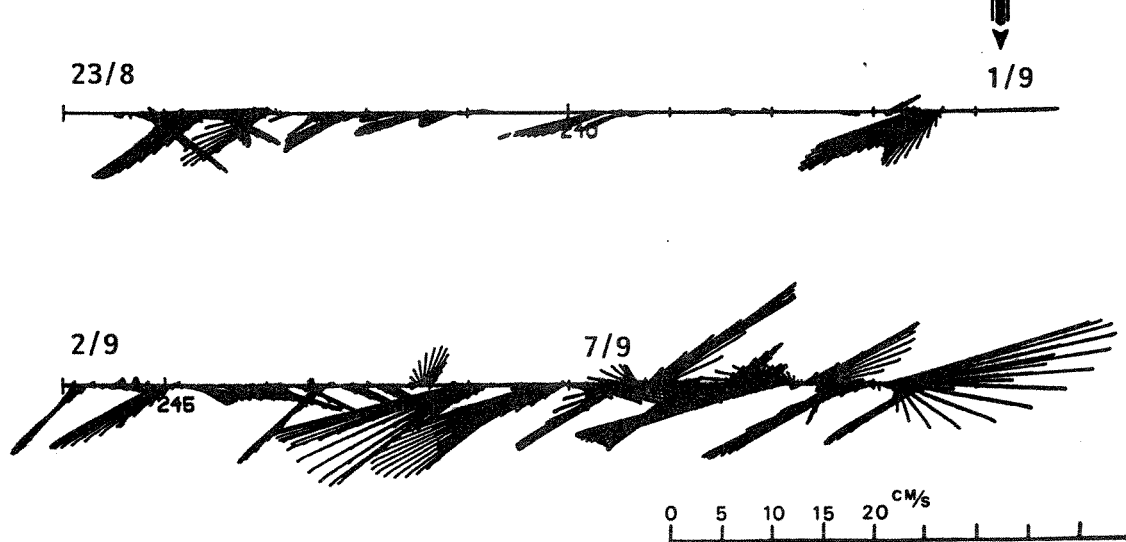
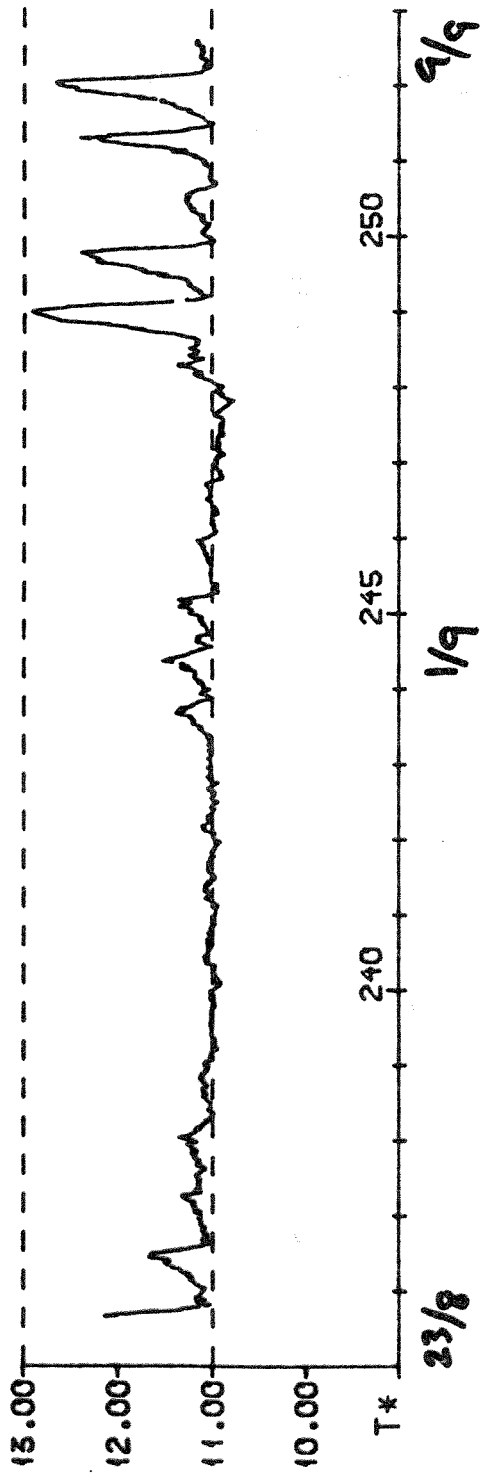


Fig. A17. Strømobservasjonene i 18 m dyp (R1 og R2) framstilt som pilplott. Hver observasjon er plottet som en "pil" med skalert lengde (=fart), og strømretning langs tidsaksen. Dataene er på forhånd lavpassfiltrert, for å fjerne en del høyfrekvente signaler (med periode < 1 time).

OpLoy S4. R1

M=S4 N= 2047 FUVT D= 12 T=890823-1300 Z=18 PS=OpLoy RL S4



OpLoy R2. S3 23/8 ---89

M=GYS3 N= 2047 FUVT D= 12 T=890823-1300 Z=18 PS=OpLoy R2 S3

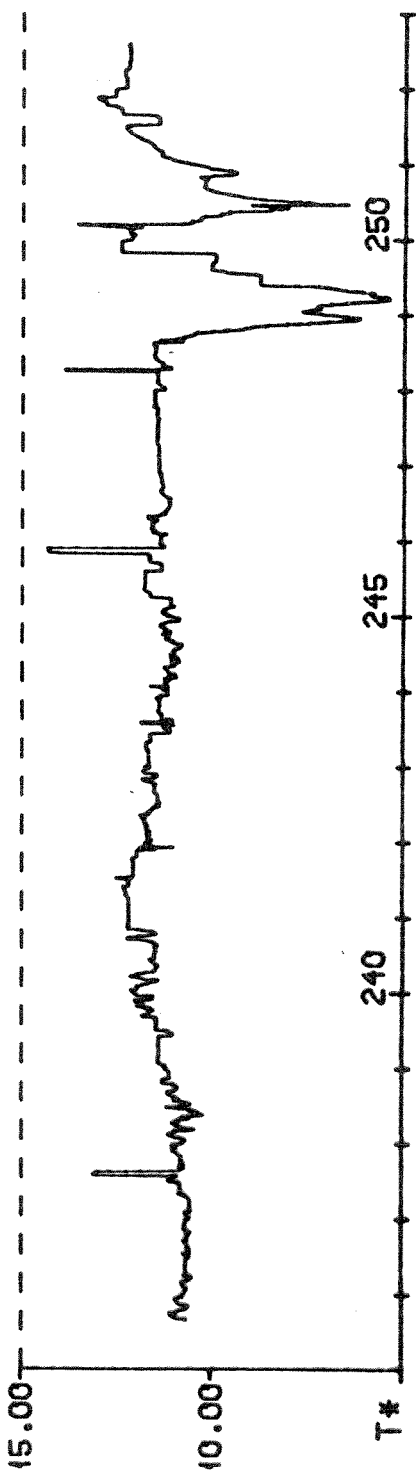


Fig. A18. Tidsserier av observert temperatur i 18 m dyp i Opløvfjorden (R1 og R2). Periode 23/8 - 10/9 1989.

APPENDIKS 2

STA	TTID	DUP	TEMP	SALT	OX	OXSAT	AOU	%SAT
1 * 89 *	6 * 29	15.	10.20	32.57	7.25	6.39	-87	113.6
1 * 89 *	6 * 29	50.	6.90	33.41	6.83	6.85	-.02	99.8
1 * 89 *	6 * 29	100.	7.60	34.66	5.85	6.68	1.84	87.5
1 * 89 *	6 * 29	150.	7.50	34.75	5.42	6.69	1.27	81.0
2 * 89 *	6 * 29	15.	8.70	32.20	7.11	6.62	-4.49	107.6
2 * 89 *	6 * 29	50.	6.90	33.29	6.69	6.85	-.16	97.4
2 * 89 *	6 * 29	100.	7.60	34.30	5.92	6.70	-.78	88.3
2 * 89 *	6 * 29	150.	7.75	34.31	5.85	6.67	-.82	87.6
2 * 89 *	6 * 29	190.	7.80	34.42	4.72	6.66	1.94	70.8
3 * 89 *	6 * 29	0.	13.00	7.17	7.68	7.04	-.63	109.0
3 * 89 *	6 * 29	1.	12.60	23.17	7.11	6.43	-.68	110.6
3 * 89 *	6 * 29	2.	12.50	24.37	7.18	6.40	-.79	112.3
3 * 89 *	6 * 29	3.	12.00	27.17	7.04	6.35	-.69	110.8
3 * 89 *	6 * 29	4.	11.50	28.67	7.04	6.36	-.68	110.7
3 * 89 *	6 * 29	5.	11.10	29.17	7.11	6.40	-.71	111.2
3 * 89 *	6 * 29	6.	10.00	30.77	6.90	6.49	-.41	106.3
3 * 89 *	6 * 29	7.	9.70	31.07	6.90	6.52	-.38	105.8
3 * 89 *	6 * 29	8.	9.20	31.17	6.83	6.59	-.24	103.7
3 * 89 *	6 * 29	9.	9.10	31.17	6.83	6.60	-.23	103.4
3 * 89 *	6 * 29	10.	9.30	31.17	6.97	6.57	-.40	106.0
3 * 89 *	6 * 29	11.	8.90	31.67	6.97	6.61	-.36	105.4
3 * 89 *	6 * 29	12.	8.50	31.67	6.69	6.67	-.02	100.3
3 * 89 *	6 * 29	13.	8.00	31.97	6.97	6.74	-.24	103.5
3 * 89 *	6 * 29	14.	8.00	31.97	6.34	6.74	-.40	94.1
3 * 89 *	6 * 29	15.	8.00	31.97	6.48	6.74	-.26	96.2
3 * 89 *	6 * 29	16.	8.00	32.27	5.99	6.79	-.80	88.2
3 * 89 *	6 * 29	17.	7.60	32.27	5.99	6.83	-.37	83.3
3 * 89 *	6 * 29	18.	7.20	32.67	2.96	6.83	-.39	106.2
4 * 89 *	6 * 29	16.	7.00	33.17	7.04	6.84	-.20	102.9
4 * 89 *	6 * 29	17.	7.00	33.17	6.69	6.30	-.39	106.2
5 * 89 *	7 * 24	16.	7.40	33.35	6.69	6.77	-.08	98.8
5 * 89 *	7 * 24	50.	7.40	33.35	6.16	6.66	-.80	92.6
5 * 89 *	7 * 24	100.	7.80	34.50	5.49	6.65	1.13	82.6
5 * 89 *	7 * 24	150.	10.20	32.30	6.69	6.40	-.27	96.1
6 * 89 *	7 * 24	100.	7.60	34.21	6.16	6.70	-.54	92.0
6 * 89 *	7 * 24	150.	7.10	33.35	6.55	6.82	-.27	96.1
6 * 89 *	7 * 24	190.	8.00	34.47	4.44	6.63	2.19	66.9
7 * 89 *	7 * 24	5.	12.90	26.50	6.83	6.26	-.57	109.1
7 * 89 *	7 * 24	16.	9.40	32.20	6.09	6.52	-.42	93.5
7 * 89 *	7 * 24	24.	9.50	33.10	4.23	6.47	2.24	65.4
8 * 89 *	7 * 24	16.	10.60	32.25	6.69	6.34	-.35	105.5
8 * 89 *	7 * 24	50.	7.80	33.70	6.41	6.69	-.28	95.7
8 * 89 *	7 * 24	100.	14.10	22.40	6.76	6.26	-.50	108.0
9 * 89 *	8 * 24	5.	13.80	28.40	6.62	6.07	-.55	109.1
9 * 89 *	8 * 24	10.	13.10	29.50	6.62	6.12	-.50	108.2
9 * 89 *	8 * 24	15.	11.40	31.40	6.76	6.27	-.49	107.9
9 * 89 *	8 * 24	20.	11.00	32.00	6.90	6.30	-.60	109.6
9 * 89 *	8 * 24	50.	7.90	33.04	6.48	6.71	-.23	96.6
9 * 89 *	8 * 24	100.	7.50	34.59	5.92	6.70	-.78	88.3
9 * 89 *	8 * 24	150.	7.40	34.72	5.49	6.71	1.22	81.9
10 * 89 *	8 * 24	15.	11.70	30.90	6.62	6.25	-.37	106.0
10 * 89 *	8 * 24	50.	7.60	34.46	6.27	6.69	-.42	93.7
10 * 89 *	8 * 24	100.	7.60	34.37	5.63	6.69	1.06	84.2
10 * 89 *	8 * 24	150.	7.80	34.41	5.56	6.69	1.13	83.1

BRANDSO/GANDSOE	OX	OXSAT	AOU	%SAT
BRANDSO/GANDSOE	6.69	6.69	1.06	84.2
INDRE OPLØYFJORDEN	6.55	6.55	-0.48	107.9
INDRE OPLØYFJORDEN	6.26	6.26	-.00	100.1
INDRE OPLØYFJORDEN	6.25	6.25	2.42	62.8
SOER FOR MONSOY	6.75	6.75	-0.37	105.9
SOER FOR MONSOY	6.48	6.48	-.48	92.9
Digern.oddn	5.99	6.28	-.29	95.4
Digern.oddn	6.41	6.41	-.42	93.4
Digern.oddn	5.99	6.41	-.42	93.4
Digern.oddn	6.61	6.61	-.75	91.6
Digern.oddn	5.85	6.62	-.78	88.3
Brandsoe/Gardsoe	6.36	6.36	-.03	99.5
Brandsoe/Gardsoe	6.36	6.36	-.03	99.5
Brandsoe/Gardsoe	6.36	6.36	-.09	98.6
Brandsoe/Gardsoe	5.85	6.59	-.74	88.7
Brandsoe/Gardsoe	6.63	6.63	1.42	78.6
Brandsoe/Gardsoe	6.66	6.66	1.38	79.3
Brandsoe/Gardsoe	6.62	6.62	-1.15	102.3
Indre Opløefj.	5.77	6.29	-.51	91.8
Indre Opløefj.	6.29	6.29	-.87	86.2
Indre Opløefj.	6.29	6.29	-.87	86.2
Soer Monsoey	6.46	6.46	-.14	97.8
Soer Monsoey	6.46	6.46	-.14	97.8
Soer Monsoey	6.41	6.41	-.21	103.3
1, Digernesodden	6.62	6.62	****	****
1, Digernesodden	6.62	6.62	****	****
1, Digernesodden	6.47	6.47	-.50	107.8
1, Digernesodden	6.97	6.97	-.27	104.2
2, Brandsoe Gardsoe	6.83	6.56	-.27	109.7
2, Brandsoe Gardsoe	6.36	6.36	-.61	109.7
2, Brandsoe Gardsoe	6.13	6.42	-.29	95.5
2, Brandsoe Gardsoe	6.42	6.42	-.29	99.7
2, Brandsoe Gardsoe	6.61	6.61	1.05	84.1
2, Brandsoe Gardsoe	6.64	6.64	1.85	72.1
3, Indre Opløefjorden	6.55	6.42	-1.13	102.0
3, Indre Opløefjorden	6.34	6.35	-.01	99.8
3, Indre Opløefjorden	6.33	6.33	1.54	75.7
4, Soer Moensoy	6.40	6.40	-.36	105.6
4, Soer Moensoy	6.40	6.40	-.36	105.6
4, Soer Moensoy	6.41	6.40	-.01	100.1
1, Digernesodden	6.92	6.92	-.23	96.7
1, Digernesodden	6.13	6.63	-.50	92.5
1, Digernesodden	5.92	6.56	-.64	90.2
1, Digernesodden	5.56	6.60	1.03	84.3
2, Brandsoe Gardsoe	6.86	6.86	6.86	49.6
2, Brandsoe Gardsoe	6.86	6.86	-.03	99.5
2, Brandsoe Gardsoe	6.61	6.58	-.46	93.1
2, Brandsoe Gardsoe	6.61	6.61	-.70	89.5
2, Brandsoe Gardsoe	6.63	6.63	1.84	72.2
2, Brandsoe Gardsoe	6.66	6.66	2.79	58.2
3, Indre Opløefjorden	6.62	6.86	-.24	96.5
3, Indre Opløefjorden	6.41	6.85	-.44	93.6
3, Indre Opløefjorden	6.41	6.77	2.41	64.5
4, Soer Moensoy, -99.	6.65	6.85	-.30	95.6
4, Soer Moensoy, -99.	6.60	6.60	-.19	97.1
ST. 2 BRANDSO/GANDSO	6.68	6.68	-.65	109.7
ST. 2 BRANDSO/GANDSO	6.68	6.68	-.65	109.7
INDRE OPLØYFJORDEN	6.69	6.69	1.64	75.5
INDRE OPLØYFJORDEN	6.36	6.36	1.64	75.5
ST 4, SOER MONSOY	6.77	6.77	-.27	104.0

Oksygenverdier fra vannprøvene i Opløefjorden 1989 - 1990. Oksygeninnhold i ml/l (OX), metningsverdi, ml/l (OXSAT), metningsverdi, ml/l (OXSAT), Forbrukt oksygen i ml/l (AOU) og metningsverdi i % (%SAT).

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, 0808 Oslo

ISBN 82-577-1893-9