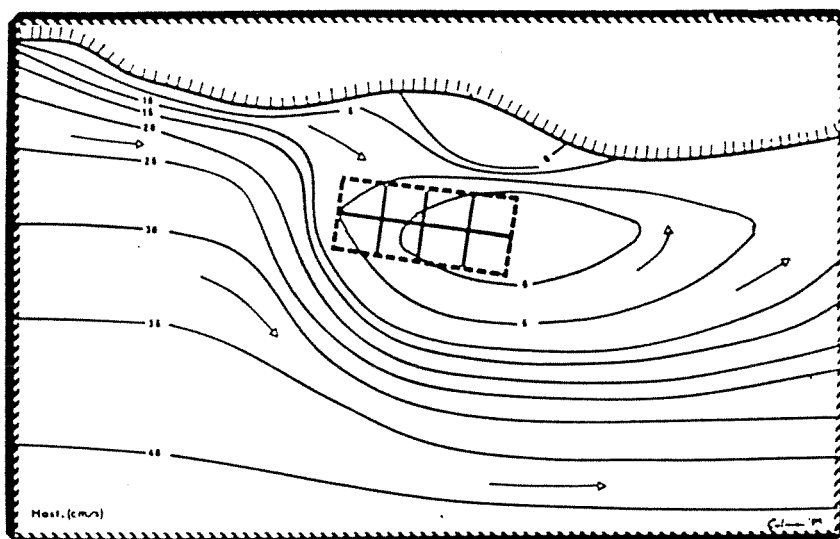




O-89094

Undersøkelse av egnethet  
for fiskeoppdrett ved  
**Varaldsøy i Hardanger**



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor  
Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen  
Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen  
Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:	O-89094
Undernummer:	
Løpenummer:	2360
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:  <b>UNDERSØKELSE AV EGNETHET FOR FISKEOPPDRETT VED VARALDSØY I HARDANGER</b>	Dato:  7/2-1990
	Prosjektnummer:  O-89094
Forfatter (e):  Lars G. Golmen Håvard Bakke Svein R. Erga Kari Stuvøy	Faggruppe:  Akvakultur
	Geografisk område:  Hordaland
	Antall sider (inkl. bilag):  89

Oppdragsgiver:  A/S MOWI ATLANTIC SALMON	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Det foreligger planer om å etablere et større oppdrettsanlegg for laks på sørsiden av Varaldsøy i Hardanger. I denne sammenheng har NIVA foretatt måling av strøm og hydrografi i det aktuelle området.

Kraftig brakkvannsinnslog og markert sprangsjikt vil tidvis kunne innvirke negativt på laksen i merdene. Eksponeringsgrad og bunntopografi tilsier bruk av kraftig forankring. For øvrig konkluderes det med at lokaliteten er godt egnet for oppdrett.

4 emneord, norske:

1. Akvakultur
2. Egnethet
3. Hardangerfjorden
4. Strømmåling

4 emneord, engelske:

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

Prosjektleder:

Lars G. Golmen

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1642-1



O - 89094

**Undersøkelse av egnethet for  
fiskeoppdrett ved Varaldsøy  
i Hardanger**

Bergen 7/2-1990

Prosjektleder: Lars G. Colmen

Medarbeidere: Håvard Bakke  
Svein R. Erga  
Kari Stuvøy

**FORORD**

A/S MOWI planlegger å etablere et oppdrettsanlegg ved Aakre på Varaldsøy i Hardangerfjorden. I den sammenheng blei NIVA kontaktet 10. mai 1989 med forespørsel om å utføre strømmålinger m.m. på den aktuelle lokaliteten. Det var i første rekke aktuelt å frambringe parametre som er relevant for driften av det framtidige anlegget. Lokaliteten som sådan hadde en beliggenhet som tilsa god vannutskifting og liten fare for negativ miljøpåvirkning av fjordområdet rundt.

Målingene kom i gang 15. juni, og blei avsluttet 15. september 1989. Rigginspeksjon og tilleggsmålinger blei utført innimellom. I sammenheng med dette arbeidet, har NIVA hatt assistanse av Georg Øyerhamn fra Varaldsøy. Det må i denne sammenheng rettes spesiell takk til ham for all hjelpsomhet og assistanse i samband med bruk av båt m.m. på lokaliteten. Vi takker også Harald Kvalheim ved A/S MOWI, som tok initiativet til prosjektet, og som var kontaktperson overfor NIVA i oppdragsperioden.

Prosjektleder på NIVA var Lars G. Golmen. Håvard Bakke, Svein Rune Erga og Kari Stuvøy, alle fra NIVAs Vestlandsavdeling, har gitt ulike bidrag til rapporten. Inger Midttun har bistått med oksygenprøveanalyser og rapportskrivning/redigering. Terje Hopen ved NIVA i Oslo har stått for primær bearbeiding av strømmålerdata. Analyser av næringssaltprøver blei foretatt av NIVAs laboratorium i Oslo.

## INNHold

<b>SAMMENDRAG</b>	1
<b>1. INNLEDNING</b>	3
1.1. <u>Områdebeskrivelse</u>	3
1.1.1. Varaldsøy og Hardangerfjorden	3
1.1.2. Oppdrettslokaliteten	5
1.2. <u>Værforhold generelt</u>	7
1.3. <u>NIVAs lokale miljøundersøkelser</u>	8
1.3.1. Strømmålinger	9
1.3.2. Hydrografi	11
1.3.3. Vannkjemiske målinger	11
1.3.4. Andre observasjoner	11
<b>2. MILJØPÅVIRKNING FRA FISKEOPPDRETT</b>	12
2.1. <u>Miljøbelastning</u>	12
2.2. <u>Oppdrettsfisk og miljøkrav</u>	13
2.3. <u>Strømforhold og vannutskiftning ved et anlegg</u>	15
2.4. <u>Oppdrettsanlegg påvirker strømningsmønsteret</u>	18
<b>3. HYDROGRAFISKE OG BIOLOGISKE FORHOLD I FJORDER</b>	21
3.1. <u>Hydrografiske forhold</u>	21
3.1.1. Generell sirkulasjon	21
3.1.2. Vannkvalitet og utskiftning	25
3.2. <u>Hydrografiske forhold i Hardangerfjorden</u>	29
3.3. <u>Biologiske forhold, alger</u>	35
<b>4. OPPDRETTSMESSIGE FORHOLD I HARDANGERFJORDEN</b>	39
4.1. <u>Eksisterende oppdrettsaktivitet</u>	39
4.2. <u>Sikringssone for laksefisk</u>	41
4.3. <u>Forurensning i Sørfjorden</u>	41
4.4. <u>Helsetress og smittefare</u>	43
<b>5. DATAPRESENTASJON</b>	45
5.1. <u>Hydrografi</u>	45
5.1.1. Sjøktning	45
5.1.2. Hydrografiske tidsvariasjoner	45
5.2. <u>Strøm</u>	46
5.3. <u>Vannkvalitet</u>	47
5.3.1. Planteplankton	47
5.4. <u>Registreringer ved Øyerhamn</u>	49
5.4.1. Siktedyp	49
5.4.2. Hydrografi	49
5.5. <u>Værforholdene i måleperioden</u>	50
5.5.1. Vind	50
5.5.2. Nedbør og temperatur	51
5.6. <u>Tidevann</u>	52
5.7. <u>Andre registreringer</u>	53

6.	DISKUSJON . . . . .	55
6.1.	<u>Lokalitetens beliggenhet</u> . . . . .	55
6.2.	<u>Hydrografiske forhold.</u> . . . . .	56
6.2.1.	Salinitet og temperatur . . . . .	56
6.2.2.	Korttidsvariasjoner . . . . .	57
6.3.	<u>Oksygen, vannkvalitet</u> . . . . .	59
6.4.	<u>Strømforhold.</u> . . . . .	59
	REFERANSER . . . . .	63
	APPENDIKS . . . . .	67

Figur A1 - A8 til kapittel 5.

**SAMMENDRAG**

På oppdrag fra A/S MOWI har NIVA i perioden 15. juni til 15. september 1989 foretatt målinger og prøvetaking i sjøen ved Aakre på SØ siden av Varaldsøy i Hardangerfjorden. I det aktuelle sjøområdet har A/S MOWI planer om å plassere et oppdrettsanlegg med en årsproduksjon på 800-1000 tonn laks.

Formålet med foreliggende rapport er i første rekke å presentere de data som er framskaffet i måleperioden. Disse inkluderer strømdata fra 4 meters dyp i to posisjoner, samt hydrografiske vertikalprofiler og ulike vannprøver. Tilknyttede data omkring værforhold m.m. i måleperioden er også presentert.

Rapporten har i tillegg som formål å presentere eldre eksisterende data og opplysninger om Hardangerfjordens hydrografi, værforhold o.l. En del oppdrettsmessige og miljømessige aspekt som berører Hardangerfjorden er også presentert.

Prosjektet som NIVA har gjennomført har ikke hatt som målsetning å være en resipientundersøkelse i vanlig forstand, med bunndyrsprøver, beregning av utslipp fra oppdrettsanlegget m.m.

Beliggenheten til den aktuelle lokaliteten tilsier at resipientforholdene i dag er gode, og at effekter på vannkvalitet og sediment i det tilstøtende fjordområdet neppe vil kunne måles under den framtidige drift på anlegget. Det utelukkes ikke at fôrrester o.l. kan sedimentere på bunnen under og like ved anlegget. Generell erfaring fra lokalisering av oppdrettsanlegg tilsier imidlertid at effektene av dette vil bli mindre ved Aakre enn på mer skjermede lokaliteter.

Strømmålingene i 4 meters dyp indikerte noe sterkere middelstrøm i sørlige del av den aktuelle lokaliteten (mot Nautaneset) enn lenger nord. I sørlige delen var middelstrømmen ca. 8 cm/s, og i den nordlige 5-6 cm/s. Hovedstrømretningen var rettet ut fjorden, parallelt med land. Maksimal strømstyrke var ca. 40 cm/sek, og var assosiert med strøm i retning ut fjorden. Perioder med tilnærmet null strøm forekom tilsynelatende ikke i løpet av NIVAs tre måneder lange måleperiode.

Reststrømmen i 4 meters dyp var rettet mot SØ i begge måleposisjoner, m.a.o. i retning ut fra land, og ut fjorden i det aktuelle området.

Hydrografiske vertikalprofiler viste et karakteristisk brakkvannslag, med salinitetsverdier tidvis lavere enn 8-10 promille. Sprangsjiktet var markert, og lå i 3-4 meters dyp. Sprangsjiktet innebærer en vertikal gradient av størrelsesorden 20 promille pr. meter i salinitet. Sprangsjiktet kan innebære en stressfaktor for oppdrettsfisken.

Observasjoner av algesammensetning gjenspeiler to forskjellige vanntyper over og under sprangsjiktet.

Oksygenmålingene indikerte generelt sett høye verdier i øverste 10 meter. Dypere enn 25 meter blei det ved ett høve observert lave verdier (74% metning). Næringssaltverdiene synte moderate til lave verdier.

Målingene indikerer at vertikalbevegelse av sprangsjiktet kan oppstå (indre bølger på sprangsjiktet). Slike bevegelser, av periode ned til noen få minutter, kan innebære en stressfaktor for oppdrettsfisken.



## 1. INNLEDNING

### 1.1. Områdebeskrivelse

Den aktuelle oppdrettslokaliteten ved Varaldsøy ligger i Hardangerfjorden i Hordaland fylke. Det er derfor naturlig å gi en kort beskrivelse av forholdene i denne fjorden ut fra eksisterende kunnskap. Det ligger ikke i denne rapportens formål å vurdere Hardangerfjordens generelle egnethet i oppdrettssammenheng. Rapporten fokuserer på forholdene på selve oppdrettslokaliteten, mest med basis i de målingene som er foretatt av NIVA i 1989. Eldre data og opplysninger om Hardangerfjorden er imidlertid trukket inn i vurderingene der dette synes relevant.

#### 1.1.1. Varaldsøy og Hardangerfjorden

Varaldsøy ligger omtrent midtveis mellom kysten og indre deler av Hardangerfjorden (Fig. 1.1). Varaldsøy tilhører Kvinnherad kommune. Øya, som er ca 10 km lang fra NØ til SV, ligger nærmest nordvestsiden av Hardangerfjorden, med Øynejfjorden/Bondesundet mellom øya og fastlandet i NV. Fjordområdet på østsida kalles Sildafjorden. Den smale forgreiningen Maurangerfjorden (ca 10 km lang) strekker seg derfra innover i NØ retning.

Hardangerfjorden er 180 km lang, og dermed Norges nest-lengste fjord. Sørfjorden og Eidfjorden (Fig. 1.1) utgjør markerte forgreininger i indre del. Fjorden har dybder ned mot 900 meter ved Øystese, ca 30 km innenfor Varaldsøy. Østafor Varaldsøy er det dybder rundt 660 meter. Hardangerfjorden er en terskelfjord, i den forstand at området ved utløpet S av Bømlo har største dyp rundt 160 m. Terskelen S av Huglo (180 meter dyp) regnes ofte som terskelen til "selve" Hardangerfjorden. Vannutskiftingen generelt grunnere enn terskeldypet antaes derfor å være god.

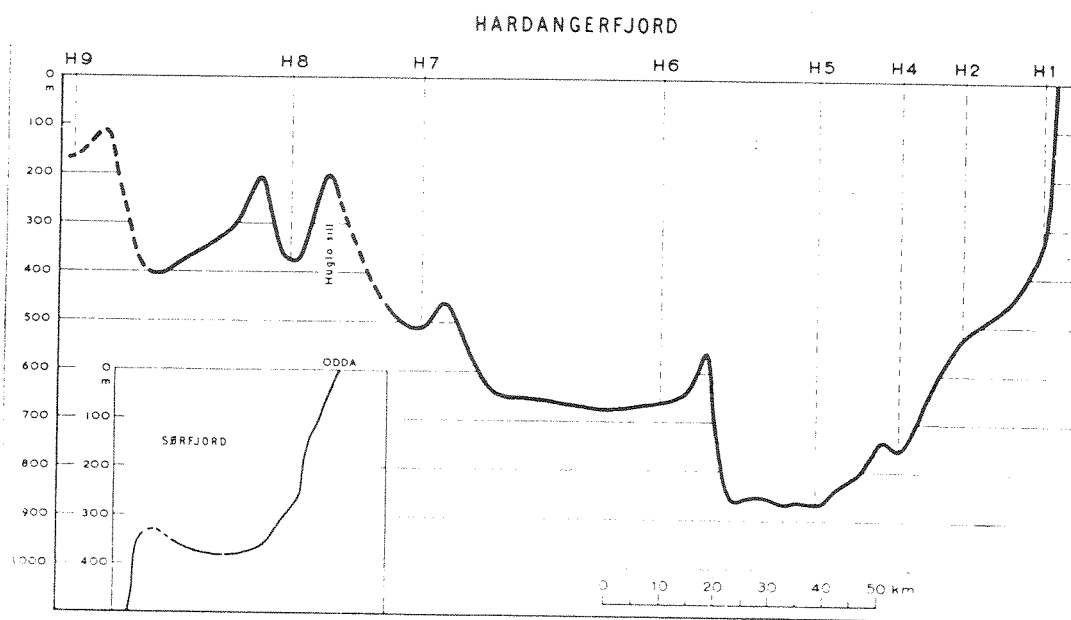
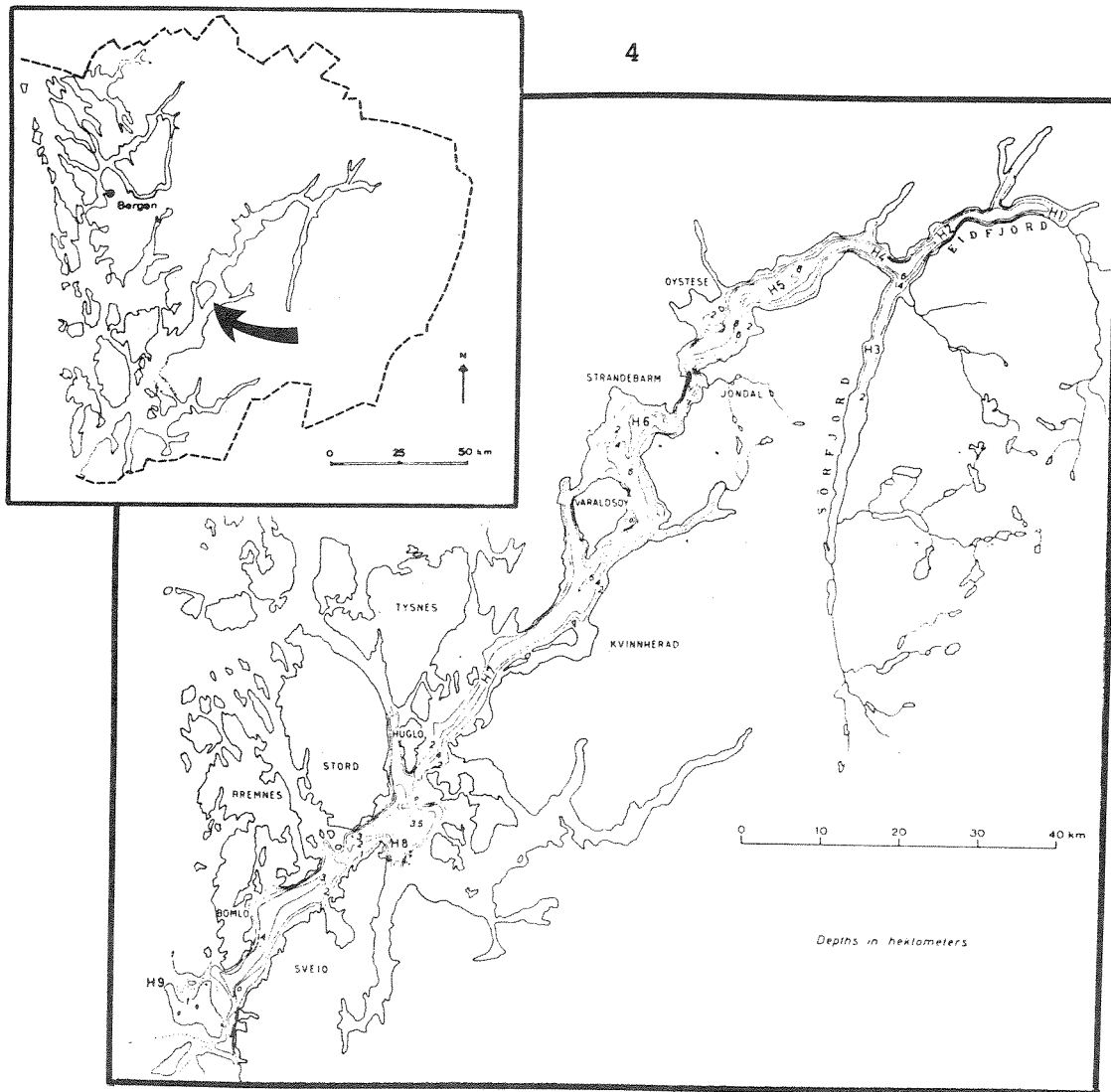


Fig. 1.1. Kart over Hardangerfjorden med bunntopografi og lengdesnitt av fjorden (Etter Sælen 1962).

Det er heller ikke observert markert dårlige dypvannsforhold i fjorden, men terskelen vil automatisk redusere utskiftningen av de dypere vannmassene. Se for øvrig kapittel 3 for en omtale av generell fjordsirkulasjon.

Fjorden har betydelige regulerte ferskvannstilførsler fra Sørfjorden (Tysso, Aksla, Opa) og Eidfjorden (Eio, Sima), og for øvrig et stort nedslagsfelt for nedbør i indre og midtre deler. Dette medfører permanente kontraster i hydrografiske forhold mellom ytre og indre deler av fjorden. Overflatearealet av fjorden, regnet fra Huglonakken og innover er ca 700 km<sup>2</sup>. Volumet av fjordvannet over terskelnivået (160 m) er om lag 85 km<sup>3</sup>, og det totale vannvolumet innafor Huglo er ca. 220 km<sup>3</sup> (Golmen m. fl. 1982).

#### 1.1.2. Oppdrettslokaliteten

Lokaliteten det er søkt konsesjon for, ligger på SØ sida av Varaldsøy, ved Raudurdevika (fig. 1.2). En liten veg går fra Åkre ned til vika. Dimensjonene av vika er ca 0.5-1 km i N-S retning, og 2-300 m ut fra land, hvis en regner Nautaneset som referanse i retning SV-NØ.

#### Bunntopografi.

Av sjøkartet (fig. 1.2) framgår det at bunnen på lokaliteten skråner bratt og noenlunde jevnt nedover i østlig retning. Helningsgraden er 0.5-0.6. Av sjøkartet framgår det at der er en terskel med dyp ca 150 meter i retning mellom Nautaneset og Sild. Nordafor denne terskelen går ei renne inn mellom Sild og Varaldsøy retning SV-NØ. Denne renna har dybder mellom 200 og 300 meter. Eventuelle lokale dypområder der framgår ikke av sjøkartet.

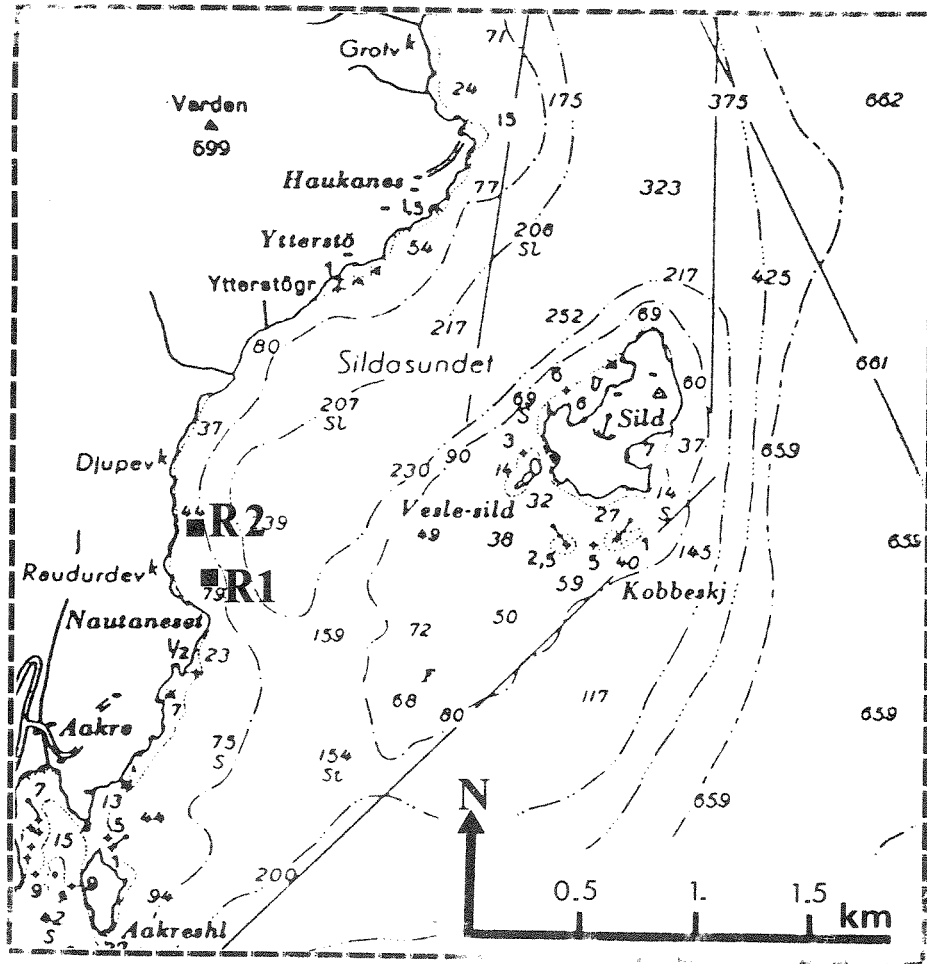


Fig. 1.2. Utsnitt av sjøkartet, som viser lokaliteten, samt posisjon for målebøyer (R1 og R2).

#### Eksponering.

Detaljene omkring den endelige plasseringen av anlegget er ennå ikke bestemt. Opplysninger om strømforhold, vindeksponering m.m. vil her måtte trekkes inn i vurderingen. Nautaneset i sør danner en liten barriere for vind fra sørvest. Også for bølger inn fjorden vil dette neset skjerme, men en viss bølgeavbøyning vil finne sted, dels p.g.a. diffraksjon (effekt av neset) og dels p.g.a. refraksjon (oppgrunning mot land). Øya Sild skjermer lokaliteten til en viss grad for vindsjø østfra. Effektiv

strøklengde i denne retningen er ca 5 kilometer. Dempnings-effekten bør her beregnes mer nøye. Avbøynings effekter (refraksjon) kan føre til at vindgenererte bølger fra Ø møter hverandre skrått på V-siden av Sild, og at det derfor tidvis kan oppstå noe krappere bølger. Se avsnitt 1.2 for supplerende betraktninger omkring vindforholdene.

Det er ikke målt bølger eller vind på lokaliteten. Størst bølgehøyde antaes å oppstå ved vind fra S til SV. Effektiv strøklengde vil da være 20-30 km innover gjennom Kvinnheradsfjorden. Ved 30-40 knops vind over mer enn 2 timer vind kan det da forventes bølger av størrelsesorden 1.5 - 2 meter (signifikant bølgehøyde, Brettschneider, 1965). Raudurdevika ligger noe i lé, slik at bølgehøyden der blir noe mindre. Nærmere vurderinger omkring bølger er ikke denne rapportens formål.

### 1.2. Værforhold generelt

Noen opplysninger om vindforhold og temperatur er presentert i figur 1.3. Data fra Upsangervatn (Husnes) er benyttet. Det framgår at sørlig og nordlig vind dominerer. Ved Varaldsøy kan en anta at topografisk innvirkning medfører en dreining mot SV-NØ for dominerende retning. Nordlig vind forekommer oftere om sommeren (mai-juli). Daglig variasjon i vind forekommer i perioder med varmt (og kaldt) vær. Om sommeren medfører dette tidvis kraftig vind inn fjorden om ettermiddagen, som resultat av oppvarmingen over land. Om vinteren kan vind fra SØ forekomme i Hardangerfjorden, i samband med høytrykk over Skandinavia. Lokaliteten ved Varaldsøy ligger utsatt til m.o.t. eksponering for denne vindretningen.

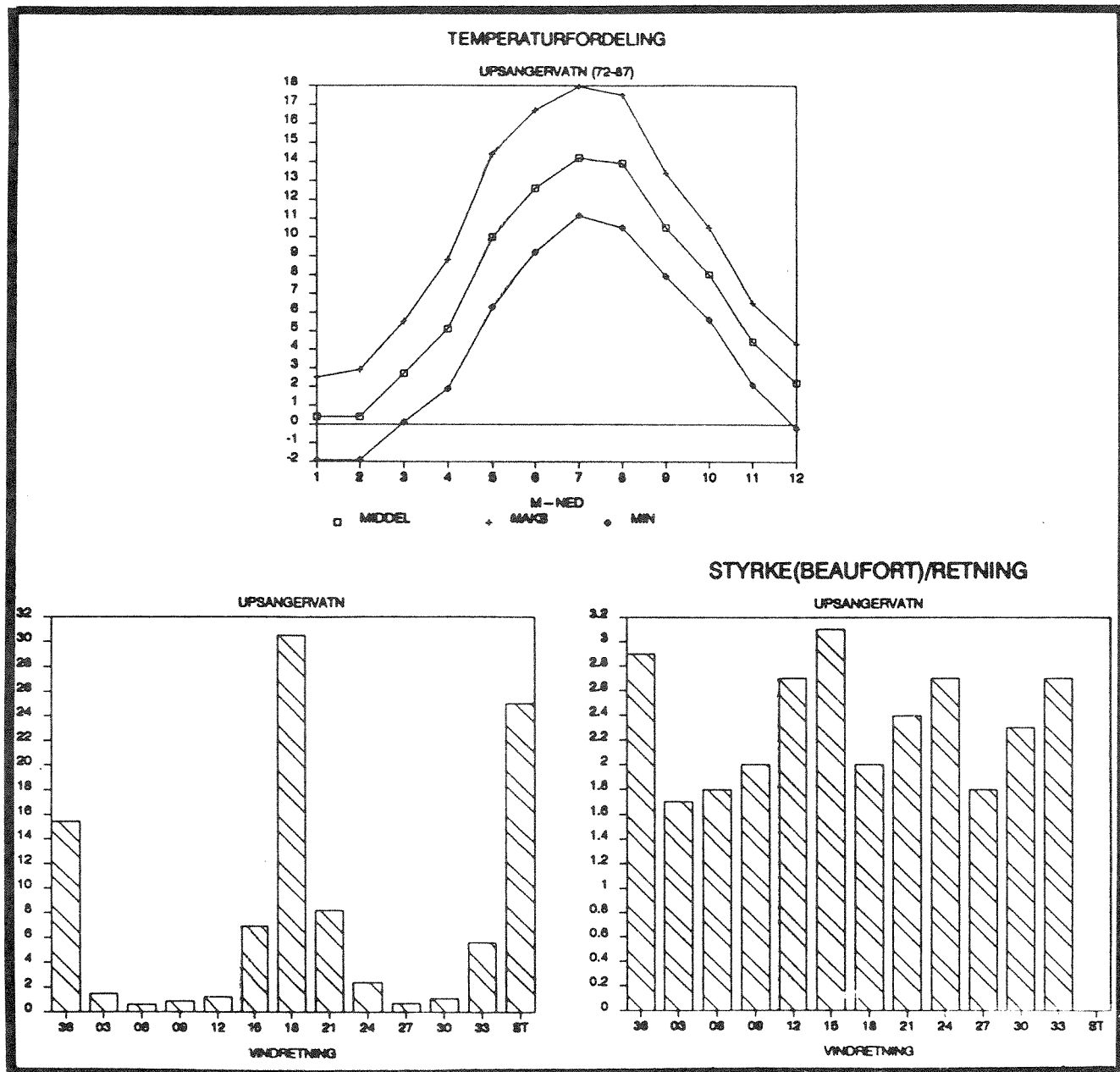


Fig. 1.3. Temperaturfordelingen over året, samt retningsfordeling (hyppighet og styrke) av vind. Fra Hansen m.fl. 1989.

### 1.3. NIVAs lokale miljøundersøkelser

I løpet av sommeren 1989 har NIVA utført målinger og prøvetaking på den aktuelle lokaliteten ved Varaldsøy. Det

har vært benyttet faststående instrumenter for måling av strøm og hydrografi. I samband med utsetting, inspeksjon og opptak av rigger blei det tatt vannprøver m.m. på lokaliteten. I det følgende presenteres feltmålingsprogrammet i korthet.

### 1.3.1. Strømmålinger.

To strømmålere var utplassert på lokaliteten i perioden 14. juni - 15. september i 1989. Målerne var montert i ca. 4 meters dyp under en overflatebøye, med fast forankring i bunn. Figur 1.2. indikerer posisjon for de to målebøyene. Måleinstrumentene var av type Aanderaa RCM. Disse måler strømretning og fart, samt sjøens temperatur og konduktivitet. På bakgrunn av de to sistnevnte parametrene, kan saliniteten beregnes. Måleintervallet var satt til 15 minutter.

Måleposisjon og måledyp var valgt ut fra ønsket om å få kartlagt strøm og hydrografi i øvre lag (brakkvannslaget). Det er forholdene i dette laget som influerer på fisken, og som bestemmer vannutskiftingen i merdene. Plasseringen av målebøyene muliggjør også en viss kartlegging av forskjeller i strøm/hydrografi i horisontal retning. Bøyene blei plassert langs lengdeaksen for sannsynlig plassering av oppdrettsanlegget.

Måleinstrumentene blei inspisert, rengjort og forsynt med nye batterier to ganger mellom utsetting og opptak. På denne måten kunne en holde begroingen noenlunde i sjakk. Begroing kan medføre målefeil både på strøm og konduktivitet. Ved opptak av bøyene 15/9-89 var begge instrumenter en del begrodd, til tross for den korte tiden (2 1/2 uke) siden forrige inspeksjon. Dette kan ha influert noe på måleresultatene siste perioden. Se for øvrig kapittel 4 omkring presentasjon og diskusjon av datamaterialet.

I tillegg til måling med de faststående instrumentene, blei

det også foretatt vertikalprofilering av strøm ved bøyene, i samband med forannevnte inspeksjoner (h.h.v. 24/7 og 29/8). Denne profileringen blei utført med en nyutviklet akustisk strømmåler, av type UCM-40 (SimTronix A/S). Se Fig. 1.4. Denne måleren registrerer alle tre romkomponentene av strøm. Den kan registrere ned mot null strøm (størrelsesorden mm/sek), noe konvensjonelle målere ikke kan. Måleren registrerer i tillegg temperatur, konduktivitet og trykk (dyp), slik at den kan nyttes som en profilerende "CTD" sonde i tillegg.

Datastrømmen fra måleren lagres internt i instrumentet, eller sendes som i vårt tilfelle, opp via kabel direkte inn på en medbrakt PC. Måleren scanner 20 ganger pr sekund. Faktiske midlings- og måleintervaller bestemmes av brukeren. Ved våre registreringer var måleintervallet 2 eller 5 sekunder. Strømmåling med dette instrumentet i form av vertikal profilering fra en båt gir absoluttverdier forutsatt at båten ligger i ro. I motsatt fall registreres strøm relativt til overflatestrøm, eller båtens drift. Ved våre målinger lå vi fortøyd i en av målebøyene, slik at båtens bevegelse ble minimal.

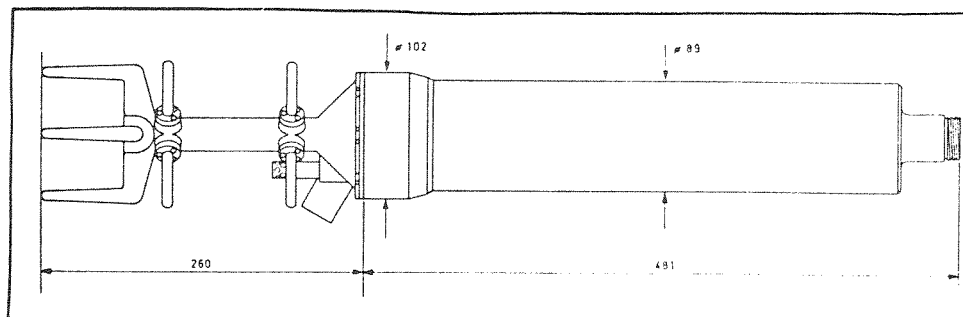


Fig. 1.4. Skisse av UCM-40 sonde for måling av strøm, salinitet, temperatur og trykk (dyp).



### 1.3.2. Hydrografi.

De faststående strømmålerne registrerte temperatur og konduktivitet (salinitet) med 15 minutters mellomrom gjennom den 3 måneder lange måleperioden. I tillegg blei det foretatt vertikalprofilering ved bøyene i samband med utsetting, inspeksjon og opptak av bøyene. Til denne profileringen blei det benyttet salinotermsonde 14. juni og UCM-40 sonden (se forrige avsnitt for omtale) h.h.v. 24. juli og 29. august.

Siste gang, 15. september, blei et nytt instrument benyttet, nemlig Sensordata A/S sin nyutviklede STD/CTD sonde SD-200. Denne enkle sonden har internt minne hvor data for trykk (dyp), temperatur og konduktivitet/salinitet lagres. Etter at startsignal er gitt ved hjelp av en liten magnet, kan sonden fires ned i et tau, uten at en behøver meterhjul eller merket kabel for nøyaktig dybdebestemmelse. Dataene leses inn på en PC etter endt måling.

### 1.3.3. Vannkjemiske målinger

I samband med de ovenfor nevnte aktivitetene ved bøyene, blei det også tatt vannprøver med vannhenter i ulike dyp for bestemmelse av oksygeninnhold (Winklers metode), næringssalter og alger. I tillegg blei det tatt vertikalprofil av oksygen med en YSI sonde med 60 meter lang kabel. Siktedyp blei også målt.

### 1.3.4. Andre observasjoner

Vi har også innhentet andre data og observasjoner fra vår måleperiode. Dette gjelder værd data fra Meteorologisk Institutt, og hydrografiske data fra MOWIs anlegg på Varaldsøy. Det er også innhentet opplysninger om eksisterende oppdrettsanlegg/konsesjoner i det mest aktuelle området.

## 2. MILJØPÅVIRKNING FRA FISKEOPPDRETT

### 2.1. Miljøbelastning.

Ved konvensjonelt merdoppdrett tilføres det marine miljøet bl. a. nitrogen (N), fosfor (P) og organisk materiale. Til ulike tider blir medisiner(rester) og kjemikalier tilført. Tilførsler av N og P påskynder primærproduksjon i sjøen, med eventuelle sekundæreffekter som økt organisk belastning og oksygenmangel som resultat. Organisk materiale blir nedbrutt på bekostning av oksygenet i sjøen. Fiskens egen respirasjon bidrar også til nitrogenbelastning (ammonium), og til oksygenforbruk.

Eventuelle negative miljøeffekter vil i første omgang være lokale, i form av bunnfall, eller som redusert vannkvalitet og negativt påvirket flora/fauna i nærheten av merdene. Håkanson m.fl. (1988) gir tall for størrelse på en del miljøbelastningsparametre. Deres utgangspunkt er å estimere gjennomsnittsverdier for produksjonssesongen. De får tall for samlet belastning f. eks. pr. år fra et anlegg. Et regnbueørret-anlegg med netto årsproduksjon 100 tonn, er oppgitt å avgi følgende til sjø og/eller bunn (fôrfaktor 1.5):

Oksygenforbruk:	143 tonn O <sub>2</sub>
Nitrogen:	9.4 " N
Fosfor:	1.1 " P

Oksygenforbruk er summen av respirasjon og BOD (biologisk nedbryting av ekskrement), h.h.v. ca. 70% og 30%. Fosforbelastninga er i stor grad i form av ekskrement (ca. 90%). Nitrogenbelastninga består av utskilt ammonium (80%) og fekalier (20%). Disse tallene indikerer altså at det først og fremst er nitrogenet som belaster det omgivende sjøvannet, mens fosforbelastningen er en sekundær prosess, i form av langsom lekkasje fra sediment. Stigebrandt (1986)

med sitt beregningsprogram for belastning fra fiskeoppdrett, har argument for at fosfor stort sett foreligger i løst form i vannet, og at det ved et anlegg med lav fôrfaktor er lite fosfor som sedimenterer. Molvær og Stigebrandt (1989) fant at fosfat utgjorde mesteparten (ca. 90%) av målt økning i P-konsentrasjon i gjennomstrømmende sjøvann. N-tilførslene (løst) bestod av 66% ammonium. Molvær og Stigebrandt (1989) fant videre at N:P forholdet (vekt) av utslipp fra et anlegg var ca 6, m.a.o. nær den optimale verdien (7.2), slik at planteplankton under normale omstendigheter effektivt kan utnytte utskilt N og P fra et anlegg.

Belastningen fra oppdrettsanlegg er ikke jevnt fordelt over sesongen. Fig. 2.1. viser tidsutvikling for oksygenforbruk, samt N og P belastning. De høyeste verdiene finner en i perioden august til oktober. Daglig N og P belastning er da av størrelsesorden 60 kg N og 6-7 kg P (Håkanson m. fl., 1988). Oksygenbelastningen kommer opp i 700 kg O<sub>2</sub> (respirasjon) og 400 kg BOD pr. døgn for 100 tonn fisk. Oksygenforbruket er minst før daggry, og max. under fôring, mens nitrogenutskillelsen er størst ca. tre timer etter fôring. Fosfor- og nitrogenutskillelse er heller ikke helt i fase (Molvær og Stigebrandt, 1989).

## 2.2 Oppdrettsfisk og miljøkrav

Fiskens toleranse, eller minstekrav til miljø og vannkvalitet, kan i prinsippet defineres ved et sett av grenseverdier for ulike miljøparametre, slik som konsentrasjon av oksygen og ammonium/ammoniakk i sjøvannet. En rekke andre parametre påvirker fisken, og dens trivsel og vekst. Det finnes ingen absolutte krav til miljøparametre (grenseverdier) når det gjelder godkjenning av en oppdrettslokalitet. Dette gjør at skjønnsmessige vurderinger i høy grad må anvendes i vurderinger om hvor godt egnet en spesifikk lokalitet er for oppdrett. Det er klart at fisk kan

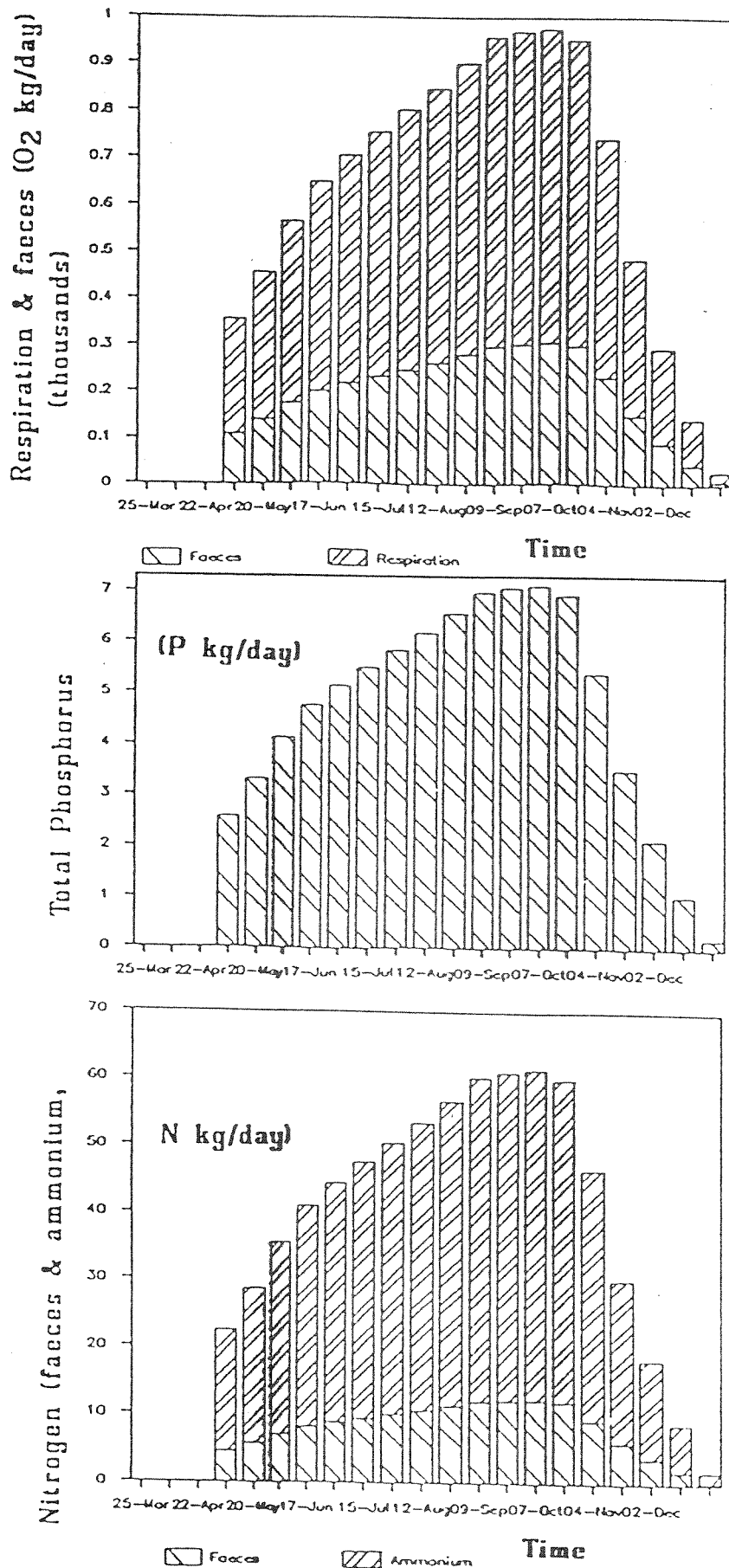


Fig. 2.1. Oksygenbelastning, N og P tilførsler april-desember fra anlegg med 100 tonn netto årl. produksjon. (Håkansom m. fl. 1988).

overleve kortere perioder der strøm eller oksygen ligger under generelt aksepterte minimumsverdier.

### 2.3. Strømforhold og vannutskiftning ved et anlegg.

Gode strømforhold ved et oppdrettsanlegg er avgjørende for fiskens trivsel og for vannmiljøet i og rundt anlegget. Stagnerende vann vil kunne føre til kritiske oksygenverdier, og høye konsentrasjoner av respirasjonsprodukt fra fisken, f. eks. ammonium.

For strømfart gjennom et anlegg vil det gjelde en kritisk minimumsverdi som er avhengig av en rekke faktorer, slik som fisketetthet, temperatur, O<sub>2</sub>-innhold og fôringsrate. Aure (1983) har for et anlegg med fisketetthet rundt 8-10 kg/m<sup>3</sup> antydnet 2 cm/s som minimum for middelstrømmen gjennom merdene. Større fisketetthet vil fordre sterkere middelstrøm. Strømmen inne i en merd og utenfor vil være forskjellig. Notveggen vil dempe gjennomstrømmingen, og fisken inne i merdene vil i seg selv dempe eller endre strømningsmønsteret. Sterkt tilgrodde nøter vil kreve hastigheter rundt 10 cm/s (Møller, 1976). Lite er ennå kjent om hvilken effekt fisken og dens egen bevegelse i seg selv har på strømforholdene.

Strømmen gjennom og forbi anlegget medvirker også til at avfallsstoff blir transportert vekk, og at ekskrement, fôrrester o.l. ikke sedimenterer under anlegget. Nyere granskinger tyder for øvrig på at forurensning fra oppdrettsanlegg raskt blir spredd/fortynnet i den delen av vannsøylen som ligger over terskeldypet (Aure og Stigebrandt, 1988).

Det er få steder en har ensrettet og stabil strøm. Regelen er heller at strømmen varierer på ulike frekvenser. Den mest markerte variasjonen langs Norskekysten og i fjordene er knyttet til det halvdaglige tidevannet, men effekter

knyttet til endringer i værtilhøve o.a. føyer seg til, og kan gi et komplisert strømningsmønster. Begrepet middelstrøm må derfor brukes med reservasjon, og knyttes til andre parametre som viser variabiliteten i strømmen. I akvakultursammenheng skulle disse forholdene tilsi at føring av fisken i en periode med null strøm (f. eks. når tidevannet snur) bør unngås. Likeledes bør føring i for sterk strøm (tidevannsstrømmen maksimal) også unngås, for å redusere fôrspillet (Golmen, 1987).

Perioder med for sterk strøm kan være et problem for oppdrettsanlegg f. eks. ved den dynamiske/mekaniske belastningen dette medfører. Særlig dersom notveggene gror til, vil dette representere et faremoment, ved reduksjon i effektivt merdvolum og med fare for havari. Tilgroing må derfor holdes under oppsyn, og reduseres om nødvendig. Se Pedersen (1982).

Oksygenkonsentrasjonen i øvre vannlag har nøye sammenheng med strømforhold og vannutskiftning. Metningsverdiene for oksygen er bestemt av salinitet og temperatur i vannet. Fig. 2.2. viser metningsverdier som funksjon av salinitet og temperatur. Varmt (og salt) vann har mindre evne til å løse opp en gass som oksygen enn kaldt (og ferskt) vann.

Oksygen blir tilført sjøvannet fra lufta og fra planteplanktonet og tang og tare sin fotosyntese. Oksygenet blir fjernet ved kjemisk og organisk nedbryting, samt respirasjon. I sjøen blir oksygen transportert via molekylær og turbulent diffusjon, samt adveksjon. Det øverste vannsjiktet som står i umiddelbar kontakt med atmosfæren, blir regnet for å være mettet, eller også svakt overmettet (Broecker og Peng, 1982). Observasjoner fra åpent hav i arktiske strøk har imidlertid vist at overflatevann også kan være markert undermettet, (Clarke, 1986).

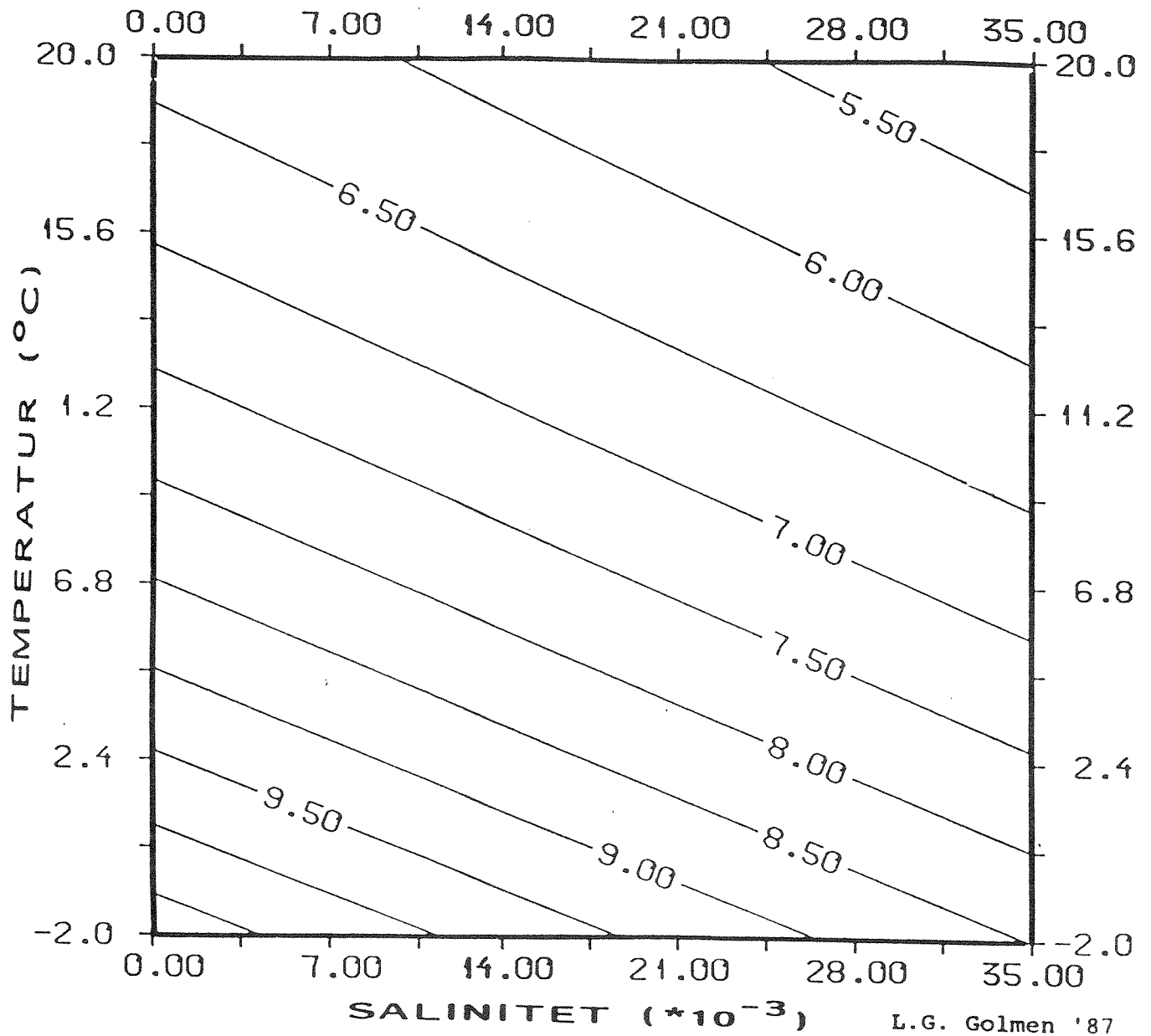


Fig. 2.2. Diagram som viser metningsverdi (ml/l) for oksygen i sjøvann, som funksjon av salinitet og temperatur.

Oksygentilførselen fra atmosfæren ned i vannmassene er en langsom prosess (Broecker og Peng, 1982). I et oppdrettsanlegg er en derfor avhengig av advektiv tilførsel av oksygenrikt vann.

Om sommeren er vannet varmt (lave metningsverdier for  $O_2$ , (jamfør fig. 2.2.), samstundes som oksygenforbruket er stort (stor aktivitet og vekst hos fisken). I slike perioder er det ekstra viktig å ha gode utskiftningsforhold rundt anlegget. Det er påvist en sammenheng mellom stagnasjon i vekst hos oppdrettsfisk og danning av små oksygenfrie lommer eller "mikro-miljø", særleg nær bunnen (Avnimelech og Zohar 1986). Slike små lommer lar seg vanligvis ikke påvise ved vanlige prøvetakingsmetoder. En sikker gardering mot at slike tilstander oppstår, er gode strømforhold.

#### 2.4. Oppdrettsanlegg påvirker strømningsmønsteret.

Et oppdrettsanlegg vil i seg selv kunne påvirke noen hydrografiske faktorer lokalt rundt anlegget. Umiddelbart vil strømmen bli endret. Det horisontale strømhastighetsfeltet blir svekket inne i anlegget, på grunn av friksjon og dynamisk press fra konstruksjoner og fisken selv. Dette må føre til at det horisontale strømbildet modifiseres (Fig. 2.3.). Forstyrrelsen av det generelle strømningsmønsteret strekker seg av størrelsesorden 3-5 ganger anleggets lengde nedstrøms, og effekter oppstrøms kan merkes i avstand ca 1 X anleggets lengde. En kraftig divergens av horisontalstrømmen kan medføre stimulert vertikaltransport oppover inne i anlegget. Dette kan bl. a. medføre redusert synkehastighet på fôr og ekskrement, men samtidig også en viss stimulering av vannutskiftningen inne i anlegget.

Ett anlegg i en stor fjord vil ikke ha noen innvirkning på det generelle strømningsmønsteret. Typisk horisontal lengdeskala på et anlegg er  $10^2$  m, mot tilsvarende  $10^3$  for en typisk oppdrettslokalitet. Regelen om minsteavstand mellom anlegg ( $10^3$  m) gjør at en ikke får addert strømningseffektene (synergieffekt) fra flere anlegg under normale omstendigheter.



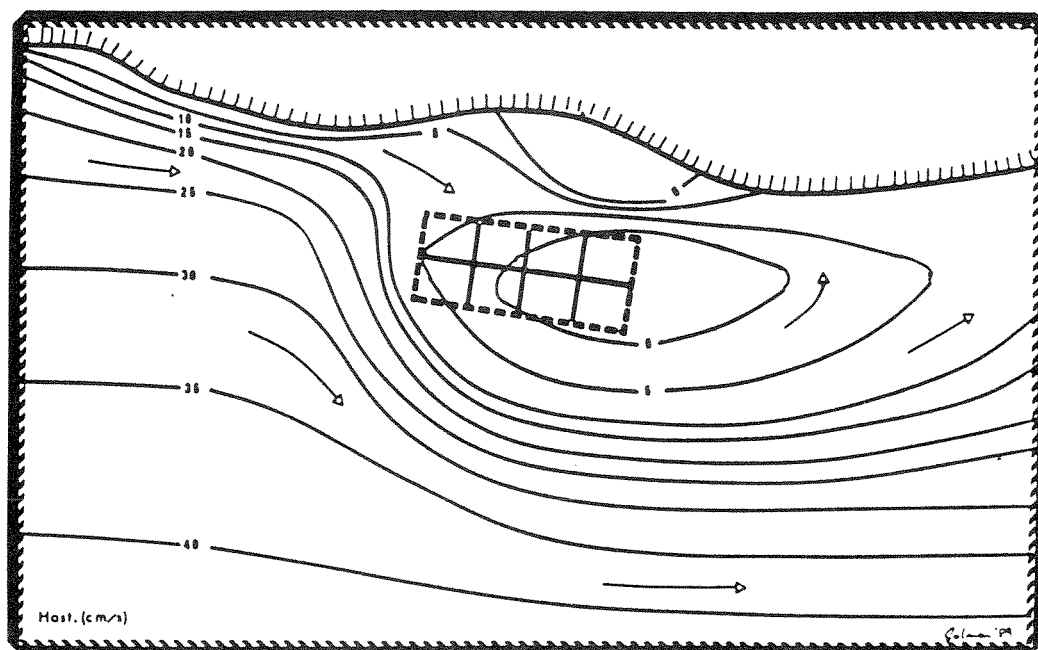


Fig. 2.3. Skisse som viser hvordan et oppdrettsanlegg kan modifisere det horisontale strømningsmønsteret rundt anlegget.

Ved økende anleggstetthet på et begrenset område, vil støyforholdene kunne bli endret, med generelt sett redusert strøm. Graden av reduksjon vil avhenge av drivmekanismen for strømmen. I en fjord med kraftig ferskvannstilrenning tilføres fjordsystemet kontinuerlig energi (oppdrift), og volumtransporten opprettholdes. Oppdrettsanleggene vil medføre økt blanding i de øverste metrene av vannsøylen, og dermed en forandring i den vertikale tetthetsfordelingen. Dette medfører også at vertikalfordelingen for strøm kan bli noe endret (dybdesjiktet hvor strømmen skifter retning endres).

I fjorder og andre områder med svak tilrenning er strømforholdene i øvre lag vesentligst bestemt av vind og tidevann.

Volumfluksen som tidevannsstrømmen forårsaker vil bli opprettholdt i de fleste tilfeller. Dissipasjonen av tidevannsenergi kan bli endret (strømmen møter økt motstand). Dette kommer i tillegg til dissipasjon som ellers kan forekomme ved terskler eller trange innløp (de Yong og Pond, 1987,1988). Den økte dissipasjonen vil arte seg som en forandring av fasen mellom tidevannsstrøm og overflatenivå fra det vanlige, som er  $90^\circ$ . Det skal svært kraftig dissipasjon til, for å få vesentlig reduksjon i tidevanns-amplituden innenfor innløpet/terskelen.

Et sjøområde der strømforholdene er mest påvirket av lokal vind og inertialbevegelser, vil kunne bli merkbart påvirket av en oppkonsentrering av antall anlegg. For vindgenerert strøm gjelder at effektiv strøklengde reduseres. Anleggene vil danne barrierer for den vindgenererte strømmen, som dermed ikke får bygge seg opp til vanlig styrke. Inertialstrømmer (strøm som vedvarer etter at drivkraften har opphørt å virke) vil bli hurtigere dempet i et system med mange oppdrettsanlegg. Slik strøm kan f. eks. være opprinnelig vindgenerert strøm, som p.g.a. sin treghet vil vedvare en stund etter at vinden spakner).

### 3. HYDROGRAFISKE OG BIOLOGISKE FORHOLD I FJORDER

#### 3.1. Hydrografiske forhold.

Oppmerksomheten omkring fjordene i forbindelse med akvakultur fokuseres ofte på vannkvalitet og utskiftningsrate. Disse to faktorene er sterkt påvirket av ytre fysiske "krefter", og tilførsler utenfra eller fra land (tilrenning). Andre prosesser som påvirker vannkvalitet er aktuelle i noen sammenhenger, slik som ulike former for omdanning av substans i vannmassen, og flukser fra sediment til vannet.

##### 3.1.1. Generell sirkulasjon

Kystvannet, dets egenskaper og variasjoner er den viktigste ytre påvirkningsmekanismen for vannutskiftningen i de fleste fjorder med relativt dype terskler. Tetthetsvariasjoner i den øvre del av vannsøylen utenfor fjorden genererer inn- eller utgående strøm over terskelnivå (Klinck m. fl. 1981, Aure og Stigebrant 1988). Disse tetthetsvariasjonene styres av meteorologiske faktorer og prosesser på større oseanisk skala. Variasjoner i kyststrømmen utenfor Vestlandet er sterkt medbestemmende for utskiftning i fjordene. Fluktuasjonene i tetthetsfeltet der er typisk av periode 3-5 dager (Fig. 3.1.1.), og er relatert til langbølgede svingninger i strømmen. Dypvannutskiftning (terskel-overskyllinger) er knyttet til langsommere, sesongmessige variasjoner, og forårsaker opp- og utstrømming av kaldt fjordvann om våren (Fig. 3.1.1).

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 trykkgradient. Dette utoverstrømmende vannet blandes gradvis med saltere vann

nedenfra, og det dannes brakkvann med stadig økende volumfluks. For å erstatte det saltvannet som blandes opp i øvre lag, skapes det en innoverrettet strøm av saltvann.

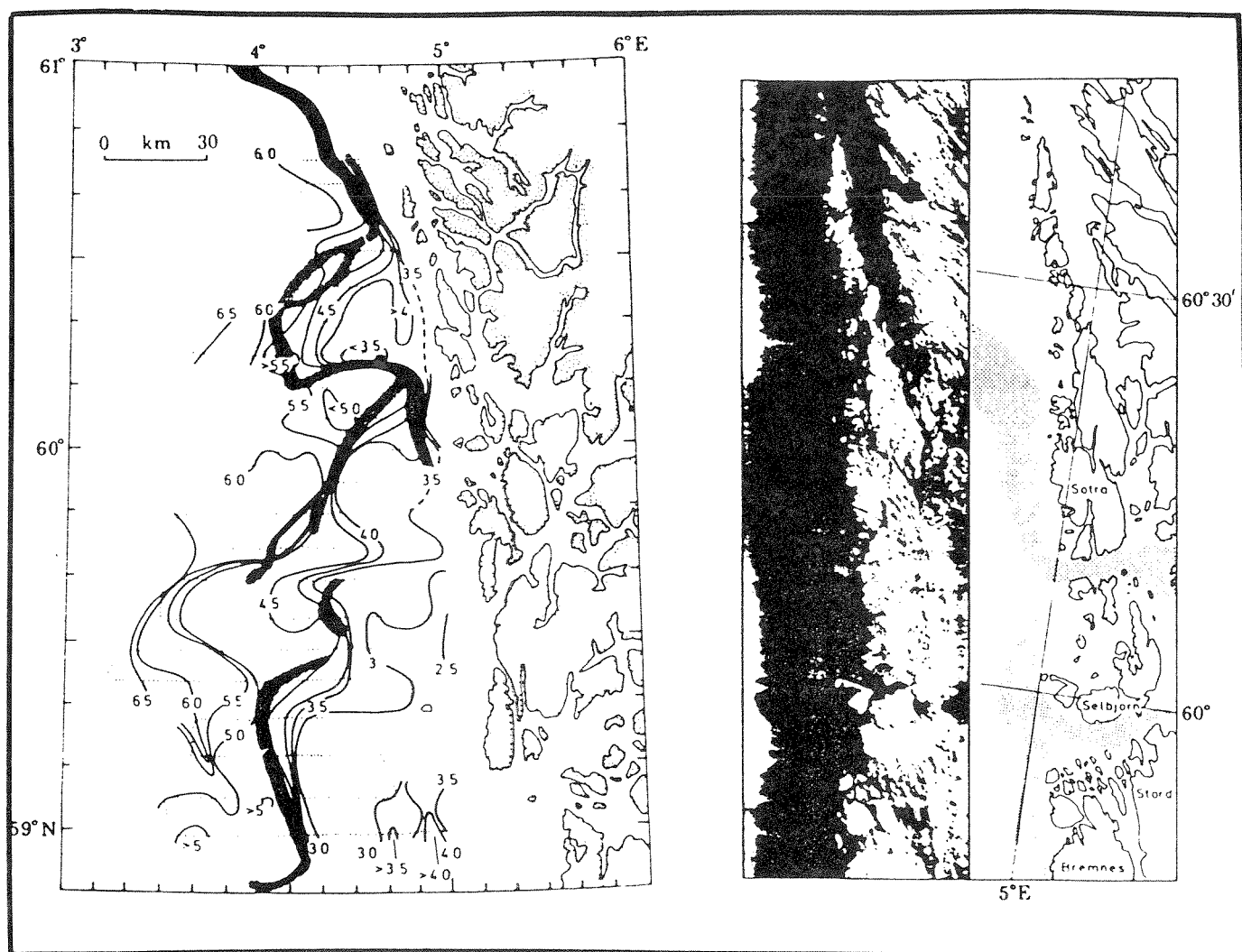


Fig. 3.1.1. Til venstre: Tetthetsvariasjoner i Kyststrømmen er knyttet til langbølgede svingninger av strømmen. Til h.: Terskeloverskyllinger om våren medfører utstrømming av kaldere fjordvann, lett synlig på satellittbilder. (Mork, 1981).

Det s.k. estuarine strømningsmønsteret er ofte sterkt modifisert av vind (se Fig. 3.1.2.), 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 Ryfylkefjordene eksisterer det en fysisk 2D modell, (Fig. 3.1.3), og det arbeides med en 3D modell såvel som økologiske modeller. For Masfjorden arbeides det også med modellering av økosystemet (Aksnes m. fl. 1988).

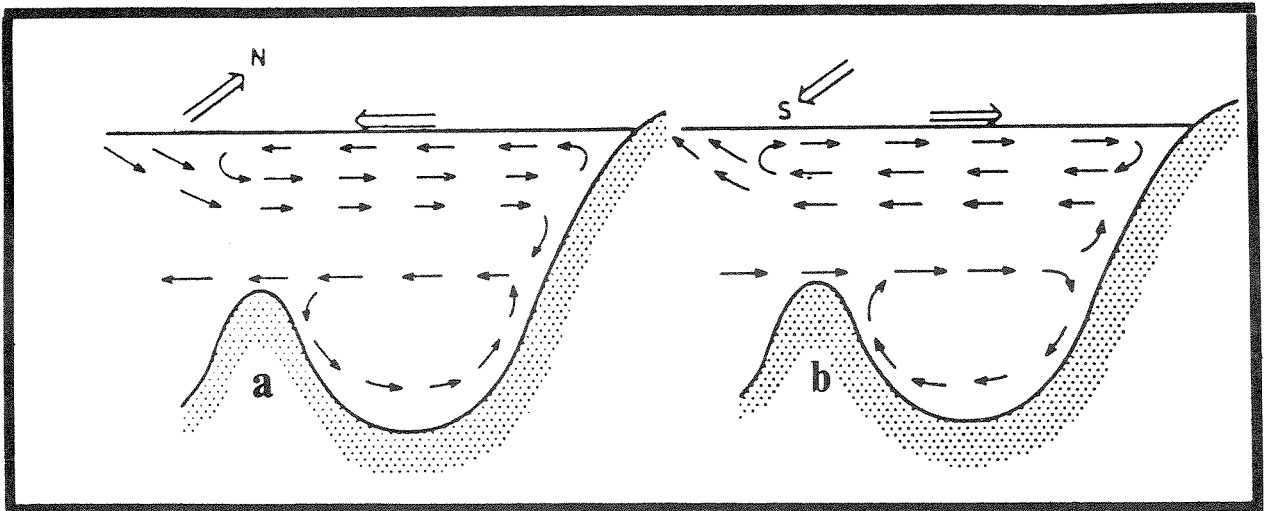


Fig. 3.1.2. Skisse av sirkulasjonen i en terskelfjord for framherskende vind. a: vind ut fjorden, og mot nord på kysten. b: Vind inn fjorden, og mot sør på kysten (fra Magnusson m. fl. 1983).

Det kan nevnes at under algeoppblomstringen i Ryfylke sommeren 1989 blei det observert overflatestrøm som var rettet innover i Hylsfjorden (Golmen m.fl. 1989). Dette hang trolig sammen med stor ferskvannstilførsel til fjorden, bl. a. fra Suldalslågen. Dette sirkulasjonsmønsteret, med utoverrettet strøm i et underliggende lag (3-6 m dyp) medførte resirkulering og økt oppholdstid for overflatevannet.

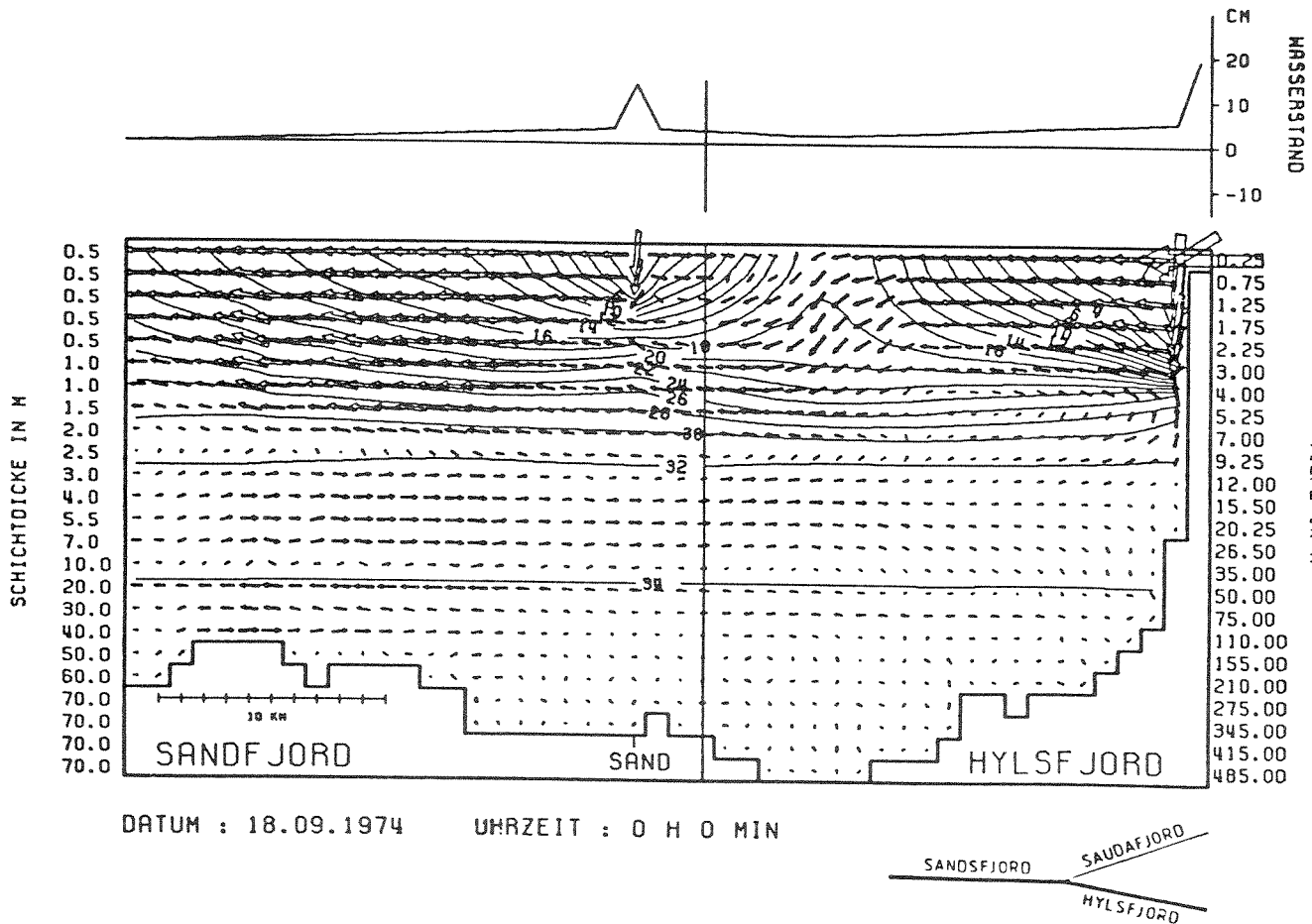


Fig. 3.1.3. Numerisk 2D simuleringsmodell for sirkulasjonen i Ryfylkefjordene. En ser tydelig virkningen av ferskvanns-tilrenningen fra Sulldalsslågen (Sand), med overflatefronter og nedstrømmingssoner (fra Mikki, 1986).

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).

Tversgående fronter er et karakteristisk trekk ved fjordene. Beliggenheten til disse vil i noen grad være bestemt av topografi, men varierende ferskvannstilrenning og vind kan forflytte fronten vesentlig. Fig. 3.1.4. viser eksempel fra Ryfylkefjordene.

Vertikalsirkulasjon er ofte assosiert med tetthetsfronter. Figur 3.1.5. viser eksempel på tverrsirkulasjons-mønster i en fjord, hvor rotasjonseffekten er vesentlig.

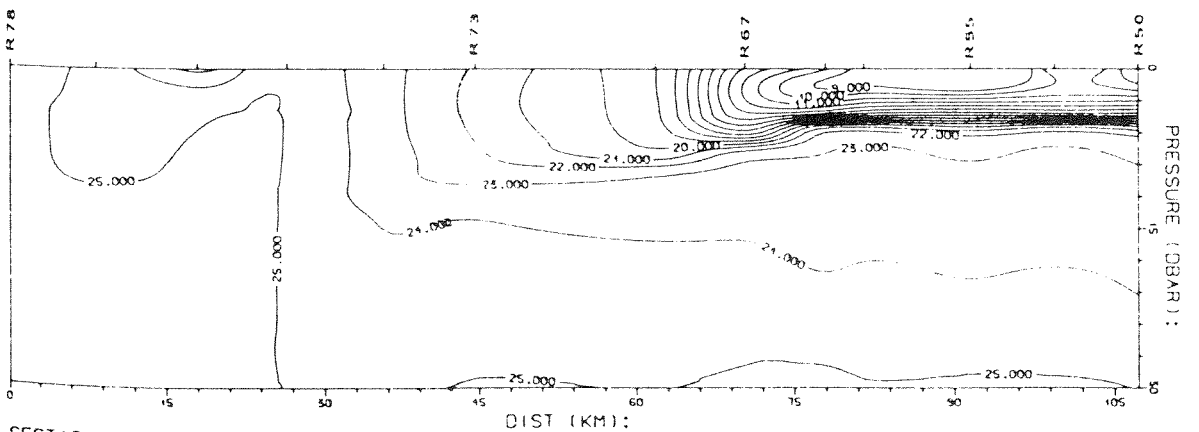
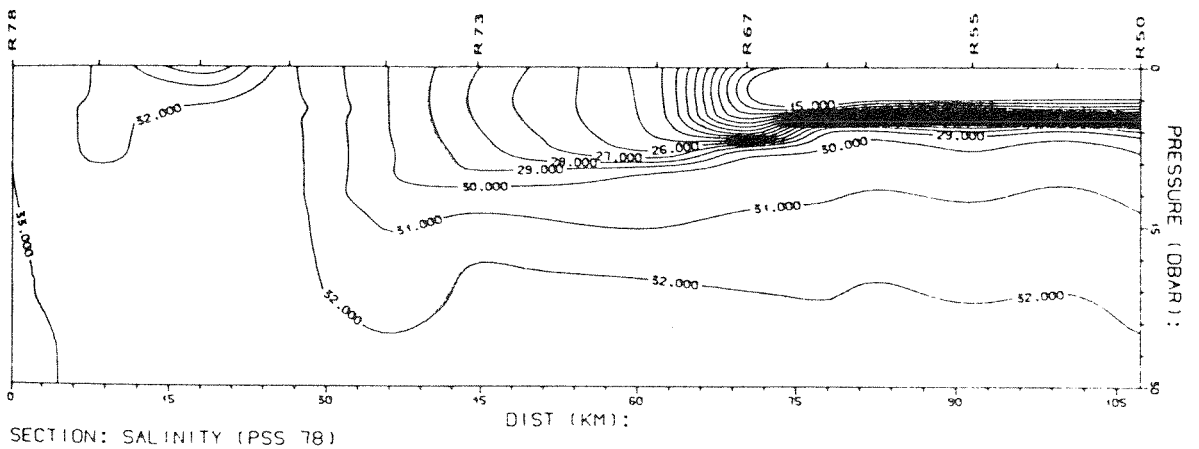
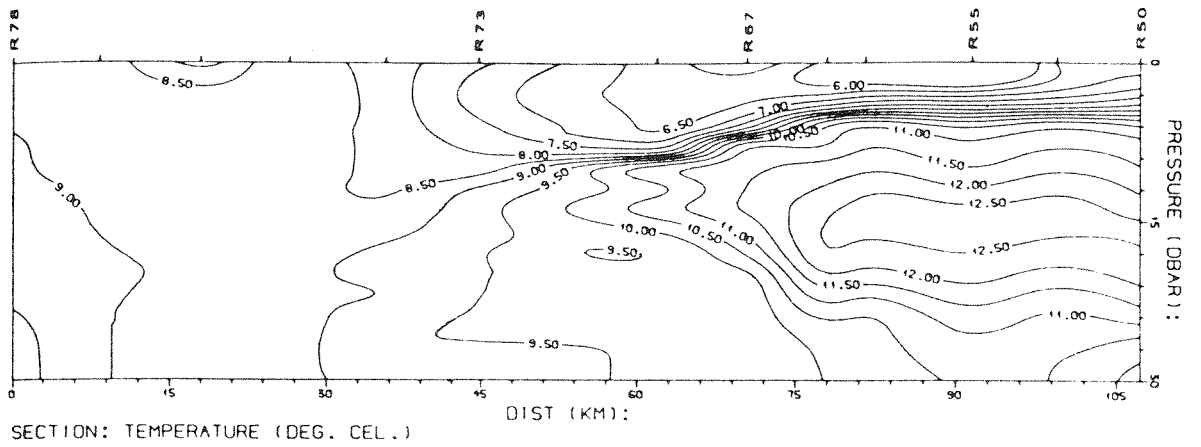
Eksempel på jordrotasjonens påvirkning av strømforholdene i et sund er vist i Fig. 3.1.6. Observasjonene er gjort i Tromsøsundet, hvor stor tidevannsamplitude genererer sterk tidevannsstrøm vekslende mellom nord- og sørgående.

### 3.1.2. Vannkvalitet og utskiftning.

#### 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 oppdrettsfisk. Noen slike fjorder blir benyttet som oppdrettslokaliteter. En må imidlertid her forutsette at det foreligger en rimelig kunnskap om dypvannsforholdene og utskiftningsdynamikken.



TIME: DEC. 5: 545 - DEC. 5:14 0 1982  
 POS: 59.03°N 5.08°E - 59.55°N 6.58°E  
 R 78 - R 50

Fig. 3.1.4. Vertikalfordelingen av temperatur, salinitet og densitet i et snitt langs Ryfylkefjord-systemet. Stasjon R50 er innerst i Hylsfjorden. R78 er ytterst i Boknafjorden. Fronten er tydelig markert mellom R73 og R67. (Fra Svendsen og Golmen, 1987).



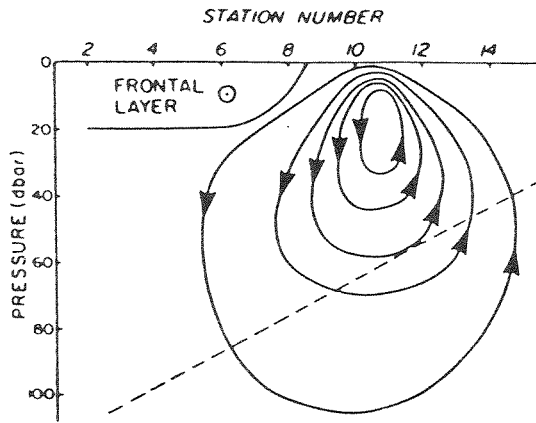


Fig. 3.1.5. Skissert tverrsirkulasjon i frontsonen i en fjord med Coriolis effekt (Tang, 1983)

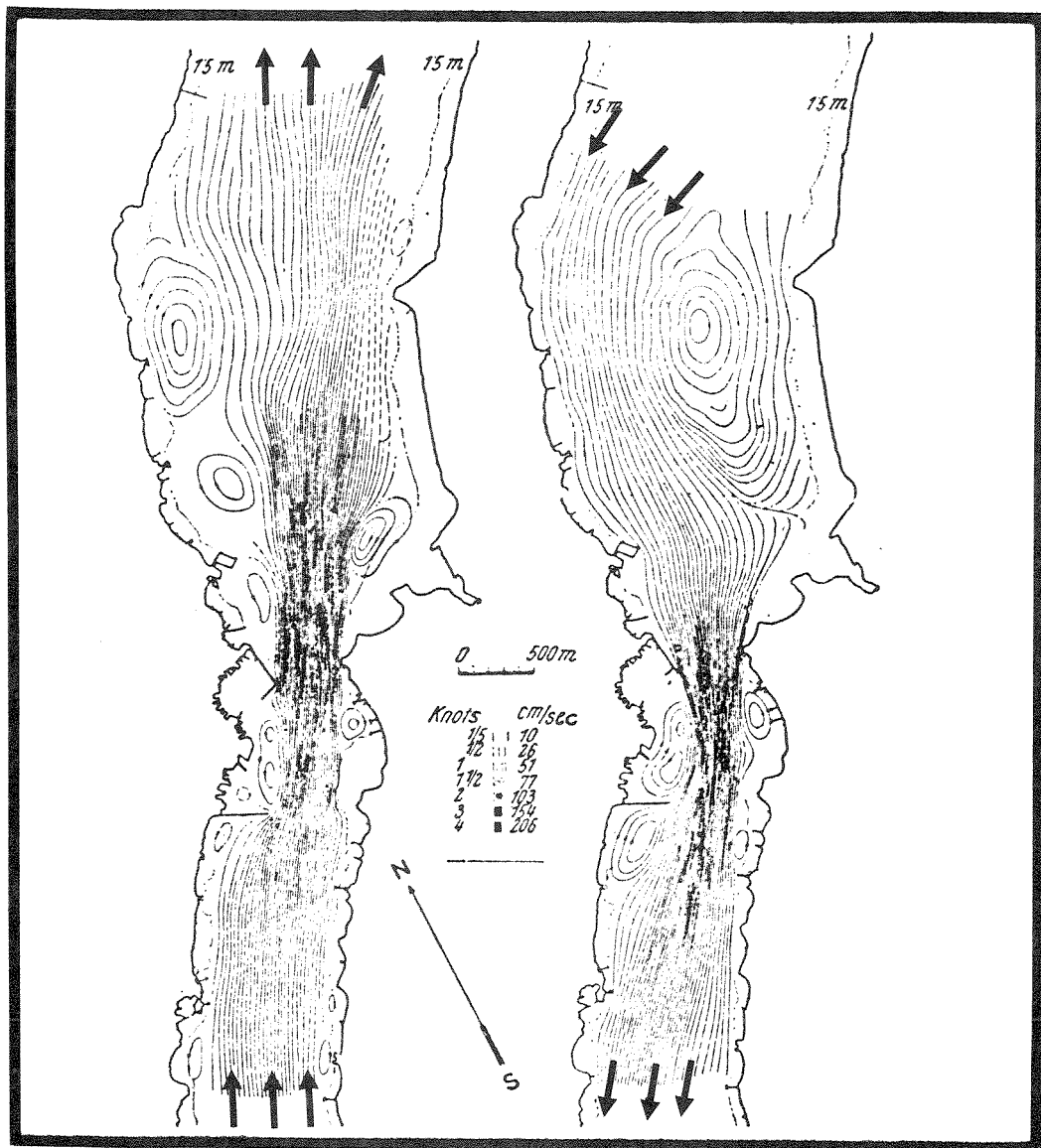


Fig. 3.1.6 Eksempel på jordrotasjonens påvirkning av strømningsmønsteret i et sund med vekslende strømretning (Fra Neuman, 1968).

### 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 utskiftningen i fjordene skjer, vil være avgjørende for kvaliteten til det nye vannet i fjorden. Vannutskiftning 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 inntraff vært svært mangelfull. Først i år 1989 er 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. Norge har her måttet innse sine internasjonale forpliktelser.

Kartleggingen av næringssalttransport i Kyststrømmen er også av betydning for eutrofisituasjonen i norske fjorder. I tillegg til vesentlige bidrag fra Østersjøen og sørlige Nordsjøen, anrikes Kyststrømmen av tilførsler fra de befolkningstette regionene på Øst - og Sørlandet (Faafeng og Ibrekk, 1989). Dens tilførsler til vestlandsfjordene kan en derfor anta har økende relativ betydning jo lenger nord en kommer. Videre mottar Kyststrømmen på sin veg også bidrag fra selve Nordsjøbassenget. Muligens er dette bidrag av en annen karakter enn næringssalter, f. eks. mer giftstoffer. Siden Vestlandsfjordene generelt har en liten (svak) eutrofigrad, vil bidraget fra innstrømmende kystvann være relativt sett viktig.

Merk at vi i dette avsnittet har gruppert lokale tilførsler (elver) som "ytre tilførsler. Til disse tilførslene hører også nedbør på fjordoverflaten, som kan være av betydning

som forurensningskilde (Schwikowski, m. fl., 1988, Faafeng og Ibrek, 1989), selv om en ennå vet lite om aktuelle luft-til-vann flukser her.

### 3.2. Hydrografiske forhold i Hardangerfjorden

Den første hydrografiske beskrivelsen av Hardangerfjorden blei presentert i en hovedoppgave (Solem, 1946). Presentasjonen baserte seg på data innsamlet mellom 1919 og 1939. Med unntak av noen sporadiske observasjoner, blei det ikke utført systematiske undersøkelser av Hardangerfjorden før i 1955. Fra 9 faste stasjoner H1-H9 blei det over ett år innsamlet data en gang pr. måned. Datamaterialet er seinere presentert (Sælen, 1962). Fig. 3.2.1a,b viser hydrografiske snitt til ulike årstider basert på disse dataene. Sælen (1967) drøftet disse dataene videre, og sammenliknet Hardangerfjordens hydrografi med andre vestlandsfjorder.

Svines (1970) presenterte en videre bearbeidelse av materialet fra 1955-56. Han vektla det horisontale strømningsmønsteret som årsak til målte variasjoner i salinitet, temperatur og oksygen i fjorden (vertikal blanding var av sekundær betydning). Videre fastslo han betydningen av variasjoner i kystvannet som årsak til inn/utstrømning vinter og vår, og ferskvannstilrenningen som viktigste årsak til dette om høsten.

I 1971-72 blei en undersøkelse omtrent som i 1955-56 gjentatt, med innbefatning av strømmålinger i Sørfjorden (Svendsen, 1976). Det blei påvist reduserte oksygenforhold i Sørfjordens dypvann. Haakstad (1979) presenterte strømdataene, supplert med noen målinger fra 1979. Han fant bl. a. en karakteristisk variasjon i strømmen med periode 4.1 timer. Denne variasjonen framkom også av målinger i dypvannet ved Huglo, og antas å være en resonanseffekt mellom den tredjeharmoniske komponenten til det halvdaglige tidevannet og Hardangerfjordens egensvingning (Haakstad, 1970).

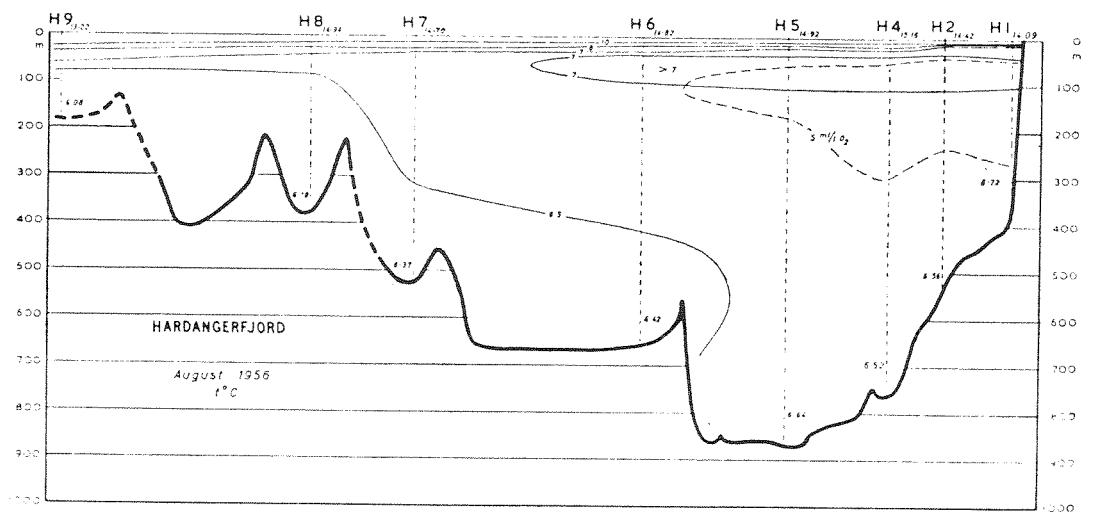
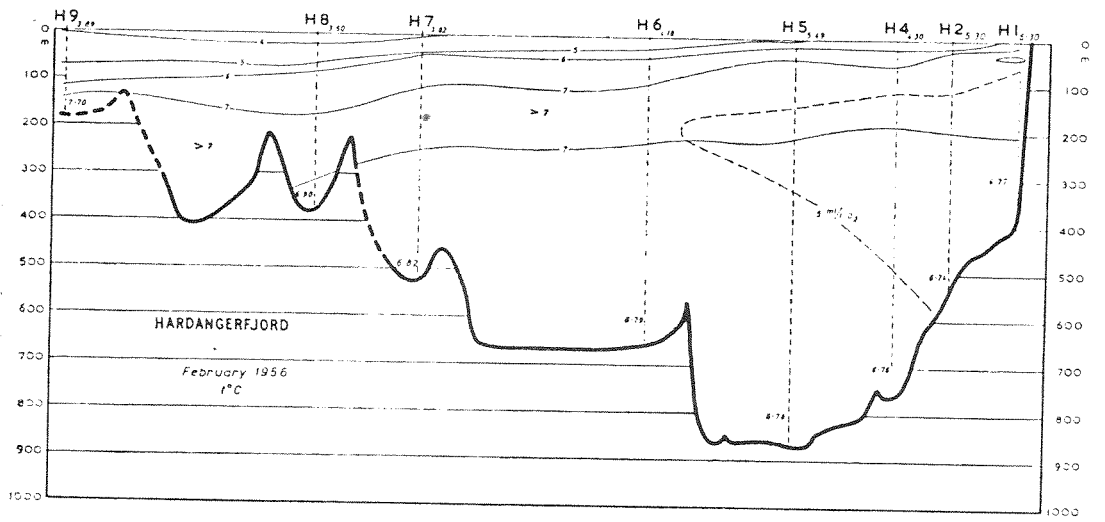
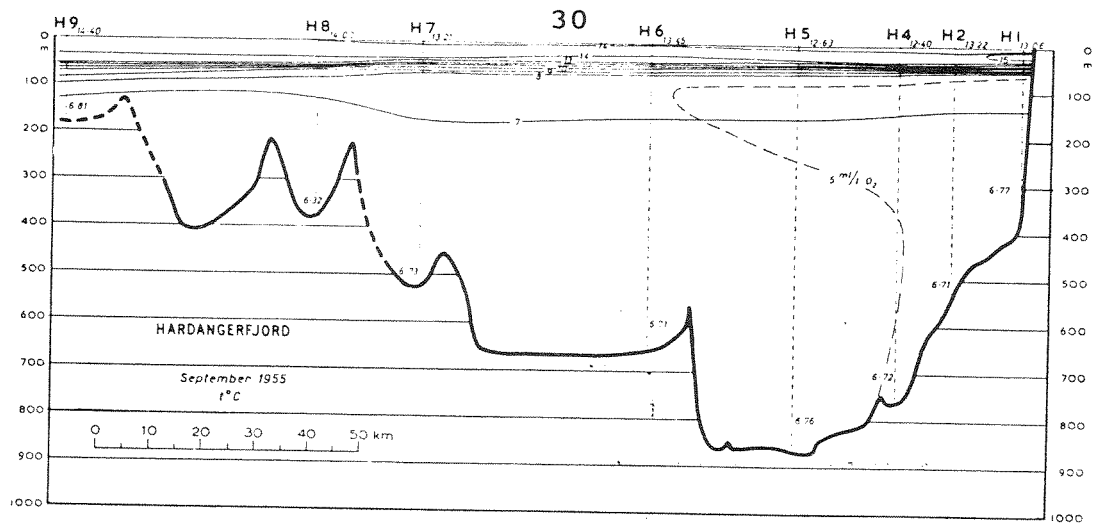


Fig. 3.2.1.a. Temperatur og oksygen i Hardangerfjorden observert i sept. 1955, februar og august 1956 (Sælen, 1962).

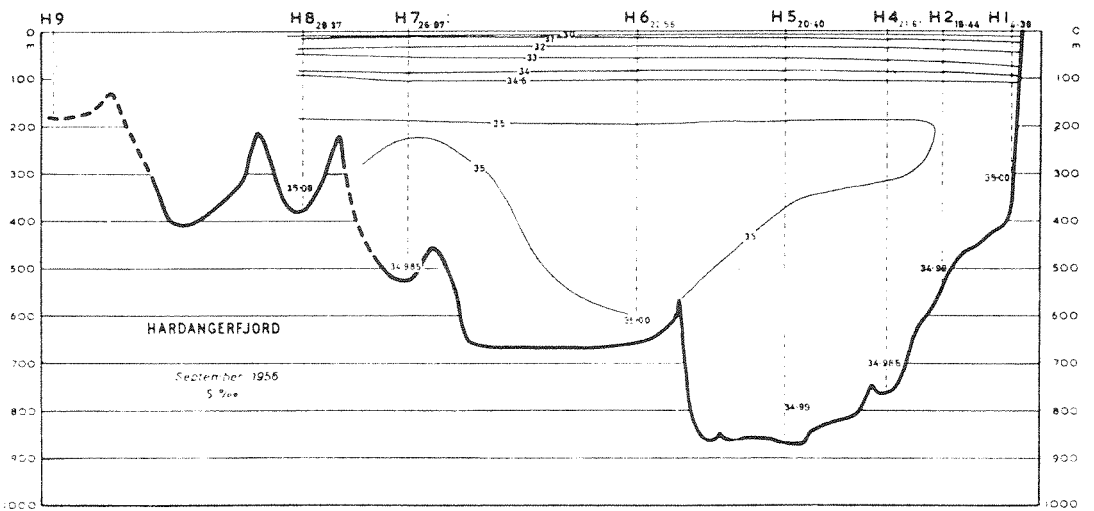
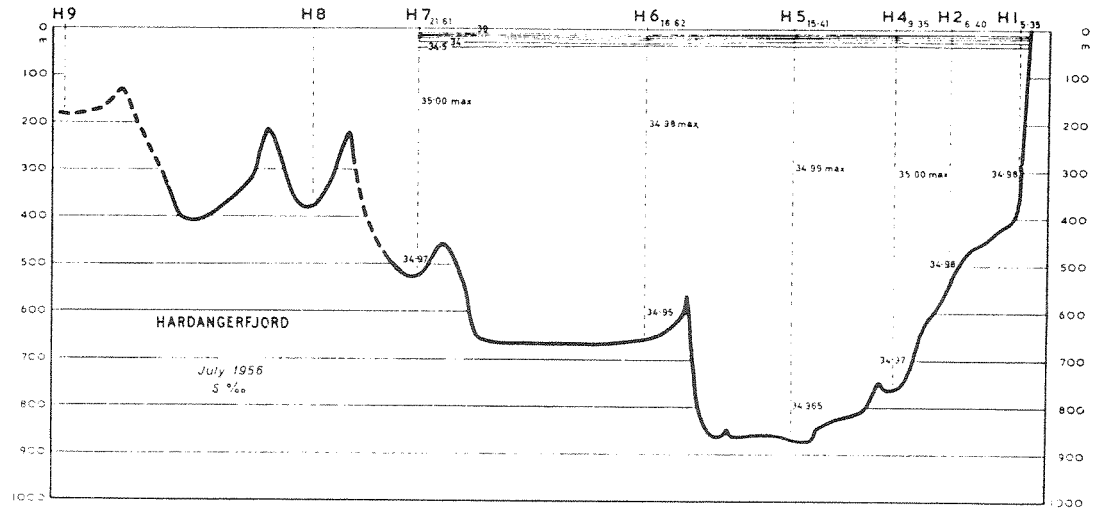
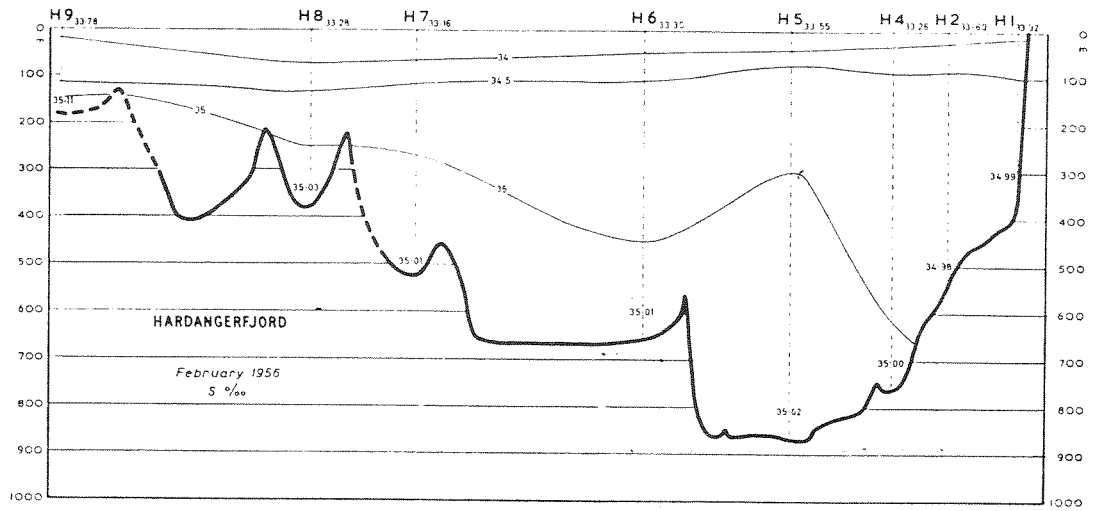


Fig. 3.2.1.b. Observert salinitet i Hardangerfjorden ved tre ulike tidspunkt i 1956. (Sælen, 1962).

Aure (1981) ga en kort presentasjon av Hardangerfjordens hydrografi: "I Hardangerfjorden er det i perioden fra juni til november et ca. 5 meter tykt brakkvannslag (fjordvann). I månedene mai, november og desember er området preget av overgangsvann mens det i de fire første månedene av året er kystvann i Hardangerfjorden med saltholdighet over 30. Gjennom et normalår varierer saltholdigheten mellom 15 og ca. 32.5, og temperaturen mellom 3.5 og 15°C. I kalde vintre kan temperaturen komme ned i ca 1°C, mens temperaturen i varme somre vil overstige 20 °C. I innelukkede områder er ofte temperaturen litt lavere om vinteren og litt høyere om sommeren p.g.a. lokal avkjøling og oppvarming." Basert på data inndelte Aure (1981) Hardangerfjorden (og andre fjorder) hydrografisk i en kystzone, overgangssone og en fjordsone (inkludert brakkvannssone). Det meste av Hardangerfjorden fikk karakteristikken "fjordsone" (se Aure 1981, side 28). Fig. 3.2.2. viser normalfordelingen for salinitet og temperatur over året for overflate- laget like innenfor Varaldsøy.

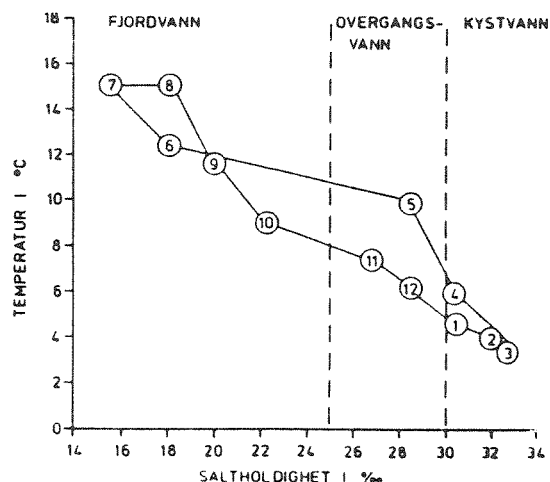
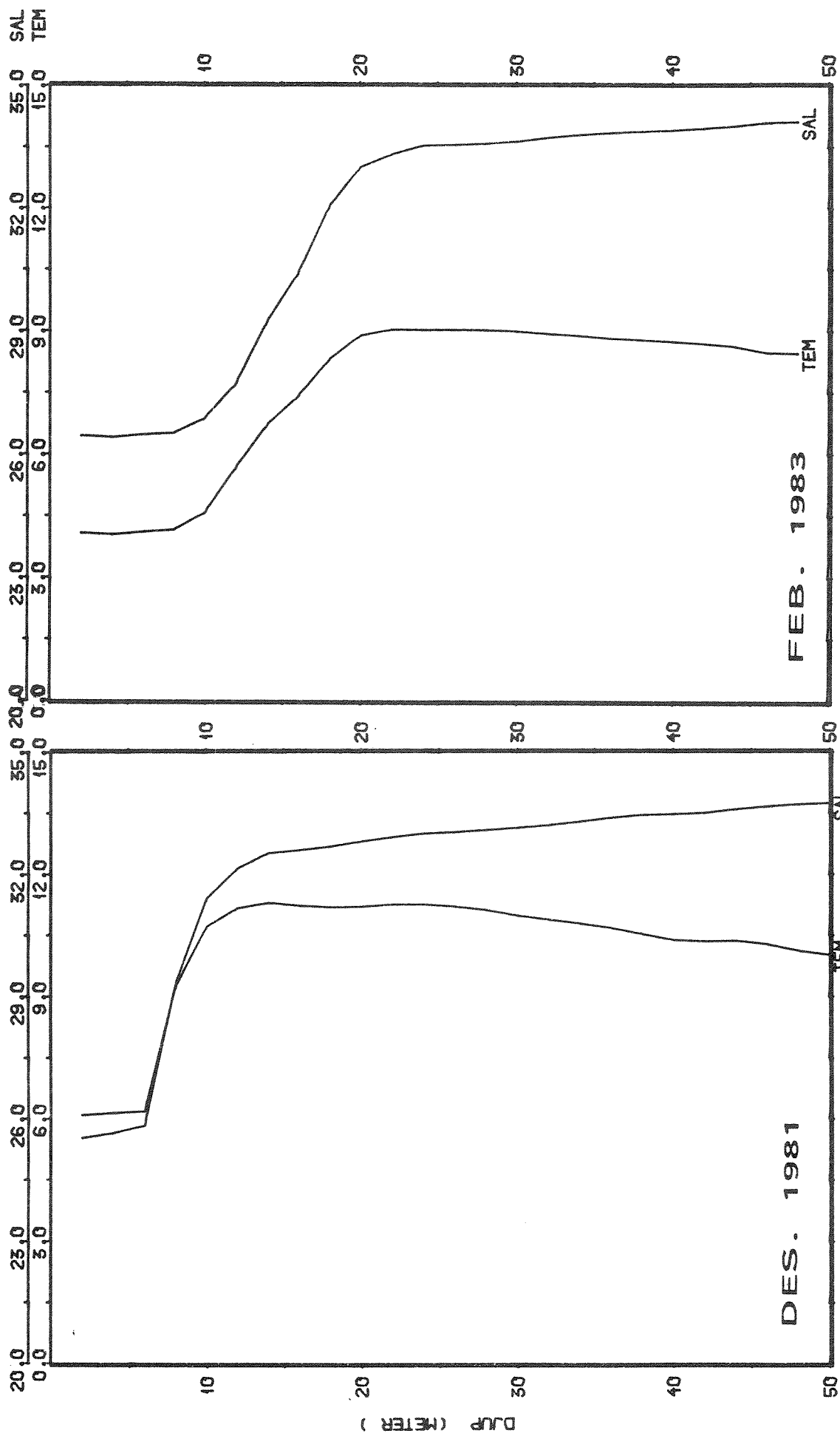


Fig. 3.2.2.  
Månedsmidler for temperatur og salinitet i overflatelaget i et normalår. Observasjonene er fra Hardangerfjorden, ca. 10 km innafor Varaldsøy (fra Aure, 1981).

Universitetet i Bergen (Geofysisk Institutt) har foretatt kortvarige undersøkelser i Hardangerfjorden i 1980-årene (Golmen m. fl. 1982, Magnusson m.fl. 1983). Noen resultat fra disse rapportene er presentert her. Fig. 3.2.3. viser vertikalprofil av salinitet og temperatur ved Varaldsøy h.h.v. 2/12-1981 og 5/2-1983.



VERTIKAL PROFIL: VARALDSØY  
 STA: 17 ; POS:60.141°N 6.060°E ; TIME:83. 2. 5 : 20. 1

VERTIKAL PROFIL: VARALDSØY  
 STA: 247 ; POS:60.141°N 6.060°E ; TIME:81.12. 2 : 0. 8

Fig. 3.2.3. Vertikalprofiler av salinitet og temperatur ved Varaldsøy i desember 1981 og februar 1983.

Fig. 3.2.4. viser tidssisopleter av temperatur, salinitet og densitet i sjøen ved Huglo over en 7 timers periode i februar 1983. Figuren indikerer størrelsesorden på hvilke korttidsendringer (tidsskala timer) som opptrer i vannsøylen.

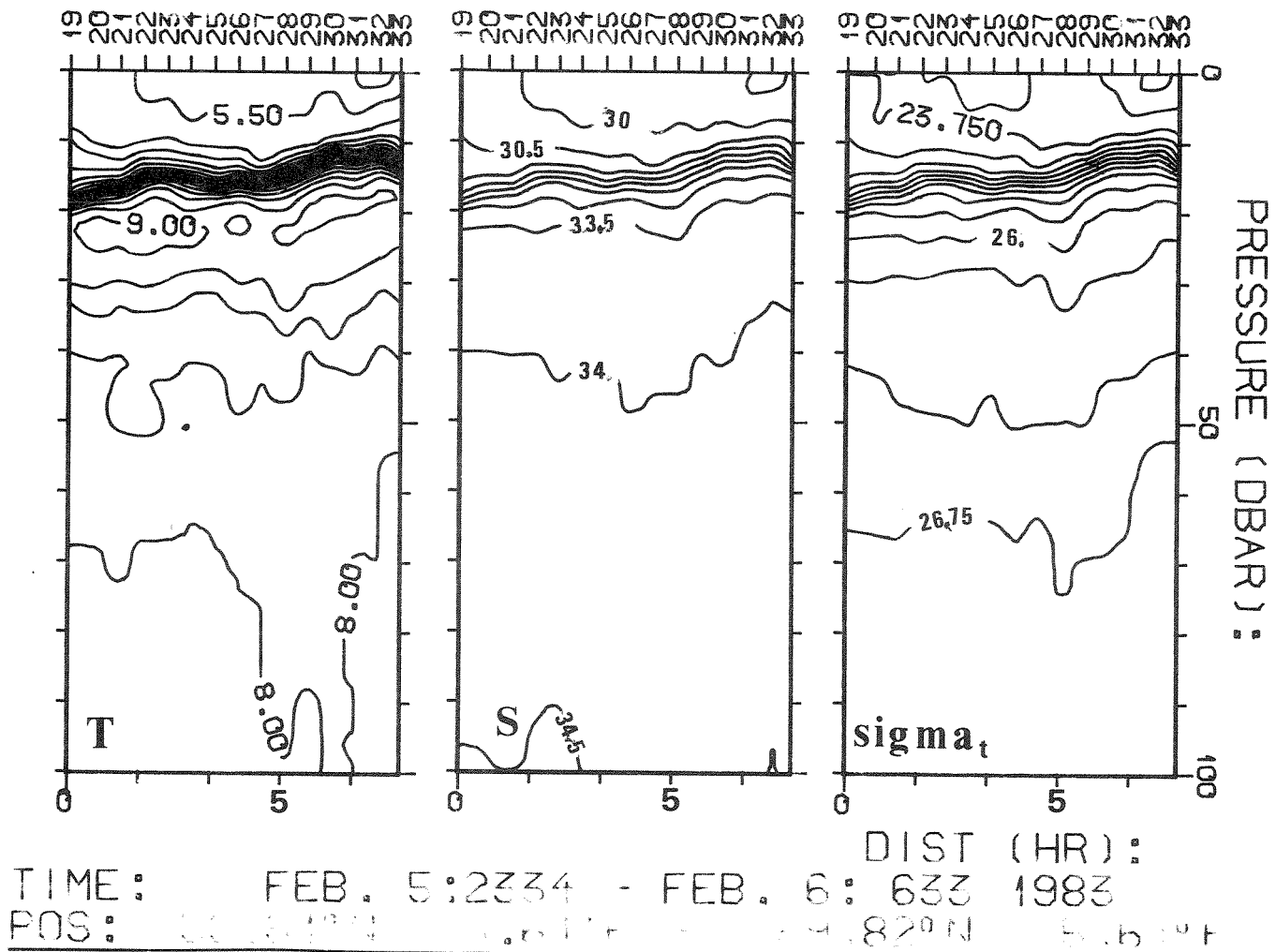


Fig. 3.2.4. Observert temperatur (T), salinitet (S) og tetthet mellom 0 og 100 meters dyp over en 7 timers periode, februar 1983.

Havforskningsinstituttet gjør for øvrig en del hydrografi-målinger på sine rutinemessige tokt i Sunnhordlandsfjordene for kartlegging av fiskeriressurser. Disse dataene blir sjelden rapportert særskilt, og er lite tilgjengelige. Aure (1981) benyttet en del av disse dataene i sin analyse.



### 3.3. Biologiske forhold, alger

Lyset er begrensende for vekst av planktonalger om vinteren. Mye vind gjør at næringsrikt dypvann kommer opp i de øvre vannlag og blandes. Vannsøylens produktive del er således tilført ny næring i løpet av den mørke årstid. Allerede på vinteren (i februar) kan lyset være sterkt nok til å starte en algeoppblomstring (Fig.3.3.1). Dette forutsetter en lengre periode med gode værforhold (mye sol og

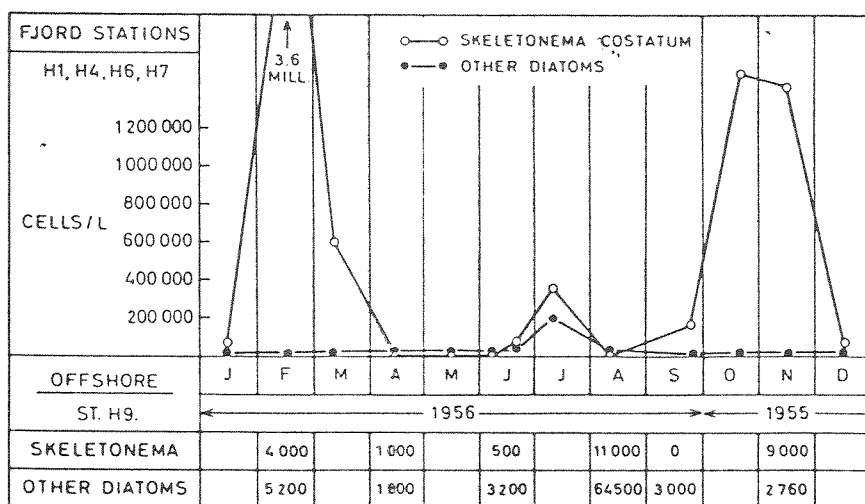
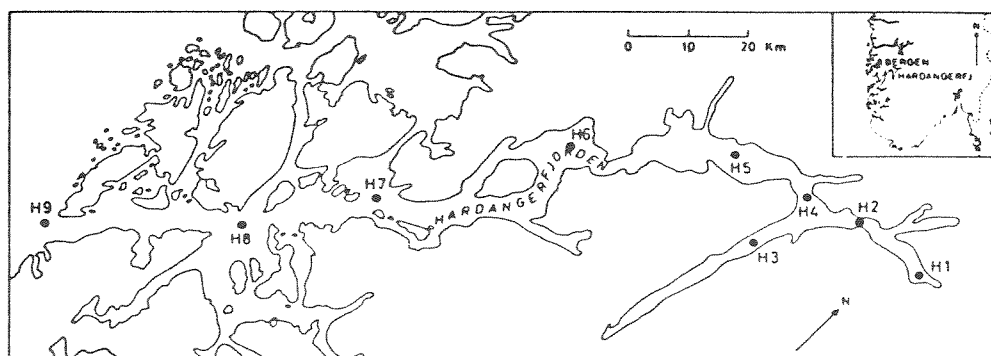


Fig. 3.3.1. Maksimumskonsentrasjoner av diatomeer på ulike stasjoner i Hardangerfjorden (H1, H4, H6, H7) i 1955-56. (Etter Braarud et al. 1974).

lite vind). Avgjørende i denne sammenheng er at algene ikke føres for langt ned i vannsøylen der lysforholdene er mindre gunstige. Dette unngås gjerne i stratifiserte vannmasser. Disse er karakterisert ved et stabilt overflatelag av brakkvann, adskilt fra de underliggende vannmasser ved et sprangsjikt (stor økning i sjøvannets densitet over et relativt lite dybdeintervall). Dette er ofte en typisk situasjon innerst i fjorder og andre beskyttede områder. Det er her viktig å skille mellom vassdragsregulerte fjorder og vanlige fjorder. I førstnevnte kategori tilføres fjorden mer ferskvann i vinterhalvåret enn det som er normalt ellers. En vil derfor kunne forvente en tidligere oppstart av algeoppblomstringen i slike fjorder.

I ytre strøk er det mer vanlig at våroppblomstringen av kisel-alger (diatomeer) skjer seinere enn i fjordene, vanligvis i mars (Fig. 3.3.2, Fig. 3.3.3). Dette har som nevnt sammenheng med eksponering og nedblanding av alger til mindre gunstige lysforhold. Mens oppblomstring i fjordene har en begrenset utbredelse er oppblomstringen i ytre områder svært omfattende. Den brer seg over store områder via kyststrømmen, og starter seinere jo lenger nordover en kommer langs kysten. Våroppblomstringer kulminerer vanligvis p.g.a. næringsmangel og/eller beiting av dyreplankton.

Ny oppblomstring kommer gjerne i mai etter at den produktive delen av vannsøylen er blitt tilført ny næring ved tilførselen nedenfra. Dette skjer ved oppstrømming av dypvann når vindretningen er slik at overflatevann føres ut fra land. Avhengig av de hydrografiske forholdene kan oppblomstringen i mai bestå av kiselalger eller flagellater (Fig. 3.3.2 og 3.3.3). I mai 1988 var det den beryktede flagellaten Chrysochromulina polylepis som slo til.

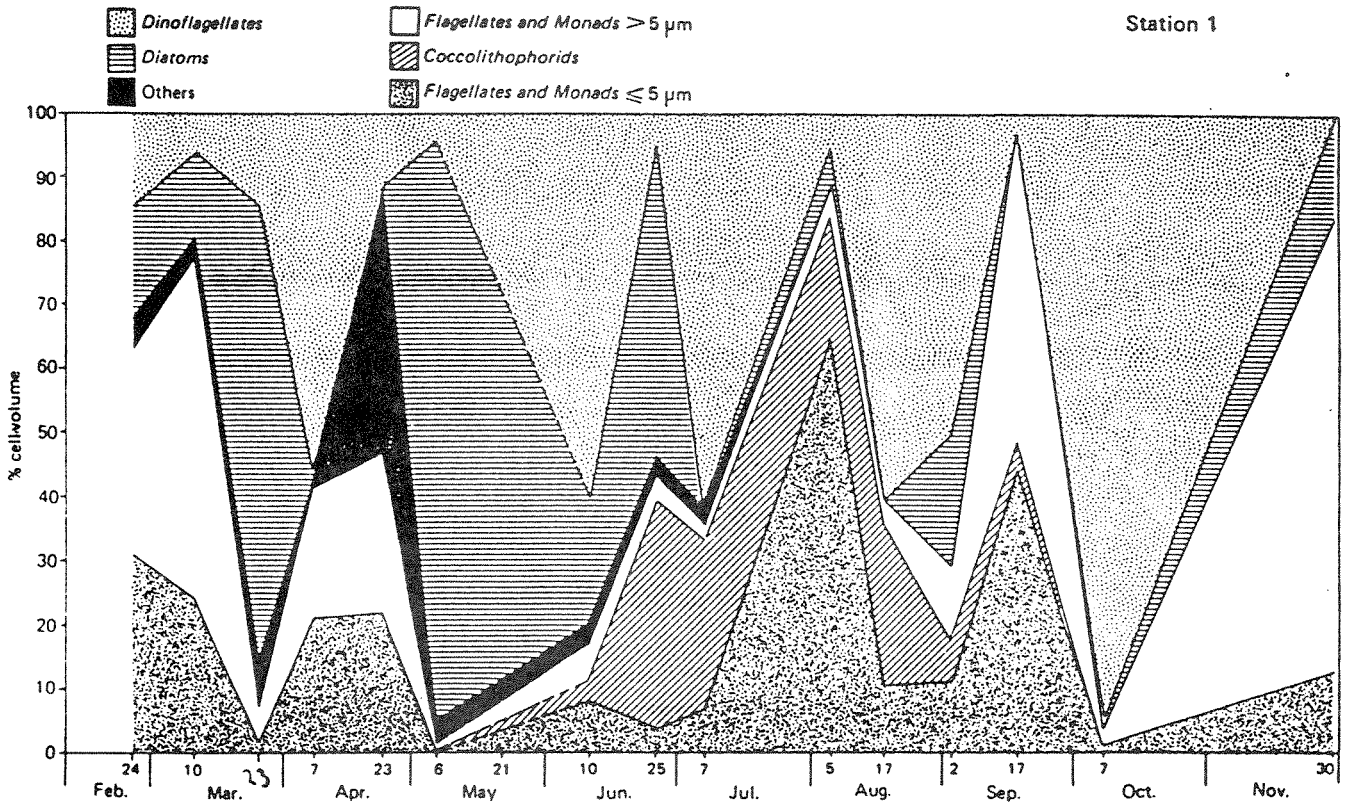


Fig. 3.3.2. Prosentfordeling av maksimale celletall gjennom vårsesongen 1977 i Korsfjorden sør for Bergen. (Etter Erga, 1980).

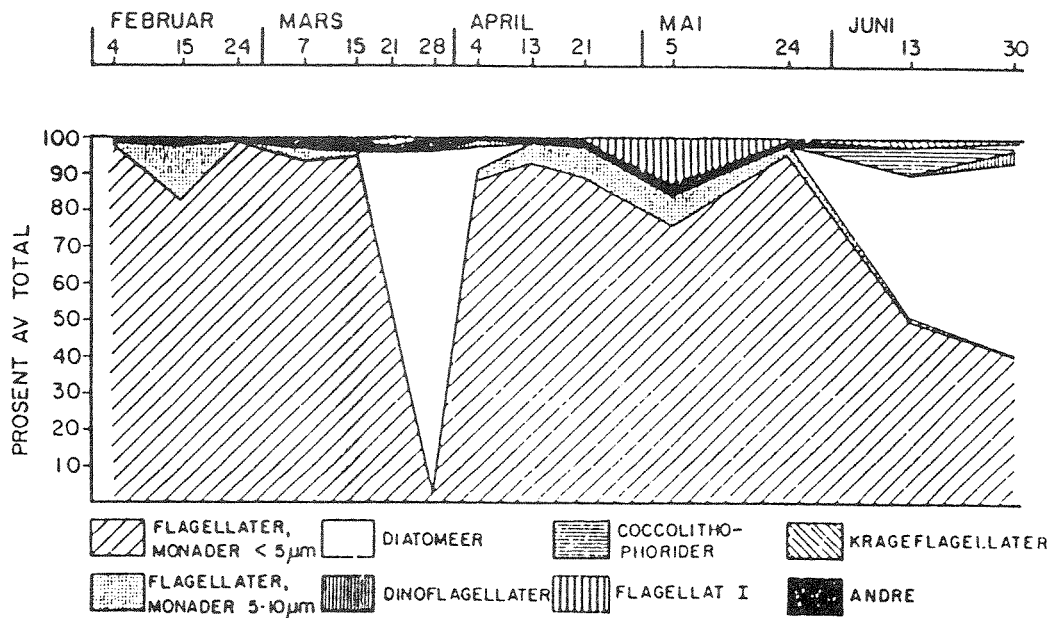


Fig.3.3.3. Prosentfordeling av planteplankton cellvolum i Boknafjorden 1981. (Etter Erga og Sørensen, 1982).

Hvorvidt der er noen utveksling av alger mellom kystvannet og fjordene er bl.a. avhengig av vindretninger.

Utover sommeren er det gjerne små flagellater som dominerer sammen med Emiliana huxley (Fig. 3.3.3). Oppblomstringen av E. huxley er ofte et særtypisk fjordfenomen som gir sjøen en melkevit farge. Denne forekommer i størst antall i perioden juni-juli. Videre utover sommeren er det som regel små mengder det er snakk om p.g.a. næringsmangel. Spesielt utpreget er dette under lange perioder med rolig vær.

Et annet karakteristisk trekk ved fjordene om sommeren er et dypt maksimum av kiselalger (10-20 m dyp) (Fig.3.3.2 og 3.3.3). Disse algesamfunnene er samlet på undersiden av spranlaget. Her er de sikret næringstilførsler nedenfra og lysintensiteten er tilstrekkelig til å holde veksten i gang. Disse oppblomstringene er ikke så regulære som våroppblomstringen. Lokale fenomener med oppblomstring av giftige dinoflagellater er også vanlig om sommeren.

Mye vind på høsten resulterer i omrørte vannmasser og ny tilførsel av næring til den produktive delen av vannsøylen. Dette sammen med gunstige hydrografiske forhold kan føre til en ny oppblomstring av diatomeer og dinoflagellater (Fig.3.3.1 og 3.3.3). Siden begynnelsen av 80-årene har masseforekomster av dinoflagellaten Gyrodinium aureolum vært en vanlig foreteelse om høsten. Dinoflagellatene ser ut til å være mer tolerante enn diatomeer når det gjelder evnen til å vokse opp under mer ugunstige værforhold som svakt lys, mye vind og lite næring. Dette kan tilskrives deres bevegelighet (de kan svømme opp til 10 m om dagen). Oppblomstringen av giftige dinoflagellater om høsten kan være et lokalt fjordfenomen eller dekke store områder (spredning via adveksjon).

#### 4. OPPDRETTSMESSIGE FORHOLD I HARDANGERFJORDEN

##### 4.1. Eksisterende oppdrettsaktivitet

Hardangerfjorden, fra og med Snilstveitøy i sør og fjorder og fjordarmer innover, hadde pr. 20/10 -89 22 godkjente konsesjoner; 15 settefiskanlegg, 6 matfiskanlegg og ett stamfiskanlegg; jfr. tabell 4.1. og fig. 4.1.

Tabell 4.1. Tildelte konsesjoner pr. 20/10 1989 fordelt på kommuner i Hardangerfjorden.

	Settefiskanl.		Matfiskanl.	
	Gj.snitt		Gj.snitt	
	Ant.anl.	ant.fisk	Ant.anl.	m <sup>3</sup>
Odda	1*	-	-	-
Ullensvang	2*	-	-	-
Eidfjord	-	-	-	-
Ulvik	-	-	-	-
Granvin	-	-	-	-
Kvam	5*	482.000	4	8.000
Jondal	2*	650.000	1	12.000
Kvinnherad	5	ca.500.000	1	8.000
Sum (gjennomsnitt)	15	(ca.518.000)	6	(8.666)

\* = Anlegg ikke avmerket på fig. 4.1.

Kilde: Fiskeridirektoratet.

Når det gjelder anleggenes størrelse oppgir Fiskeridirektoratet kun aggregerte tall på kommunenivå. Settefiskanleggene har gjennomsnittlig ca. 518.000 smolt. De fleste matfiskanleggene er på 8.000 m<sup>3</sup>, men mange av disse har søkt om utvidelse til 12.000 m<sup>3</sup>. Kommunene Eidfjord, Ulvik og Granvin har ikke oppdrettsvirksomhet.

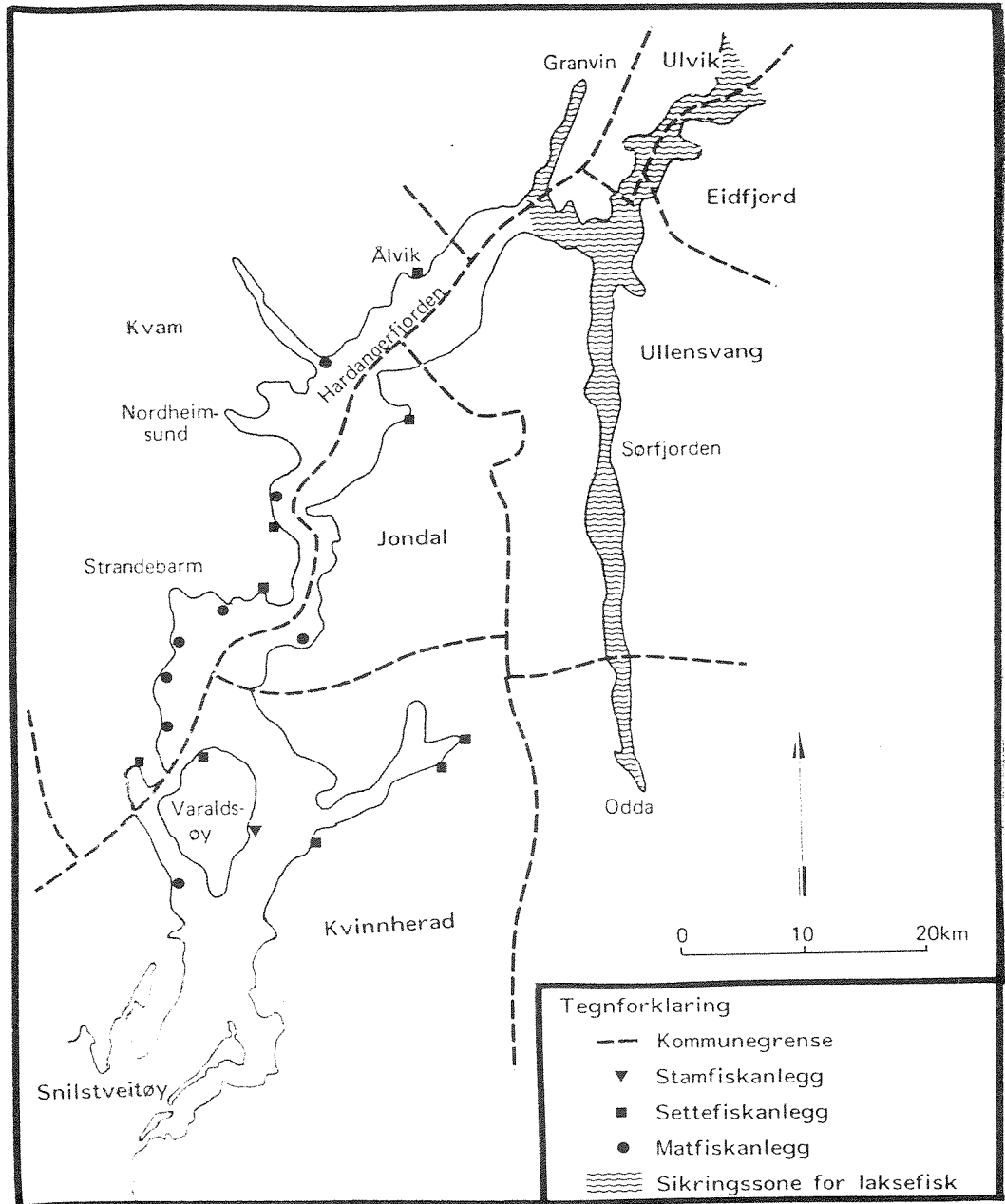


Fig. 4.1. Oppdrettsaktiviteter i Hardangerfjorden, pr. okt. 1989.

Totalt er det 329 oppdrettsanlegg i hele Hordaland. Fylket har 115 settefiskanlegg og 133 matfiskanlegg, Hardangerfjorden har dermed 13% av totalt antall settefiskanlegg i fylket og 4,5% av antall matfiskanlegg. Hardangerfjorden har altså forholdsvis stor andel settefiskanlegg fylket sett under ett, mens andelen matfiskanlegg er mer beskjeden.

#### 4.2. Sikringssone for laksefisk

Sørfjorden, Eidfjorden og Granvinfjorden er etablert som sikringssone for laksefisk. Sikringssonen ble etablert fordi en ønsket å begrense sykdomsspredning og genetisk påvirkning mellom villfisk og oppdrettsfisk.

Innenfor sonen er det restriksjoner på oppdrett. Nyetablering og utvidelse av eksisterende anlegg er pålagt strenge restriksjoner når det gjelder anleggstype, teknologi og kontroll. Restriksjonene gjelder anadrom fisk og stasjonære ferskvannsarter, men omfatter ikke oppdrett av marine arter, skjell og skalldyr.

Fram til 20/10-1989 var det gitt konsesjoner til 3 settefiskanlegg innenfor sikringssonen.

#### 4.3. Forurensning i Sørfjorden

Sørfjorden og Hardangerfjorden er tilført tungmetaller (kvikksølv, bly, kadmium, og sink som de viktigste stoffer) fra industrivirksomhet i Indre Hardanger.

På grunn av forurensningene er det foretatt flere undersøkelser for å studere virkningene av dette på biologisk materiale i fjorden.

Høye konsentrasjoner av tungmetaller (dvs. større enn 10,0 ppm) er funnet innerst i Sørfjorden. Konsentrasjonene avtar

lengre ut, men konsentrasjoner (mindre enn 0,2 ppm) er funnet helt ut til nordspissen av Varaldsøy, Skei (1986) og Statistisk Sentralbyrå (1988).

Julshamn m. fl. (1985) undersøkte fisk og blåskjell for innhold av sporelementer og klorerte hydrokarboner (PCB, PAH) i 1983-84. Utenfor selve Sørfjorden var fisken lite forurenset, og oppdrettsfisk (laks og ørret) hadde normalverdier av Cu, Zn, Cd, Pb og Hg. Skei m.fl. (1989) har gjort en oppfølgende miljøundersøkelse i Sørfjorden og Hardangerfjorden i 1987-88. Undersøkelsen gav grunnlag for flg. konklusjoner:

1. Observasjoner gjort 1 - 1 1/2 år etter at utslippet av jarositt til Sørfjorden opphørte, viser at metallforurensningen er på retur. Tydeligst respons registreres på vannkvaliteten på midlere dyp (20-40 m) i Oddaområdet. Her har nivåene gått ned med 80-90%.
2. Utslippsreduksjoner kan også registreres i nivåene av metaller i blåskjell og tang. Selv om nivåene fortsatt er for høye i forhold til normalverdier, har de gått betydelig ned både i Hardangerfjorden og Sørfjorden i forhold til registreringer gjort i perioden 1982-1984.
3. Minst endring i forurensningsnivået ble registrert hos fisk og i overflatevannet. Dette kan skyldes at fisk fortsatt lever av næringsdyr som er forurenset (spesielt bunndyr) og at overflatevannet forurennes ved oppvirvling av sedimentene i den grunne Eitheimvågen.
4. Det fremgår at torsken fra Sørfjorden ikke bare viser overkonsentrasjoner av metaller, men også av PCB. Årsaken til dette bør oppklares.



Forurensningen i Sørfjorden har ført til restriksjoner på utøvelse av yrkesfiske, sportsfiske, skjellsanking og havbruk. Undersøkelser ved oppdrettsanlegg i Kvam har ikke kunnet påvise negativ effekt av forurensning i Sørfjorden eller forhøyet konsentrasjoner av miljøgifter i oppdrettsfisk (Julshamn 1985).

Basert på disse undersøkelsene kan vi ikke se at det av forurensningsmessige grunner er betenkelig med oppdrett av konsumfisk ved Varaldsøy. Det foregår forøvrig nå undersøkelser omkring forurensningseffekter i bunnsedimenter i Hardangerfjorden, fra Varaldsøy og ut til kysten. Disse undersøkelsene blir utført av NIVA og NGU i samarbeid. Redsultat vil foreligge i løpet av 1990.

#### 4.4. Helsestress og smittefare

Hardangerfjorden har vært regnet som et bra område for oppdrett av laksefisk. Området har hatt lite sykdom på fisken og det har vært små problemer med lakselus.

I 1989 er imidlertid flere matfiskanlegg rammet av fiskesykdommen infeksiøs lakseanemi (ILA). Dødeligheten i anlegg som rammes av ILA varierer betydelig, men kan gå opp mot 100%. Anlegg som rammes blir pålagt restriksjoner etter fiskesykdomsloven, og må sanere anlegget og som regel flytte virksomheten til ny lokalitet (Soldal, 1989).

ILA skyldes trolig et virus (ennå ikke identifisert), og er svært smittsom. Smitten kan bl.a. overføres med blod (røde blodlegemer) (Christie & Hjeltnes, 1989). Slakte- og pakkeanlegg for laks er derfor potensielle smittespredere, så lenge ikke avløpet er effektivt desinfisert.

Avstanden fra lokaliteten som er undersøkt for MOWI til anlegg smittet av ILA er ca. 13 km. Det nærmeste slakte- og pakkeanlegget for oppdrettsfisk er ca. 15 km fra den undersøkte lokaliteten, og dette er nå godkjent for

sanitetsslakting (Soldal, 1989).

Av andre smittsomme sykdommer er det BKD (bakteriell nyresyke) og furunkulose som bekymrer norsk oppdrettsnæring. Distriktene som nå er plaget av disse sykdommene ligger langt unna Hardangerfjorden.

## 5. DATAPRESENTASJON

Figurer som refererer seg til avsnitt 5.1 og 5.2 er samlet i appendiks som figur A1 - A8.

### 5.1. Hydrografi

#### 5.1.1. Sjiktning

Figur A1a - A1d viser vertikallprofiler av h.h.v. salinitet, temperatur og oksygen (evt. sigma-t) ved oppdrettslokaliteten ved fire ulike tidspunkt i løpet av vår måleperiode. Målingene blei foretatt i samband med utsetting, inspeksjon og opptak av måleriggene, og gir således ikke detaljopplysninger om eventuelle korttidsvariasjoner i vannsøylen.

Profilene indikerer et øvre gjennomblandet 2-3 m tykt brakkvannssjikt. Kraftigst brakkvannskaraktistikk var det 29/8-89, med salinitet rundt 8 i dette laget. Ved de øvrige tre tidspunktene lå saliniteten i øvre lag mellom 10 og 17. Temperaturen i øvre lag lå mellom 14°C og 17°C (24/7). Sprangsjiktet under overflatelaget er ved alle tidspunktene svært markert. Selve tykkelsen på dette sprangsjiktet (pyknoklinen) er 1-2 meter. Spranget i salinitet er av størrelsesorden 20 promille eller mer gjennom dette sjiktet, m.a.o. kraftig endring av salinitet med dypet. Temperatursjiktningen avtar utover sommeren (størst i juni-juli).

#### 5.1.2. Hydrografiske tidsvariasjoner

Fig. A2a og A2b viser tidsutvikling av h.h.v. salinitet og temperatur i 4 m dyp i posisjon R2 (fig. 1.2). Disse målingene er gjort samtidig med strøm, i det strømmålerne også logger S og T. Tidsintervallet mellom hver registrering er 15 minutter. Vi har valgt å presentere seriene fra kun den ene måleren. Forskjellen i S og T mellom R1 og R2

var som ventet liten, siden det dreiet seg om samme måledyp, og om liten horisontal avstand (ca 200 m). De små avvikene det dreier seg om, kan like godt skyldes en liten forskjell i faktisk måledyp, jamfør omtale av sjiktning i avsnitt 5.1.1. Diskusjon av dataene følger i kapittel 6.

## 5.2. Strøm

I noen grad velger vi å presentere måleresultat fra begge riggene, R1 og R2, siden det blei observert visse forskjeller i strøm i de to posisjonene. Vi presenterer såvel statistikk som tidsserier.

Statistisk fordeling av strømobservasjonene er synt i fig. A3 og A4 for R1 og R2 h.h.v. Framstillingene viser antall observasjoner ("hyppighet"), fluks ("transport") og midlere styrke i ulike retningsintervaller. Det er presentert én statistisk fordeling for hver av de tre 3-5 ukers måleperiodene. På denne måten vil en eventuell langsom (sesongmessig) endring i strømforholdene kunne avdekkes.

Fig. A5 syner observert strømfart (cm/s) på R1, og fig. A6 syner tilsvarende for R2. Her er enkeltmålinger presentert som tidsserier.

Fig. A7 presenterer vektordiagram av strøm for R1, og fig. A8 tilsvarende for R2. For første måleperiode (15/6-24/7) er hver observasjon plottet som en strømpil. Dette for å kunne få et inntrykk av korttidsvariasjonene i strøm/retning. For det resterende tidsrom er dataene midlet noe, og strømpiler som tilsvarende timesmidler er plottet. Hver strømpil representerer den aktuelle strømobservasjonens retning og fart. Farten er proporsjonal med lengden på pilen.

### 5.3. Vannkvalitet.

Observasjoner av næringssalter m.m. blei gjort i samband med annet arbeid på lokaliteten. Observasjoner av oksygen og alger inngikk også i prøvetakingen. Tabell 5.1 viser resultat av vannprøveanalyser for næringssalt og oksygen. For øvrig blei også oksygen målt med sonde 15/6, 24/7-1989 (fig. Ala-b) og 29/8-1989.

Tabell 5.1. Oversikt over NIVAs vannprøveanalyser ved Varaldsøy sommeren 1989.

Prøvetakingstidspunkt-->	29/8			15/9			
	DYP-->1m	5m	25m	5m	10m	20m	50m
O <sub>2</sub> (ml/l):	7.2	6.0	5.3	7.0	6.6	6.1	6.1
O <sub>2</sub> metn (%)	102	97	88	110	109	101	97
NO <sub>3</sub> -N (µg/l):	7	11	18	10	10	15	-
NH <sub>4</sub> -N " :	4	39	30	32	11	24	-
PO <sub>4</sub> -P " :	<.5	<.5	4.	1.0	1.0	3.0	-
Tot-P " :	4.0	5.0	7.0	7.0	5.0	6.0	-
Tot-N " :	164	191	170	201	170	170	-

#### 5.3.1. Planteplankton

Prøver fra 1 og 5 m dyp den 29/8 og fra 5 m den 15/9 (1 m ikke tatt) blei undersøkt med hensyn på celletall og artssammensetning for planteplankton. Tellingene viste de høyeste konsentrasjonene av planktonalger (Tabell 5.2) over sprangsjiktet som lå mellom 1 og 5 m begge datoer (Fig. 5.1.1.c,d). Prøvene fra 1 og 5 m dyp representerer således to ulike vanntyper. Dette fremgår også tydelig av planteplankton-sammensetningen. Den relativt sjeldne diatome (kiselalge) slekten Bacteriastrum sp. og små nakne flagellater (< 5µm) dominerte i det øvre laget den 29/8. De høye konsentrasjonene av alger sammen med aggregater av dødt organisk materiale ga godt vekstgrunnlag for ciliater

(små protozoer) som her forekom i uvanlig høye konsentrasjoner (Tabell 5.2). Disse observasjonene tyder på at en her har hatt med en noe spesiell vanntype å gjøre. Sammenlignet med denne prøven var prøven fra 5 m dyp den 29/8 langt fattigere både hva gjelder celletall (Tabell 5.2) og antall arter. De få dinoflagellatene som ble funnet var av slekten Heterocapsa.

Prøven fra 5 m dyp den 15/9 inneholdt omtrent det samme celletall som den 29/8, men hadde en mye større artsrikdom. Bl.a. ble flere arter/slekter av potensielt giftige dinoflagellater registrert. Av disse kan nevnes Prorocentrum micans, P. minimum og Gonyaulax sp. De opptrådte imidlertid i små konsentrasjoner. Denne store artsrikdommen og de lave celletallene tyder sammen med lite detritus på en normal og ikke forurenset vanntype under sprangsjiktet.

Tabell 5.2. Konsentrasjon av ulike grupper av planteplankton og ciliater (celler  $l^{-1}$ ) i Hardangerfjorden utenfor Varaldsøy den 29/8 og 15/9 1989.

Dato: ---->	29/8		15/9
Dyp: ----->	1 m	5 m	5 m
Diatoméer	3.75 mill.	194000	0.5 mill.
Euglenophycéer	78000	-	
Flagellater og monader			
< 5 $\mu$ m	12.8 mill.	6.7 mill.	5.1 mill.
> 5 $\mu$ m	0.5 mill.	116000	0.6 mill.
Dinoflagellater	-	40000	160000
Prymnesiophycéer	-	-	0.6 mill.
Total	17 mill.	7 mill.	7 mill.
Ciliater	0.64 mill.	-	200

#### 5.4. Registreringer ved Øyerhamn

##### 5.4.1. Siktedyp

Siktedypet blei målt til 6.5m (15/6), 5.5m (24/7), 4.5m (29/8) og 5m (15/9) på den undersøkte lokaliteten ved Aakre. Siktedypet blir også rutinemessig målt et par ganger ukentlig ved stamfiskanlegget i Øyerhamn (N-sida av Varaldsøy, ref. Georg Øyerhamn). Våre målinger synte rimelig samsvar med målingene ved Øyerhamn (+/- 1m), selv om måletidspunktene ikke var helt sammenfallende.

Målingene ved Øyerhamn i perioden juni - september synte verdier varierende mellom 2.5 m (21/8) og 7.5 m (medio juli). Juni til midten av juli hadde moderate verdier; mellom 4 og 5 meter. Fra midten av juli til ca 10. august var det høyere verdier (bedre sikt). Deretter falt verdiene igjen til det nevnte minimumet 21/8. Mot slutten av september syntes siktedypet igjen å øke (6.5 m 18/9).

##### 5.4.2. Hydrografi

Fig. 5.4.1 syner observasjoner av salinitet målt ca 2 ganger pr uke ved Øyerhamn (data stilt til rådvelde for NIVA av G. Øyerhamn). Måledypene er 0.5 m og 5 m. Et generelt fall i salinitet sees i begge dyp fra medio juli til ut august. Det er hele tiden markert forskjell i salinitet mellom de to dypene, noe som viser at sprangsjikt var et permanent trekk. Forskjellen varierer imidlertid mye, fra 2-3 promille til 20 i siste halvdel av juli.

Temperaturen målt i 0.5 og 5 m dyp ved Øyerhamn synte verdier mellom 20°C (22/7 i 0.5 m) og 10°C (8/6 i 0.5 m). Kraftigst temperatursjiktning (forskjell mellom de to dypene) var ca 5°C i samband med oppvarmet overflatelag.

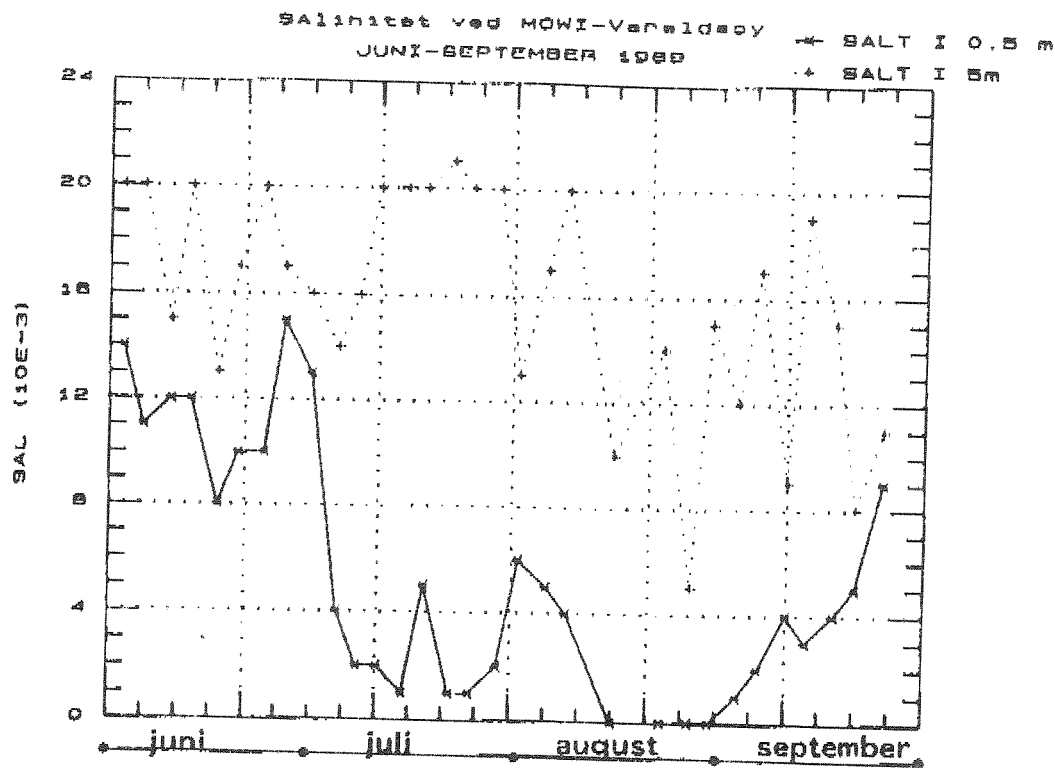


Fig. 5.4.1. Observasjoner av salinitet i 0.5 og 5 meters dyp ved Øyerhamn sommeren 1989. Kilde: G. Øyerhamn.

## 5.5. Værforholdene i måleperioden

### 5.5.1. Vind

Vindobservasjoner fra Husnes (Upsangervatn) i perioden juni - september 1989 er synt i fig. 5.5.1. I framstillingen er det benyttet verdier fra kl 07 og kl 19 hver dag, framskaffet av Metr. Institutt i Oslo. Målingene bør være noenlunde representative for forholdene lenger inne ved Varaldsøy, selv om noen lokaleffekter må påregnes. Det var stort sett rolige vindforhold i måleperioden. Vind av 10-12 m/s styrke (opp i liten kuling) blei registrert ved enkelte anledninger, både fra sør og nord. Vindforholdene har ikke vært spesielt avvikende fra det normale. Detaljer diskuteres i neste kapittel under vurdering av strømforhold.



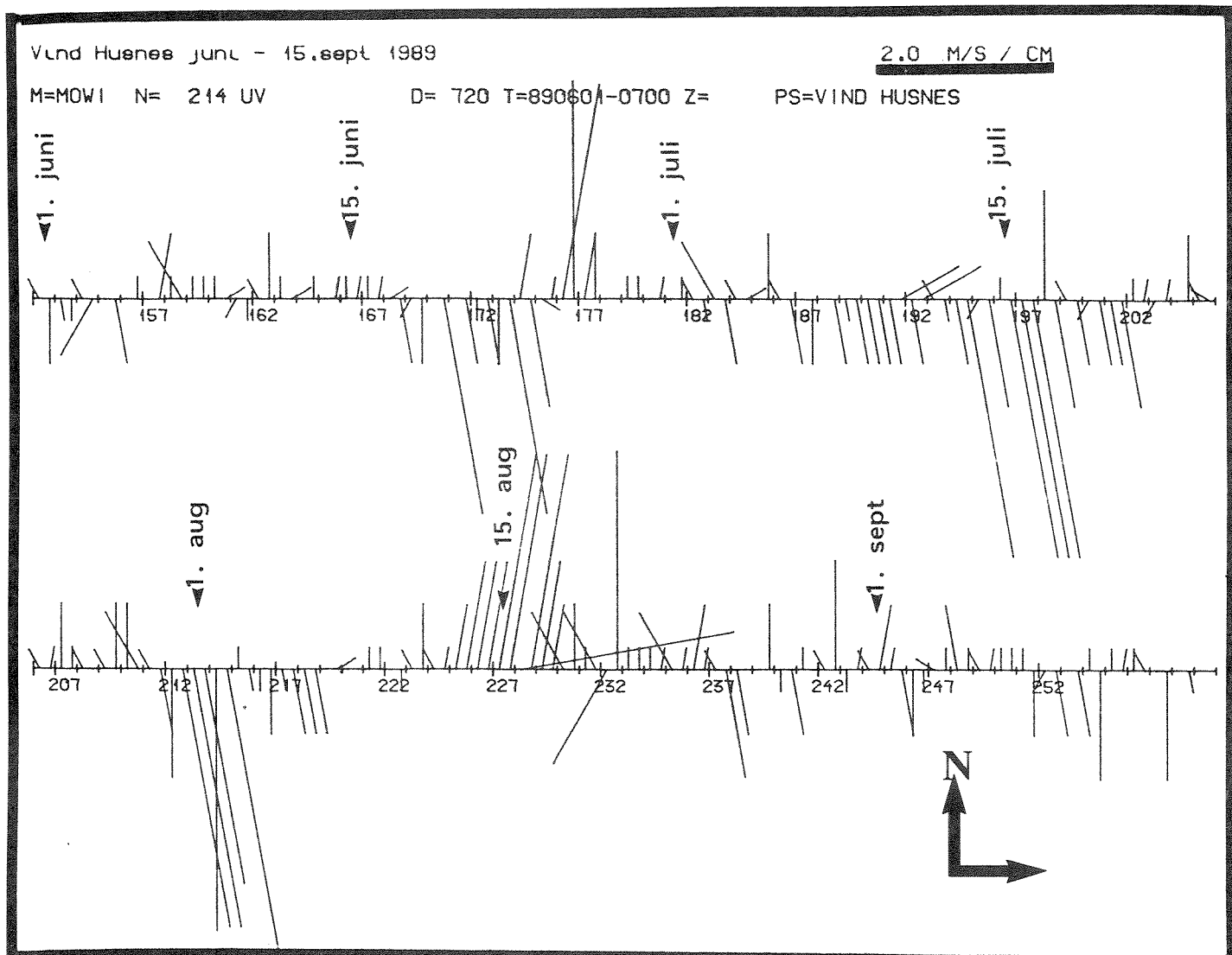


Fig. 5.5.1. Vindobservasjoner kl. 07 og kl. 19 hver dag på Husnes sommeren 1989. Kilde: Metr. Institutt.

#### 5.5.2. Nedbør og temperatur

Vi benytter data fra Husnes (Upsangervatn). Juni hadde mer nedbør enn normalt (179 mm, tilsvarende 141%). Juli hadde 129 mm, omtrent som normalt, mens august hadde hele 376 mm, eller 218% av normalt (hele 133 mm 20-21 aug!). September hadde 232 mm (116%).

Juni var varmere ( $0.6^{\circ}$ ) enn normalt, mens de resterende månedene juli - september var kaldere. August var hele  $1.9^{\circ}$  under normalt. Detaljer diskuteres i neste kapittel.

### 5.6. Tidevann

Tidevannskurven som beregnet for Bergen (kilde: Tidevannstabellen) for vår måleperiode er presentert i fig. 5.6.1. Månefasene er også markert. Den midterste kurven representerer 25 timers glatting, og gjenspeiler tidevannets langtidsvariasjoner. Figuren gir et inntrykk av tidevannsutslaget i ulike perioder, som seinere kan relateres til strømdata. Figuren antyder den teoretiske sammenhengen mellom månefasene og tidevannet. Amplituden er størst ved ny- og fullmåne.

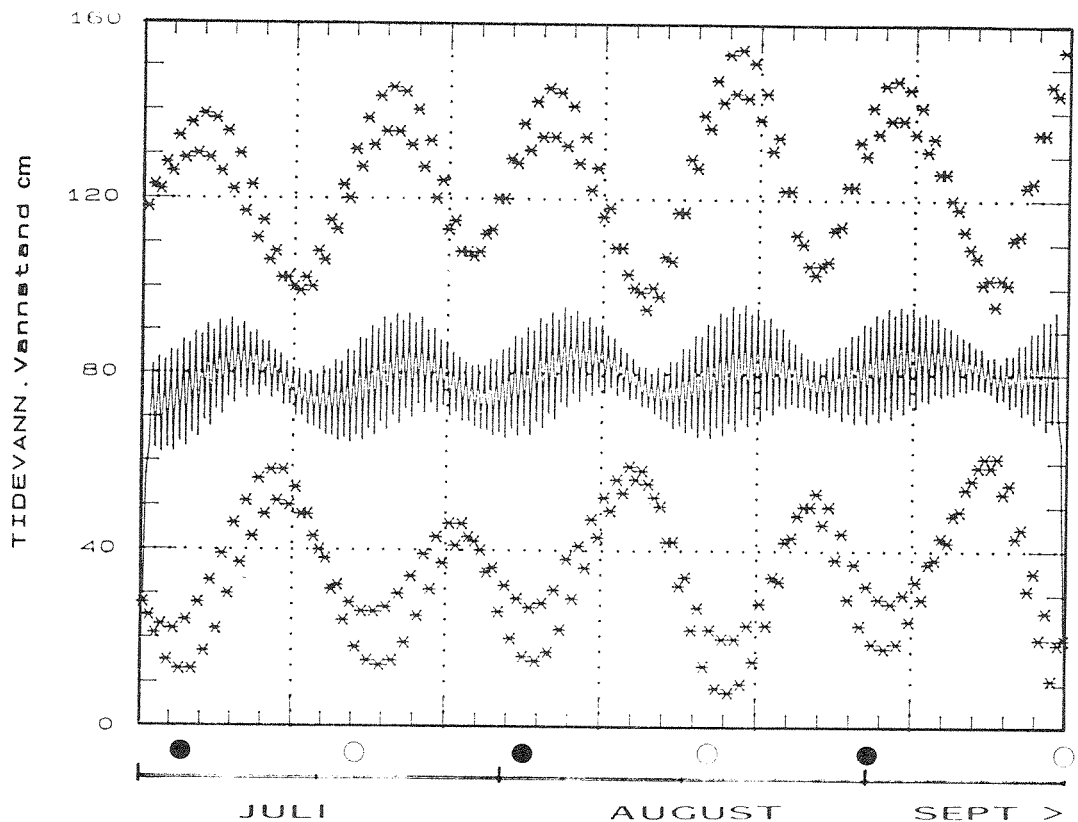


Fig. 5.6.1. Teoretisk tidevannskurve for Bergen, basert på Tidevannstabellens opplysninger. Øverste kurve angir høyvann, nederste fjære. Periode 1.juli - 15. sept 1989. Vannstand i cm, samt glatting over 25 timer (midterste kurve). Månefaser (full-(o)/ny) angitt på tidsaksen.

### 5.7. Andre registreringer

Noen enkle strømprofiler med akustisk strømmåler-sonde (UCM-40) blei tatt 24/7 og 29/8-89. Profilene gir et inntrykk av hvordan strømmen fordeler seg nedover i vannsøylen, og kan eventuelt avdekke spesielle fenomener. Fig. 5.7.1. viser strømstyrken (SPD) målt i ulike dybder 24/7 rundt kl. 1030. Sonden blei holdt i de angitte dyp 1-2 minutter, for å registrere variabiliteten på kort tidsskala (måleintervall 2 sek). Vertikalfordelingen viser signifikant strøm ned til 10 meters dyp. Fig. 5.7.1. viser også tilhørende strømretning (DIR). Fig. 5.7.2. viser tidsserie av strømstyrke og strømretning i 50 meters dyp 29/8. Figuren indikerer variasjoner med periode ca 1.5 minutter.

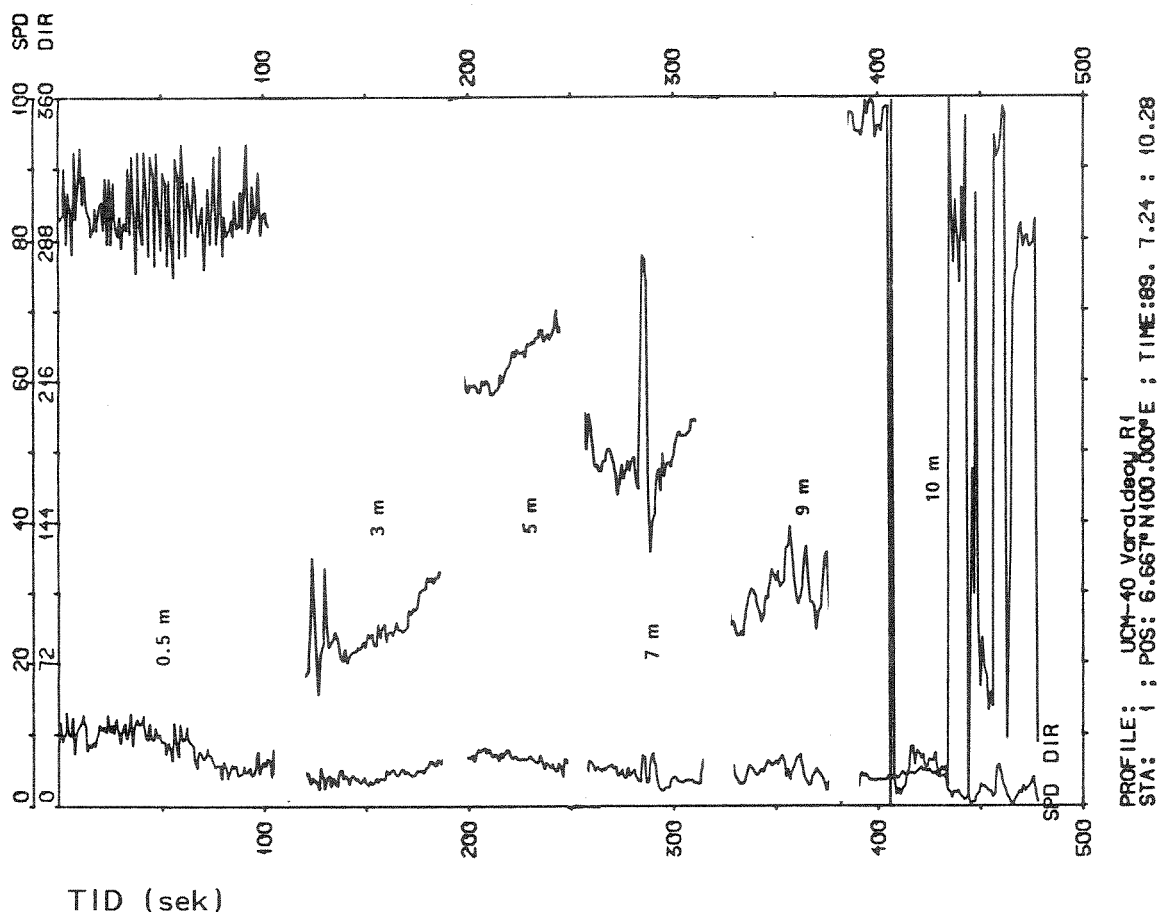


Fig. 5.7.1. Strømfart (SPD-cm/s) og retning (DIR-°) observert i ulike dyp (0.5-10 meter) 24/7 ved hj. av. akustisk sonde UCM-40.

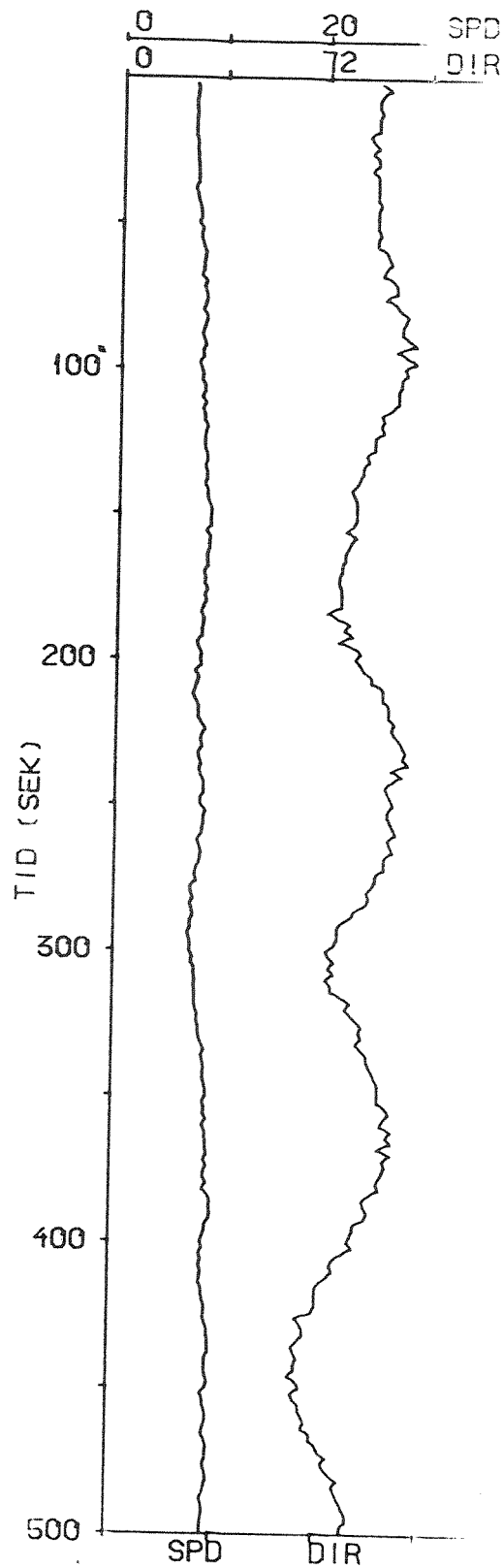


Fig. 5.7.2. Strømfart (SPD-cm/s) og retning (DIR-°) observert i 50 meters dyp 29/8 ved hj. av. akustisk sonde UCM-40 over en periode på 500 sekunder.

## 6. DISKUSJON

NIVAs måledata og andre opplysninger som er presentert i denne rapporten, diskuteres i sammenfattende form i dette kapittelet. Alle detaljer blir ikke berørt, men datamaterialet er presentert i såpass omfattende grad at en ved problemstillinger som måtte bli aktuelle seinere, vil kunne bruke rapporten også som en datarapport, og der finne aktuelle tall eller størrelser det kan bli spørsmål om.

Formålet med de målinger og registreringer som er gjort ved Varaldsøy i 1989, er i første rekke å vurdere egnetheten av den aktuelle lokaliteten med omsyn til strømforhold og andre driftsparametre. Lokaliteten som sådan har en slik beliggenhet og bunntopografi at vurderinger omkring resipientpåvirkning, påvirkning av dypvannskvalitet o.l. ikke har relevans i denne omgang. Lokale forurensnings-effekter og påvirkning av vannkvalitet lokalt blir imidlertid til en viss grad berørt.

### 6.1. Lokalitetens beliggenhet

Med omsyn til vind/bølge-eksponering og teoretiske betraktninger omkring dette (vind- eller bølgemålinger er ikke utført), ligger lokaliteten forholdsvis utsatt til. Vind fra retning sør til øst, sammen med bølgehøyder opp til 1.5 meter, vil trolig representere den største fysiske belastningen på anlegget. Vind fra denne sektoren opptrer relativt ofte (på Husnes), og ofte med markert styrke. Forutsatt bruk av dagens anleggsteknologi vil imidlertid ikke bølger eller vind innebære noen reell havaririsiko.

I forurensningssammenheng synes bunntopografien å være god på stedet, med bratt og relativt jevt skrånende bunn utover til over 200 meters dyp. Strømforholdene i dypet og langs bunnen på lokaliteten er ikke kartlagt av NIVA. Forutsatt at ikke helt spesielle strømforhold eksisterer, vil

djuprenna mellom Sild og selve lokaliteten neppe utgjøre noen risiko for akkumulering av sedimentert materiale. For øvrig er strandsonen i Raudurdivika (lokaliteten) lite oppstykket. Berget går stort sett nesten loddrett i sjøen. Dette gjør at lokal oppsamling av evt. flytende materiale (fett e.l.) fra anlegget har liten mulighet til å akkumulere langs stranden.

## 6.2. Hydrografiske forhold.

### 6.2.1. Salinitet og temperatur

NIVAs målinger er utført om sommeren, i en periode da vanntemperaturen er høyest, og tilveksten i et oppdrettsanlegg normalt holder seg høy fram mot september (slutten av NIVAs måleperiode), som vanligvis har størst vekst. De målte verdiene bør derfor være sentrale ved seinere vurdering av fôring og drift.

Vertikalprofilene av salinitet og temperatur som blei tatt, indikerer et 2-3 meter tykt brakkvannssjikt, og et tidvis svært markert sprangsjikt under dette. Lagdelingen i salinitet er et permanent trekk, men vår måleperiode har sannsynligvis oppfanget de maksimale brakkvannssignalene, siden snøsmeltingen var sein i 1989, og det var store snømengder i fjellene også i juni.

Temperatursjiktningen avtar utover sommeren. Tidlig på sommeren er det imidlertid en markert termoklin i 2-4 meters dyp med 14-15° i øvre lag og ca. 8° fra 5 meters dyp og nedover.

Inne i merdene vil en ha to karakteristisk forskjellige sjøvannstyper, og et markert skille (sprangsjikt) imellom. Det nederste laget har de mest stabile (i tid) verdiene, mens øvre lag vil ha størst tidsvariasjon og høyest sommertemperatur (størst vekstpotensial). Hvordan fisken tilvenner seg disse forholdene (hvilke dyp den velger å stå

i til ulike tider etc.) er ikke umiddelbart gitt. Den vil iallefall ha mulighet til å søke både ferske og salte vanntyper for f.eks. å kompensere for osmotisk stress. Dersom fisken "velger" det øvre laget (f. eks. p.g.a. temperatur, eller p.g.a. at fôringen foregår der), kan det her bli tale om regelrett plassmangel. Vandring nedover, og gjennom sprangsjiktet, vil måtte medføre både en osmotisk justering, og en justering til lavere temperatur og høyere sjøvannstetthet (større oppdrift). Forholdene er imidlertid neppe sterkt avvikende i forhold til allerede etablerte lokaliteter i Hardangerfjorden og andre fjorder (f.eks. Osterfjorden). Driftserfaringer fra disse lokalitetene bør kunne legges til grunn ved etablering av et anlegg ved Varaldsøy.

#### 6.2.2. Korttidsvariasjoner

NIVAS målinger med UCM-40 antyder korttidsvariasjoner i strøm av periode 1.5 minutter under sprangsjiktet. Perioden kan stemme bra med basisfrekvensen for en indre bølge på sprangsjiktet, som beregnes ut fra observert sjiktning (-signalet forplantes også nedover i vannet). Med denne korte perioden er vanligvis amplituden for den indre bølgen liten, d.v.s. at sprangsjiktet beveger seg relativt lite opp og ned. Svakere sjiktning medfører lengre periode, og større vertikalutslag. Et estimat tilsier 1/2 meter som en "kvalifisert gjetning" på et vertikalutslag under de observerte hydrografiske forhold. En slik kortperiodisk variasjon av sprangsjiktsdypet bør en også være oppmerksom på som en mulig stressfaktor for fisken. Grunnlaget vårt for å kunne si mer om tilstedeværelsen av indre bølger er imidlertid spinkelt. Mer detaljerte observasjoner i selve sprangsjiktsdypet vil kunne avdekke dette nærmere. De faststående strømmålerene observerte med 15 minutters periode, og vil dermed ikke kunne direkte oppløse signifikante periodiske svingninger hurtigere enn 1/2 time. Eventuelle signaler fra indre bølger med korte perioder opptrer derfor kun som "støy" i strømmålerdataene.

Strømmålerene registrerte også salinitet og temperatur. Målerene stod i tilnærmet samme dyp. Det var liten forskjell mellom måleresultatene for de to instrumentene. Ut fra våre målinger av vertikalfordelinger kan det se ut som at målerene under de gjeldende forholdene har blitt stående i dyp omkring selve sprangsjiktet, eller like under. De observerte variasjonene kan delvis skyldes variasjon i brakkvannslaget tykkelse p. g. a. variasjon i vind eller ferskvannstilførsel. Tidevannet kan også medføre en løfting/senkning av sprangsjiktet med 12.5 timers periode. Denne perioden framtrer mer og mindre tydelig gjennom hele måleserien, og kan delvis gjenspeile den nevnte effekten av tidevannet i tillegg til den variasjon i horisontal adveksjon som tidevannet forårsaker.

Tidsseriene av salinitet og temperatur representerer ut fra ovenfornevnte betraktninger vanligvis tilnærmet middelværdier mellom øvre og nedre lag. Verdiene for salinitet i tidsseriene varierer mellom 10 og 30 promille. Saliniteten i brakkvannslaget over målerene har nok tidvis vært lavere enn 10. Vertikalprofilen fra 29/8 synte ca. 8 promille mellom 0 og 3 meters dyp. Observasjonene fra Øyerhamn i 0.5 meter varierte mellom 0 og 15 promille, men en må der regne med større ferskvannspåvirkning enn ved Aakre. Det målte salinitetsminimumet ved Øyerhamn i slutten av august (fig. 5.4.1.) framtrer ikke i NIVAs registreringer, og må derfor sannsynligvis henge sammen med lokale forhold ved Øyerhamn.

På kort tidsskala opptrer markerte salinitetsendringer av størrelsesorden 7-8 promille på 15 minutter. Trolig skyldes dette delvis de ovenfor nevnte hurtige vertikalforskyvinger av sprangsjiktet (evt. indre bølger), og gjenspeiler ikke reelle endringer i hele brakkvannslaget.



### 6.3. Oksygen, vannkvalitet

De verdiene som oksygeninnholdet viser, gjenspeiler produksjon eller forbruk av oksygen i vannsøylen. I nærheten av den undersøkte lokaliteten er det ingen større forurensningskilder som kan påvirke vannkvaliteten vesentlig. Våre vannprøveverdier syntet sett høye verdier (tabell 5.1, fig. 5.1.1.a) gjennom vannsøylen.

Ved ett tilfelle, 24/7 var det tegn til reduserte oksygenverdier (fig. 5.1.1.b). Vannprøve som blei tatt i 25 meters dyp bekreftet sondemålingene: 74% oksygenmetning (4.94 ml/l) i dette dypet. Sondeverdiene indikerte at det var reduserte forhold fra ca 10 meter og nedover. Mellom 0 og 5 meter var verdiene gode. At reduserte oksygenforhold tidvis kan opptre nedover i vannsøylen, er noe man altså bør være oppmerksom på under driften av anlegget. Våre stikkprøver har neppe avdekket de laveste verdiene. Det kan her nevnes at NIVA, i forbindelse med undersøkelser omkring algeproblemer, observert lave verdier også i Hylsfjorden og Saudafjorden (Ryfylke) i månedsskiftet juli-august 1989. Verdiene i 35-40 meters dyp var der rundt 4.5-5 ml/l.

Næringssaltverdiene (tabell 5.1) viser ingen spesielt høye verdier, som kan indikere overbelastning.

### 6.4. Strømforhold.

Strømmen er målt på to steder med ca 200 meters avstand. Måledypet var ca. 4 meter i begge tilfeller, og måleperioden var 15. juni - 15. september 1989. Måledypet blei valgt ut fra målsetningen om å finne representative gjennomstrømningsverdier for det planlagte oppdrettsanlegget. Å måle i mindre dyp enn 3-4 meter medfører bl. a. at bølger kan påvirke måleresultatene ("overspeeding"). Måling på to forskjellige steder blei gjort for å kunne avdekke forskjeller lokalt i strømforholdene (bakevjer e.l.).

### Metodekritikk.

Som nevnt under diskusjon omkring salinitet-temperatur, synes det som om strømmålerene ofte har blitt stående omtrent midt i sprangsjiktet, d.v.s. i overgangen mellom øvre brakkvannslag og fjordvannet under. Generelt sett avtar strømmen med dypet. Øvre lag utsettes for vindstress som i seg selv genererer strøm i forhold til aktuell vindstyrke. Særlig dersom det er kraftig sjiktning, vil vinden kun aksellerere et tynnere overflatesjikt. Også ferskvannstilførselen (brakkvannet) innebærer sterkest, utoverrettet strøm i overflaten. Periodevis kan strømmen gå motsatt veg over og under sprangsjiktet. I slike tilfeller vil strømmålerene ha observert svak strøm, selv om strømstyrken var signifikant like over og under målerene. Likedan vil retningsobservasjonene under slike forhold kunne bli vilkårlige (f. eks. tvers av fjorden), og vanskelige å tolke.

NIVAs målinger med profilerende sonde 24/7-1989 (fig. 5.7.1) indikerte at strømmen i 0.5 meters dyp da var mer enn dobbelt så kraftig som i 3 meters dyp. Andre UCM-40 målinger (i andre tidspunkt) indikerte en mer jevn fordeling av strømmen med dypet.

### Resultater.

Fig. 5.2.1. og 5.2.2. viser at middelstrømmen er rettet mot sør-sørøst. Dette vil i praksis si ut fjorden. Forskjellen mellom observert retning og fjordens lengdeakse skyldes sannsynligvis lokal topografisk effekt. Av sjøkartet (fig. 1.1.9. ser en at observert hovedstrømsretning går tilnærmet langs dybdekontene. Forskjellen i hovedstrømsretning mellom R1 (i sør) og R2 var 20-30°, og synest også å være knyttet til lokal bunntopografi, og at strømmen går parallelt med land. Første måleperiode (15/6 - 24/7) hadde kraftigst

strøm i middel (merk at skalaen for fordelingsrosene i fig. 5.2.1. og 5.2.2. varierer noe fra serie til serie). Den statistiske forskjellen fra serie til serie var imidlertid ikke særlig stor, altså ikke noen stor variasjon fra juni til september generelt sett i strømforholdene.

Om vi bruker juni-juli som referanse (ingen problemer med begroing på instrumentene i den perioden), framtrer ca. 40 cm/sek som høyeste observerte strømfart både på R1 og R2, med retning mot SØ (ut fjorden). Midlere strømfart for perioden var om lag 8 cm/s på R1 (sørligste rigg) og noe mindre (5-6 cm/s) på R2. Dette må sies å være tilfredsstillende for en oppdrettslokalitet. Særlig når en tar i betraktning måledypet, og at overflatestrømmen vanligvis er sterkest. Perioder med svært strømsvake perioder (ned mot null strøm) synes ikke å ha forekommet i det hele tatt.

Figur 5.2.3 - 5.2.4 viser tidsseriene av strømfart på R1 og R2. Et visuelt inntrykk av seriene indikerer høy grad av koherens når det gjelder strømsterke/strømsvake perioder av noen timers varighet eller mer. Siste del av måleserien (september) viser generelt sett fallende strømverdier. I stor grad henger nok dette sammen med begroing på instrumentene, som har ført til "trege" rotorere.

Pilplottene (fig. 5.2.5 - 5.2.6) gir et inntrykk av dynamikken i strømmen. Strømmen går i det alt vesentligste ut fjorden. Dette er allerede indikert i de statistiske fordelingene. Vindobservasjonene (fig. 5.5.1) viser noen utpregete perioder med kraftigere vind enn ellers. Disse vindperiodene synes å ha hatt liten påvirkning på strømforholdene i 4 meters dyp. Tidevannsstrømmen er i middel liten (1-2 cm/s) i den aktuelle delen av Hardangerfjorden, hvor tverrsnittsarealet (gjennomstrømningsarealet) er stort. Fig. 5.6.1 viste hvordan vannstanden, og dermed tidevannsstrømmen teoretisk varierer med de ulike månefasene. Selv om denne variasjonen er stor (en faktor på 2 i forholdet fullmåne/halvmåne), kan det ikke forventes at

denne variasjonen vil gjenspeile seg i en tilsvarende variasjon i observert strøm ved Varaldsøy. I andre, grunnere farvann vil derimot månefasen påvirke strømforholdene merkbart.

De kraftigste strømperiodene er sannsynligvis knyttet til perioder med tykkere brakkvannslag, som følge av forutgående kraftig snøsmelting. Kraftig nedbør, som f. eks. 20. - 21. august (132 mm/døgn på Husnes) ga ikke noe markert utslag i strømmålingene. Saliniteten falt imidlertid merkbart i perioden 20.-22. august. Dette fallet kan skyldes den nevnte nedbøren. Det må forventes at en under slike forhold hadde kraftig sjiktning i den øverste meteren, og kraftig strøm helt i overflaten.

## REFERANSER

- Aksnes, D. L., J. Giske, U. Lie og S. M. Wakili 1988: Model of Norwegian Fjords: A Time Dependent Pelagic Ecosystem Model of Masfjorden. Bergen Scientific Centre, rapp. nr. 88/52.
- Aure, J. 1981: Kartlegging av høvelege lokalitetar for fiskeoppdrett. Akvakultur i Hordaland. Fisken og Havet, Ser B 1981 nr. 3, Fisk. dir., Bergen.
- Aure, J. 1983: Akvakultur i Troms. Kartlegging av høvelige lokaliteter for fiskeoppdrett. Fisken og Havet 1983, Nr 1.
- 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.
- Avnimelech, Y., og Zohar, G. 1986: The effects of anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems. Aquaculture 58, pp 167-174.
- 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.
- Brettsneider, C.L. 1965: Observation of Waves by wind. State of the art. Rapp. SN-134-6, Nat. Eng. Sci. Co. Washington, DC.
- Broecker, W.S. og Peng, T.H. 1982: Tracers in the Sea. Lamont-Doherty Geol. Obs., N.Y. 690 pp.
- Christie, K.E. & Hjeltnes, B. (1989). ILA kan overføres med røde blodlegemer. Norsk Fiskeoppdrett nr. 8-89.
- Clarke, A. 1986: The formation of Greenland Sea Deep Water. ICES C.M. 1986/C:2.
- de Young, B. og S. Pond 1987: The Internal Tide and Resonance in Indian Arm, British Columbia. Journ. Geophys. Res. Vol. 92, C5.
- de Young, B. og S. Pond 1988: The Deepwater Exchange Cycle in Indian Arm, British Columbia. Est., Coast. and Shelf Sci. Vol. 26.
- Erga, S. R. 1980: Phytoplankton i Korsfjorden februar-juni 1977: Biomasse og produksjon i ulike størrelses-funksjoner sett i relasjon til lys og næringssalter. Hovedoppgave, Univ. i Bergen.

- Erga, S. R. og K. Sørensen 1982: Petrokjemianlegg på Kårstø. Primærproduksjon februar-november 1981. Planktonets biomasse og produksjon sett i relasjon til beitepress, hydrografi, lys og næringsalter. NIVA rapp. nr 1388.
- Faafeng, B. og H. O. Ibrenk 1989: Norske tilførsler av fosfor og nitrogen til Skagerrak. VANN nr. 2/89.
- Farestveit, T. 1986: Tiltak for å redusere forurensningsbelastninger fra fiskeoppdrett. SFT rapp nr.76.
- Golmen, L. G. 1987: Strømforhold og fôring. Notat. NIVA Vestlandsavd., Bergen.
- Golmen, L. G., S. E. Hansen, A. K. Magnusson og S. Østerhus 1982: Undervisningstokt 2-4 desember 1981 Hardangerfjorden. Rapp. Geofysisk Inst., U. i Bergen.
- Golmen, L.G., H. Svendsen, og S. Mikki 1989: Straumtilhøve og vassutskifting i Sandsfjord og Hylsfjord i Ryfylke. Norsk Fiskoppdrett nr. 11/89.
- Hansen, S.E., K. Tangen og T. Aamodt 1989: Fastlandssamband Halsnøy-Kvinnherad fastland. Rapp. OCN 88026 OCEANOR, Trondheim.
- Håkanson, L., Ervik, A., Maekinen, T og Møller, B.: Basic Concepts Concerning Assessments of Environmental Effects of Marine Fish Farms. Rapp. Nordisk Ministerråd 1988:90.
- Haakstad, M. 1970: En analyse av bunnstrømmer i Hardangerfjorden og deres relasjon til ytre forhold. Hovedoppg. i geofysikk, Univ. i Oslo.
- Haakstad, M. 1979: Current measurements in the surface layer of Hardangerfjorden. Rapp. Nordl. Distriktshøgskole, Bodø.
- Julshamn, K., Slinning, K.E, Haaland, H., Bøe, B. og Føyn, L. 1985. Analyse av sporelementer og klorerte hydrokarboner i fisk og blåskjell fra Hardangerfjorden og tilstøtende fjordområder høsten 1983 og våren 1984. Fiskeridirektoratet. Rapporter og meldinger 6/85. Bergen.
- 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 Inst., U. i Bergen.

- Mikki, S. 1986: Numerische Untersuchungen im Sandsfjordsystem. Dipl. arb. Inst. für Meeresk., Hamburgs Universität.
- Molvær, J. og A. Stigebrandt 1989: Om utskillelse av fosfor og nitrogen fra fiskeoppdrettsanlegg. NIVA rapp. O-86004, Oslo.
- Mork, M. 1981: Circulation phenomena and frontal dynamics of the Norwegian coastal current. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 302.
- Møller, D. 1976: Recent development in Cage and Enclosure Aquaculture in Norway. FAO Fish. Rep.. FAO Techn. conf. on Aquacult.
- Neumann, G. 1968: Ocean Currents, Elsevier Oceanogr. Ser., Amsterdam.
- Pedersen, A. (red) 1982: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett. NIVA rapp. FP 80802.
- 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.
- Skei, J. 1986. Tiltaksorienterte miljøundersøkelser i Sørfjorden og Hardangerfjorden, 1984-1985. NIVA-rapport. Delrapport 4. Konklusjonsrapport. L.nr. 1889. Oslo.
- Skei, J., Knutzen, J. & Næs, K. (1989). Tiltaksorienterte miljøundersøkelser i Sørfjorden og Hardangerfjorden 1987-1988. NIVA-rapport nr. 2227.
- Soldal, O. (1989). ILA gjorde slutt på oppdrettsidyllen i Hardanger. Norsk Fiskeoppdrett nr. 8-89.
- Solem, T. 1946: Hardangerfjorden. Hovedoppgave, Geofysisk Inst., Univ. i Bergen.
- Statistisk Sentralbyrå 1988. Miljøstatistikk 1988. Naturressurser og miljø. Statistisk Sentralbyrå. Oslo - Kongsvinger.
- Stigebrandt, A.. 1986: Modellberegninger av en fiskodlings miljøbelastning. NIVA rapport nr 1823.
- Svendsen, H. 1976: Some Hydrographic Observations of the Sørfjord during 1972. I "Fresh Water on the Sea", Symposiekompedium, Norske Havforskere Forening, Oslo.

- Svendsen, H. og L. G. Golmen, 1987: Hydrographic Investigations in the Sandsfjord System and Adjacent Fjord and Coastal Area. Rapp. Geofys. Inst., U i Bergen.
- Sælen, O. H. 1967: Some Features of the Hydrography of Norwegian Fjords. I ESTUARIES (red: G. H. Lauff), Washington, D. C.
- Svines, P. 1970: Hardangerfjordens hydrografi, sept. 1955-sept. 1956. Hovedoppgave i geofysikk, Univ. i. Oslo.
- Sælen, O. H. 1962: The Natural History of the Hardangerfjord. 3. The hydrographic observations 1955-1956. Sarsia 6, Febr. 1962.
- Tang, C.L. 1983: Cross-Front Mixing and Frontal Upwelling in a Controlled Quasi-Permanent Density Front in the Gulf of St. Lawrence. Journ. Phys. Ocean. Aug. 1983.



## APPENDIKS

### Fig. A1 - A8 til kapittel 5.

Fig. A1 a,b. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og oksygen (OXY-ml/l) ved Varaldsøy 15/6 (a) og 24/7 1989.

Fig. A1 c,d. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og tetthet (S-T) ved Varaldsøy 29/8 (c) og 15/9 1989.

Fig. A2 a. Observasjon av salinitet ved Varaldsøy, R2, i perioden 15/6 - 15/9 1989. Målenintervallet var 15 minutter. Dato (mnd,dag) langs horisontalakse.

Fig. A2 a forts.

Fig. A2 b. Observasjon av temperatur ved Varaldsøy, R2, i perioden 15/6 - 15/9 1989. Målenintervallet var 15 minutter. Dato (mnd,dag) langs horisontalakse.

Fig. A2 b forts.

Fig. A3. Statistisk fordeling av strømobservasjoner i retningsintervall for R1. Fra venstre: %-vis fordeling i intervallene, fluksfordeling og midlere styrke. Øverst data fra perioden 15/6-24/7. Videre 24/7-29/8 og 29/8-15/9.

Fig. A4. Statistisk fordeling av strømobservasjoner i retningsintervall for R2. Fra venstre: %-vis fordeling i intervallene, fluksfordeling og midlere styrke. Øverst data fra perioden 15/6-24/7. Videre 24/7-29/8 og 29/8-15/9.

Fig. A5. Observert strømfart på R1 i perioden 15/6-13/8 1989.

Fig. A5 forts. Strømfart på R1 for perioden 13/8-15/9 1989.

Fig. A6. Observert strømfart på R2 i perioden 15/6-13/8 1989.

Fig. A6 forts. Strømfart på R2 for perioden 31/8-15/9 1989.

Fig. A7. Strømvektorer enkeltvis som observert på R1. Periode 15/6-2/7 1989. Pilenes lengde (ref. Y-aksen) gjenspeiler farten.

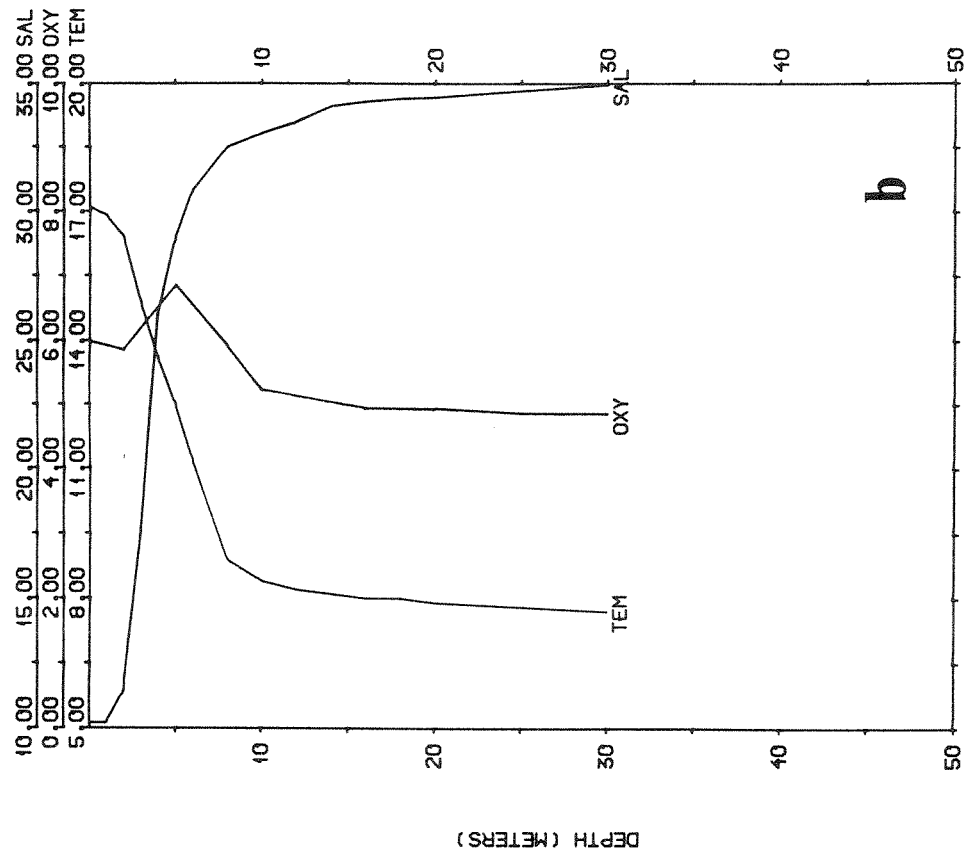
Fig. A7 forts. Periode 3/7-24/7 1989.

Fig. A7 forts. Timesmidler, R1, periode 24/7-15/9 1989.

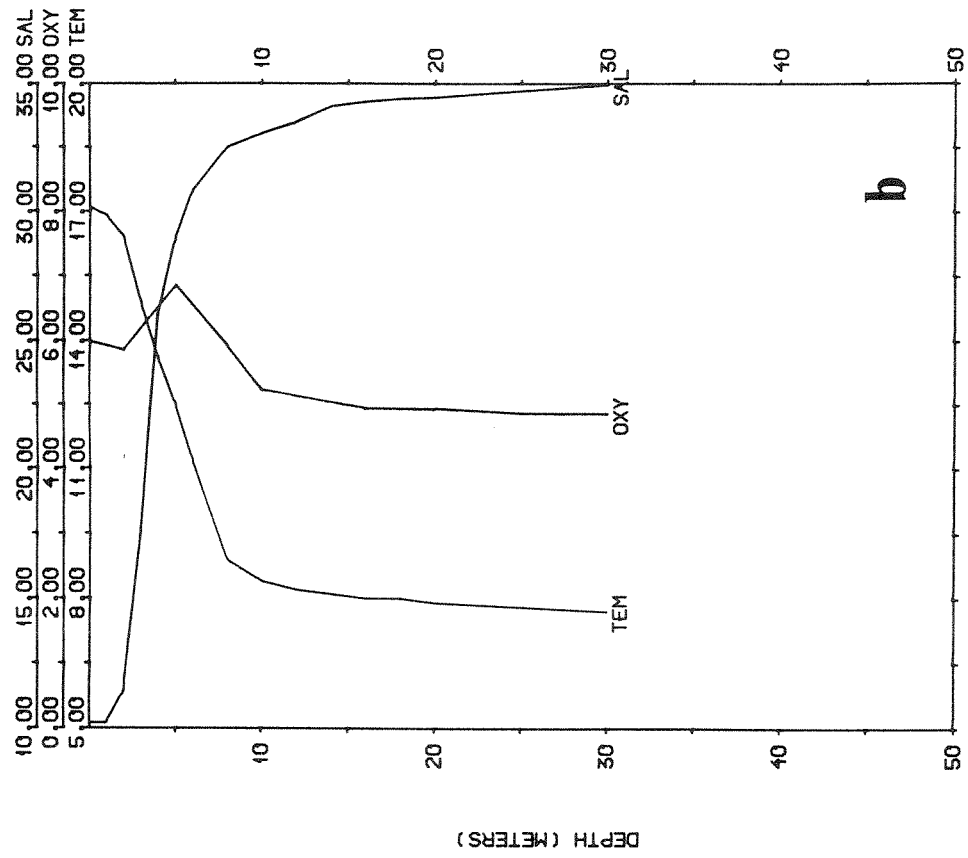
Fig. A8. Strømvektorer enkeltvis som observert på R2. Periode 15/6-2/7 1989. Pilenes lengde (ref. Y-aksen) gjenspeiler farten.

Fig. A8 forts. Periode 3/7-24/7 1989.

Fig. A8 forts. Timesmidler, R2, periode 24/7-15/9 1989.



PROFILE: VARALDSØY 1989  
 STA: 1 ; POS:60.140°N 6.000°E ; TIME:89. 6.14 : 13. 0



PROFILE: VARALDSØY 1989  
 STA: 2 ; POS:60.140°N 6.000°E ; TIME:89. 7.24 : 9.45

Fig. A1 a,b. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og oksygen (OXY-ml/l) ved Varaldsøy 15/6 (a) og 24/7 1989.

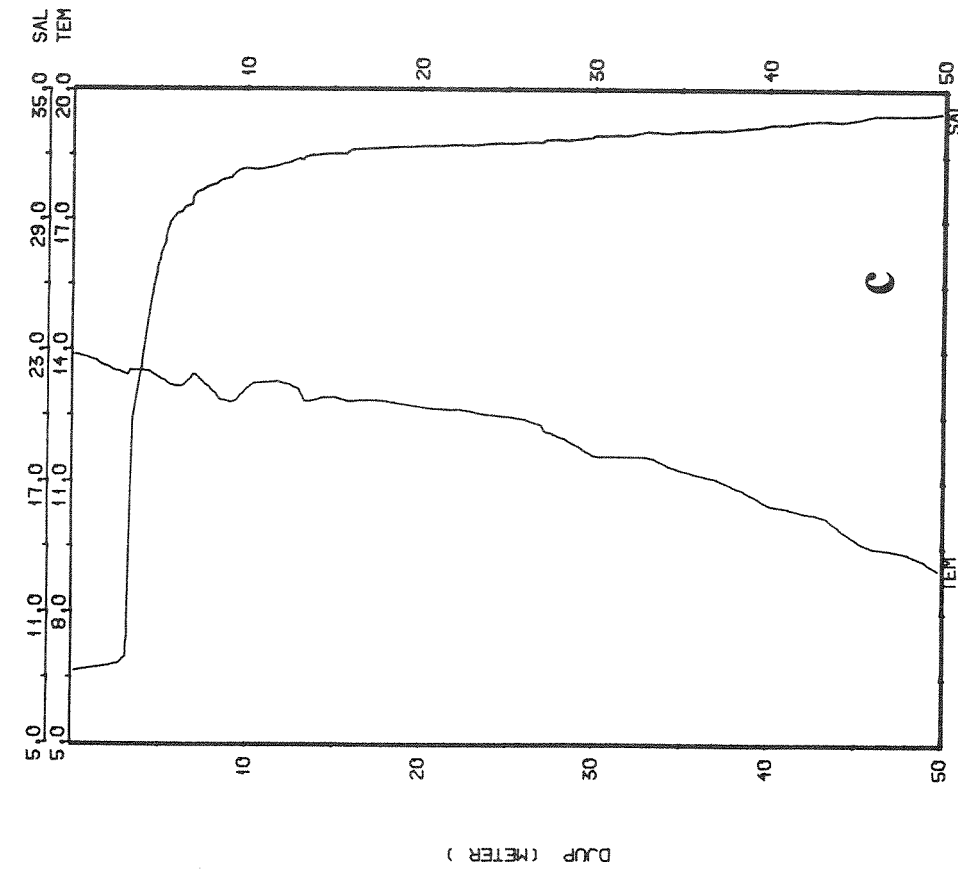
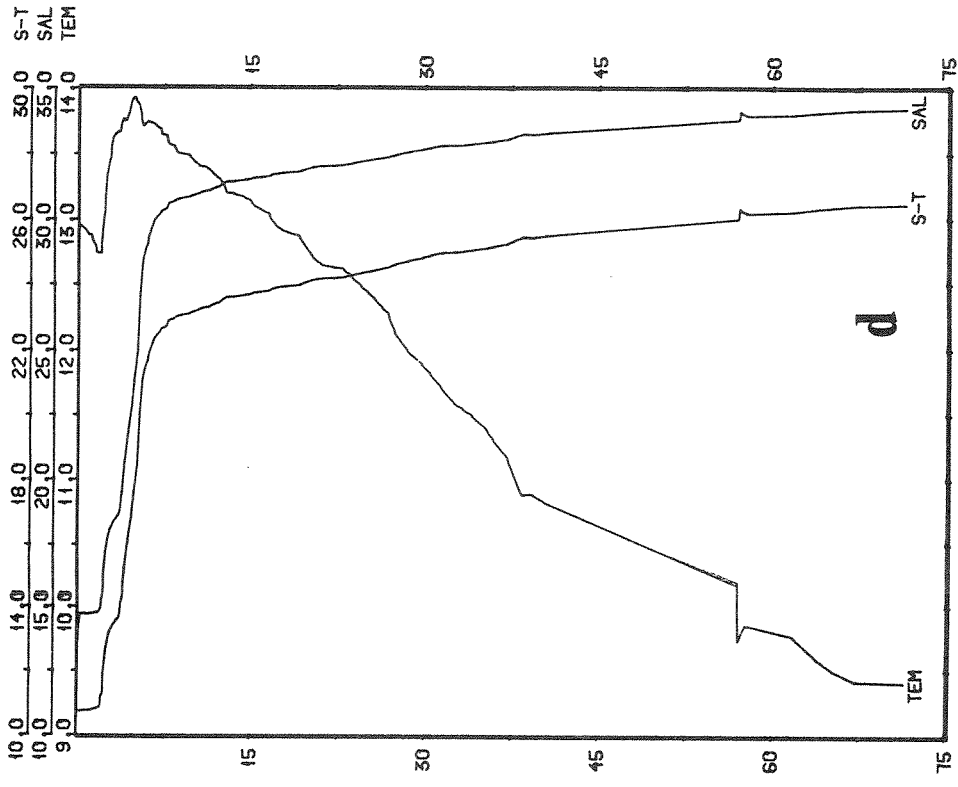


Fig. A1 c,d. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og tetthet (S-T) ved Varaldsøy 29/8 (c) og 15/9 1989.

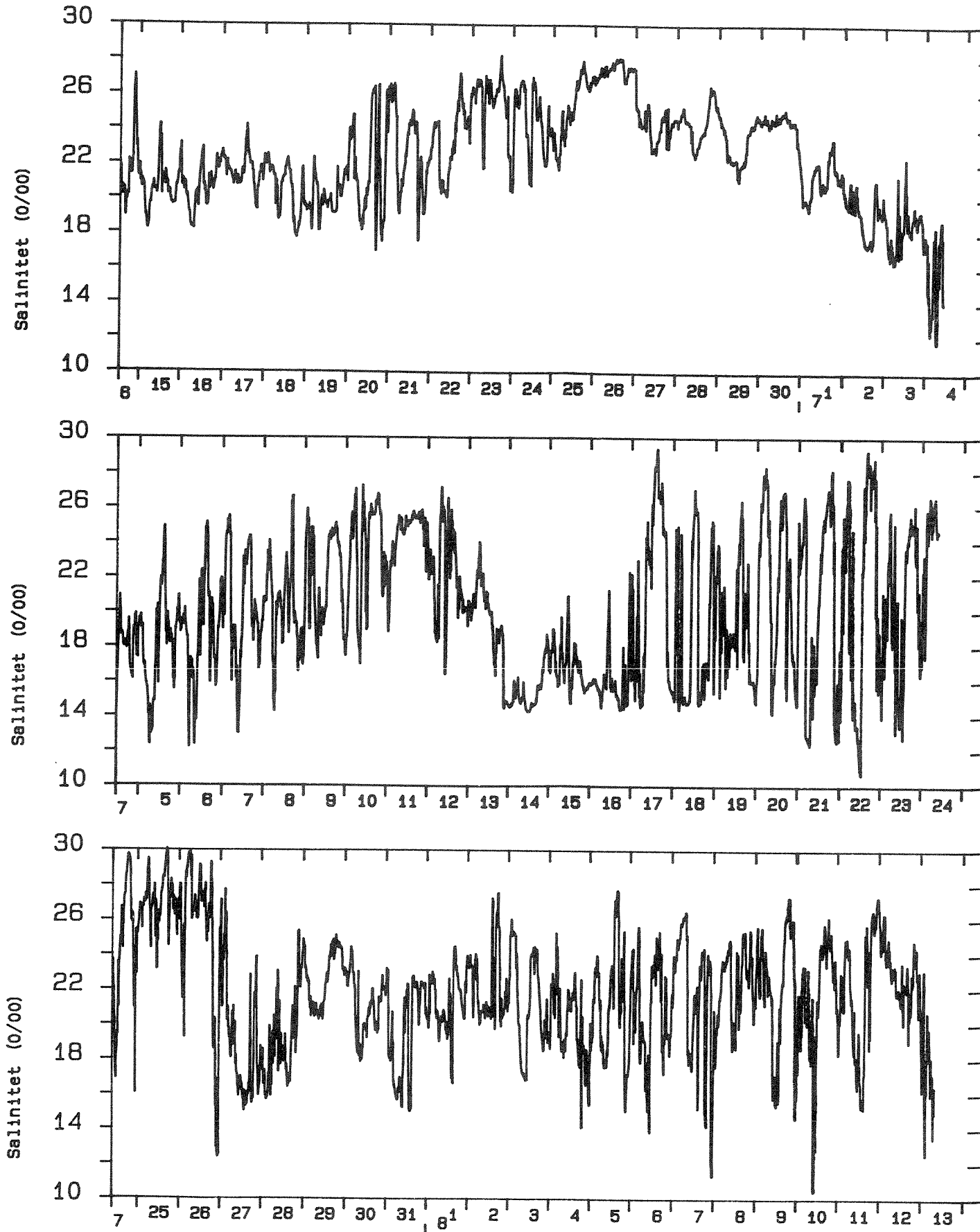


Fig. A2 a. Observasjon av salinitet ved Varaldsøy, R2, i perioden 15/6 - 15/9 1989. Målenintervallet var 15 minutter. Dato (mnd,dag) langs horisontalakse.

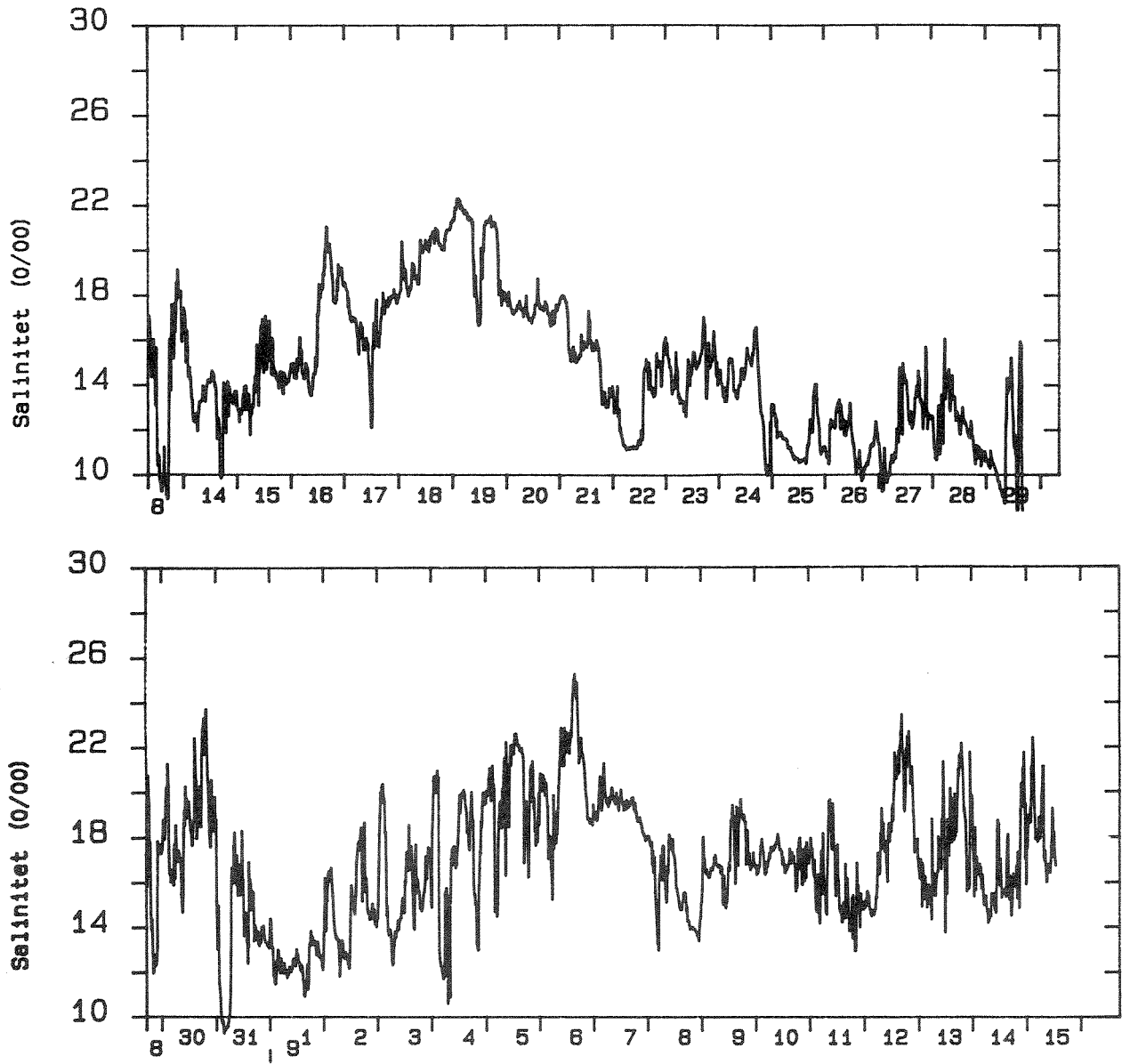


Fig. A2 a forts.

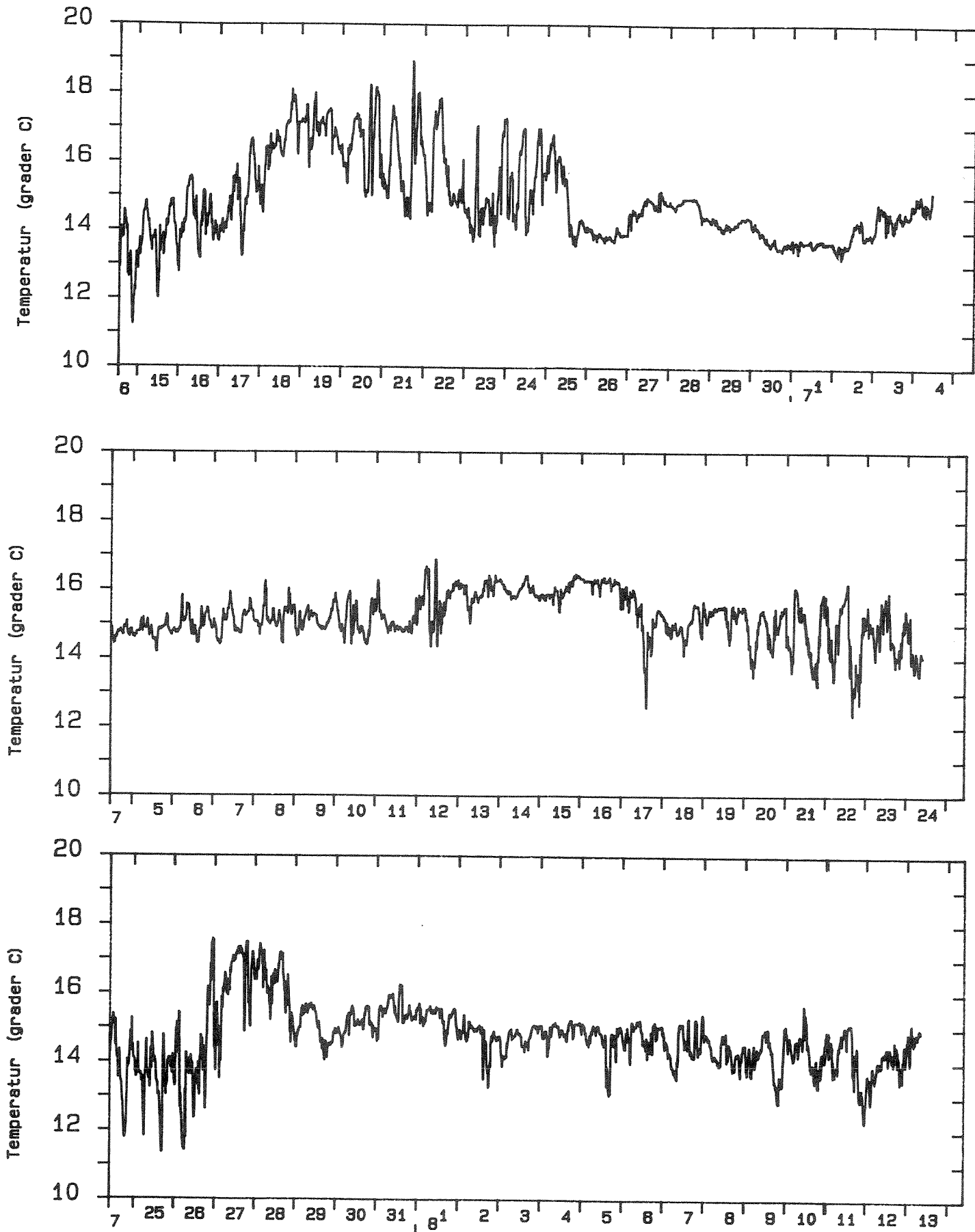


Fig. A2 b. Observasjon av temperatur ved Varaldsøy, R2, i perioden 15/6 - 15/9 1989. Målenintervallet var 15 minutter. Dato (mnd,dag) langs horisontalakse.

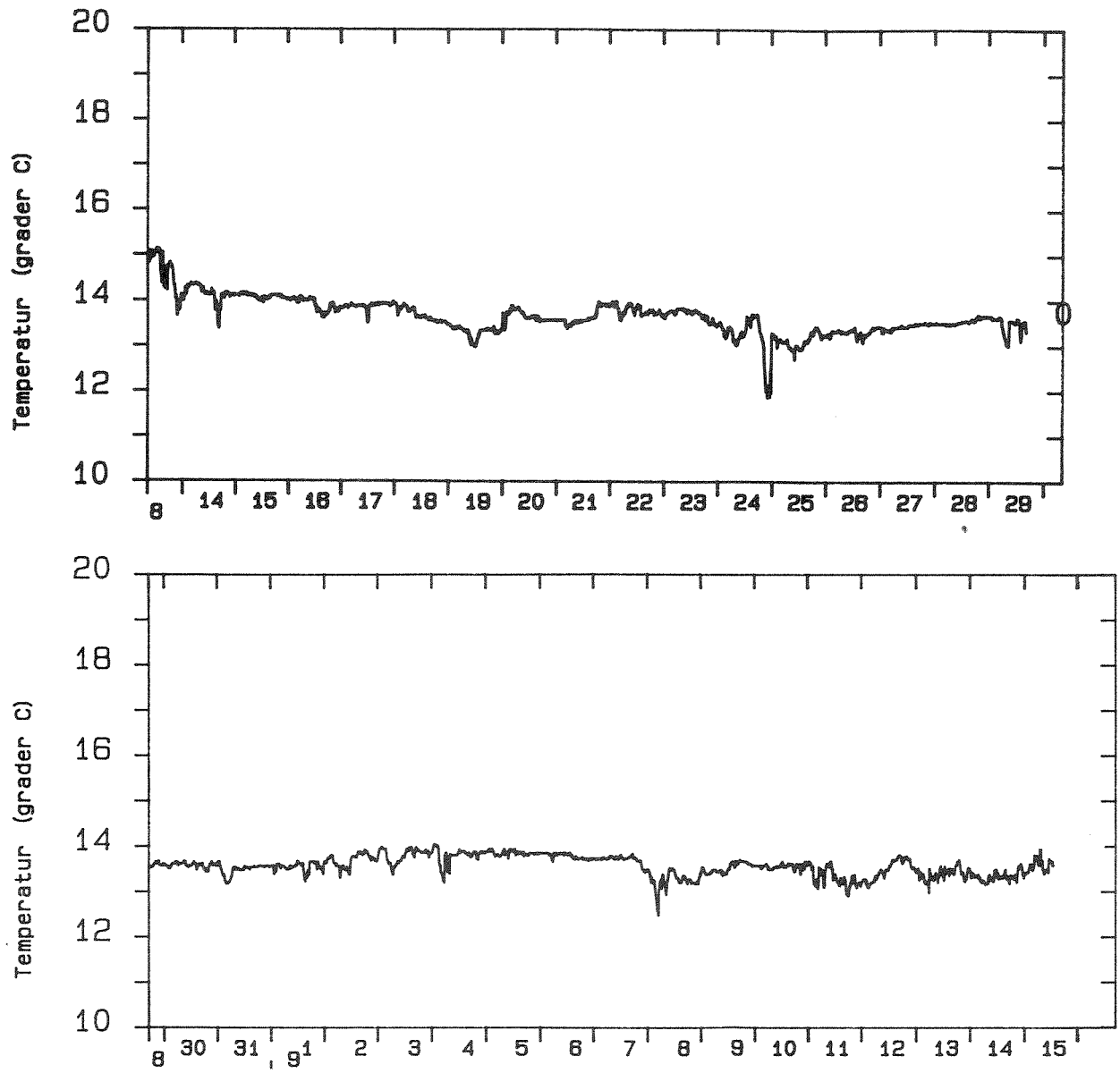


Fig. A2 b forts.

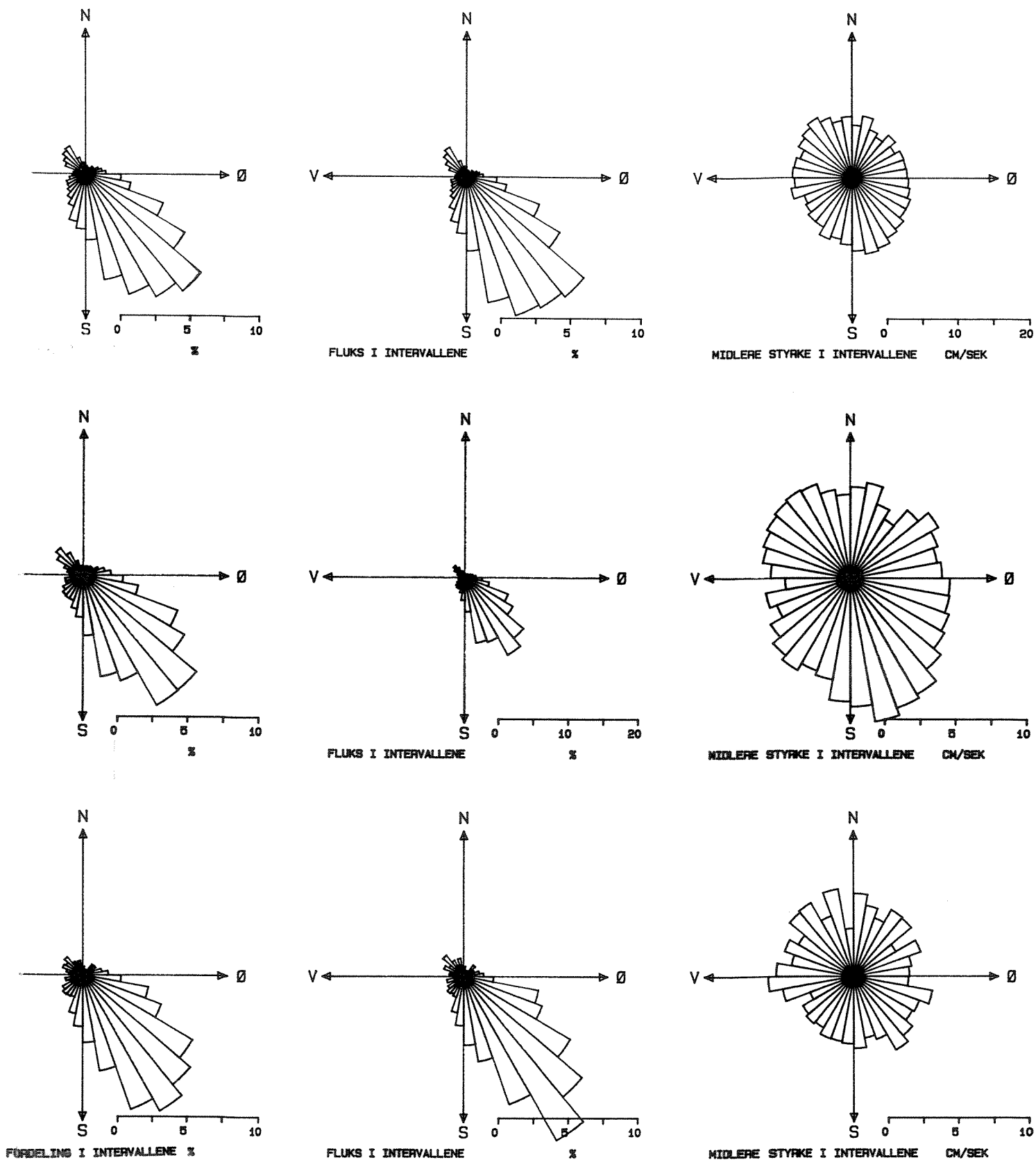


Fig. A3. Statistisk fordeling av strømobservasjoner i retningsintervall for R1. Fra venstre: %-vis fordeling i intervallene, fluksfordeling og midlere styrke. Øverst data fra perioden 15/6-24/7. Videre 24/7-29/8 og 29/8-15/9.



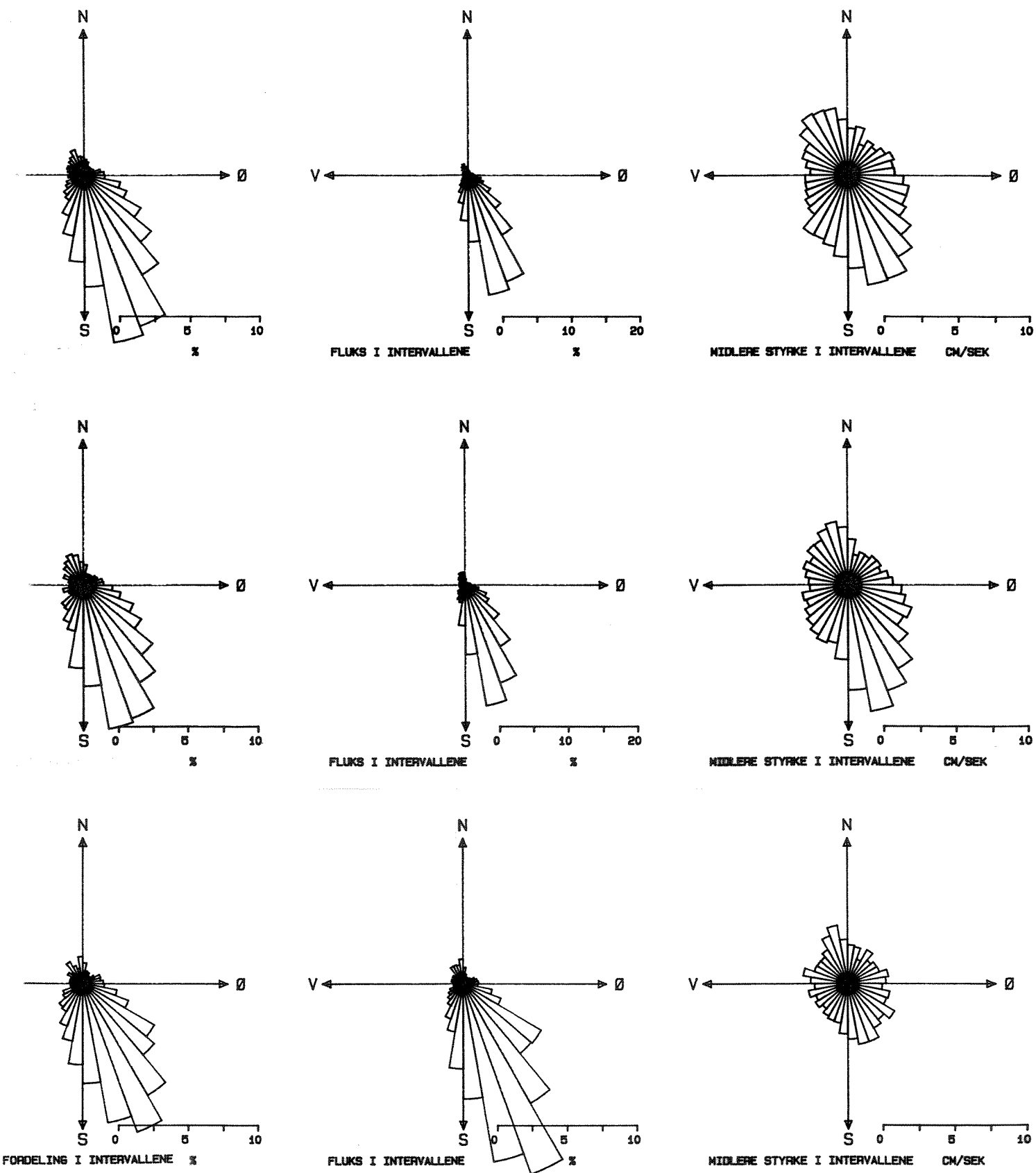


Fig. A4. Statistisk fordeling av strømobservasjoner i retningsintervall for R2. Fra venstre: %-vis fordeling i intervallene, fluksfordeling og midlere styrke. Øverst data fra perioden 15/6-24/7. Videre 24/7-29/8 og 29/8-15/9.

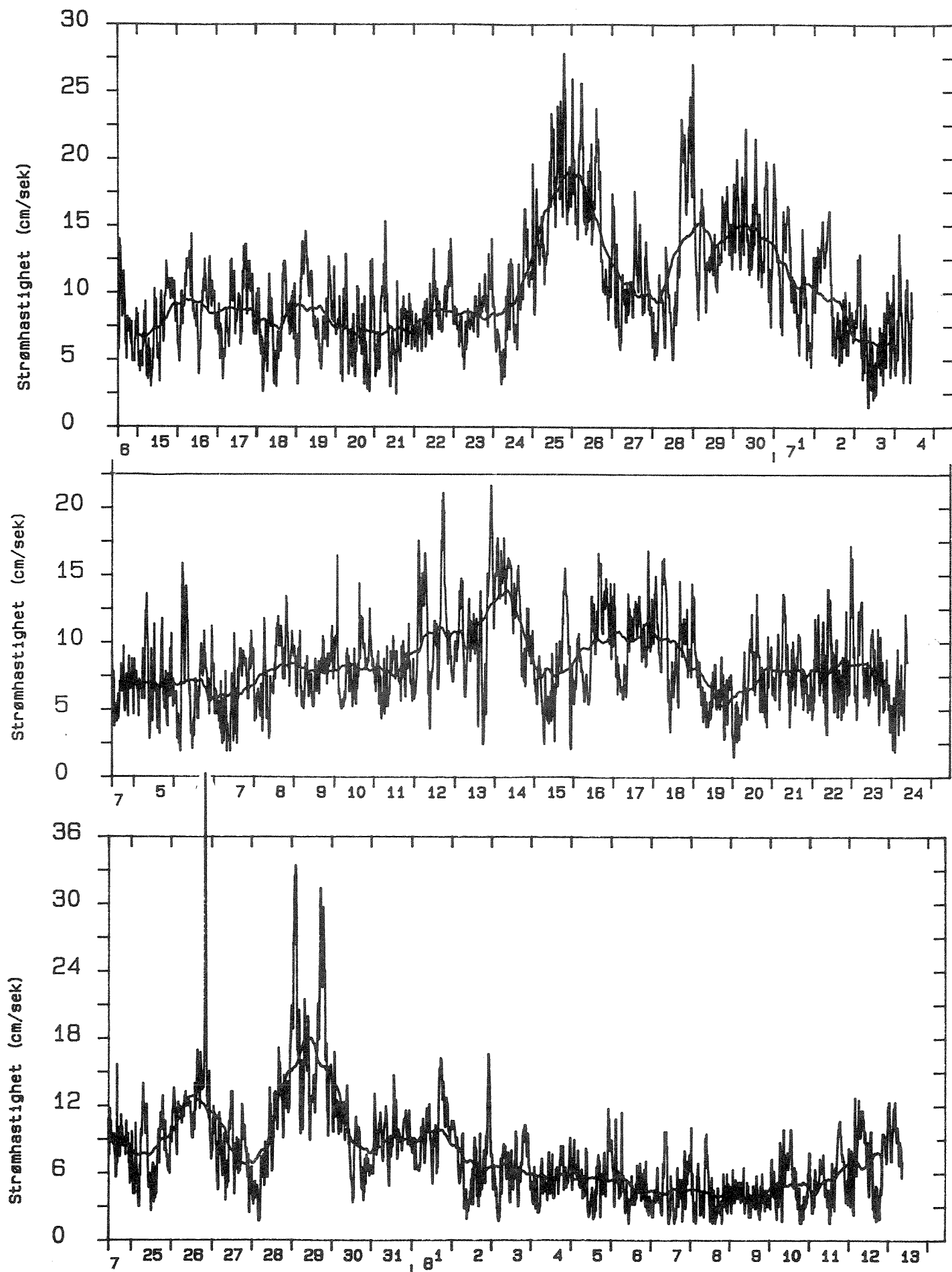


Fig. A5. Observert strømfart på R1 i perioden 15/6-13/8 1989.

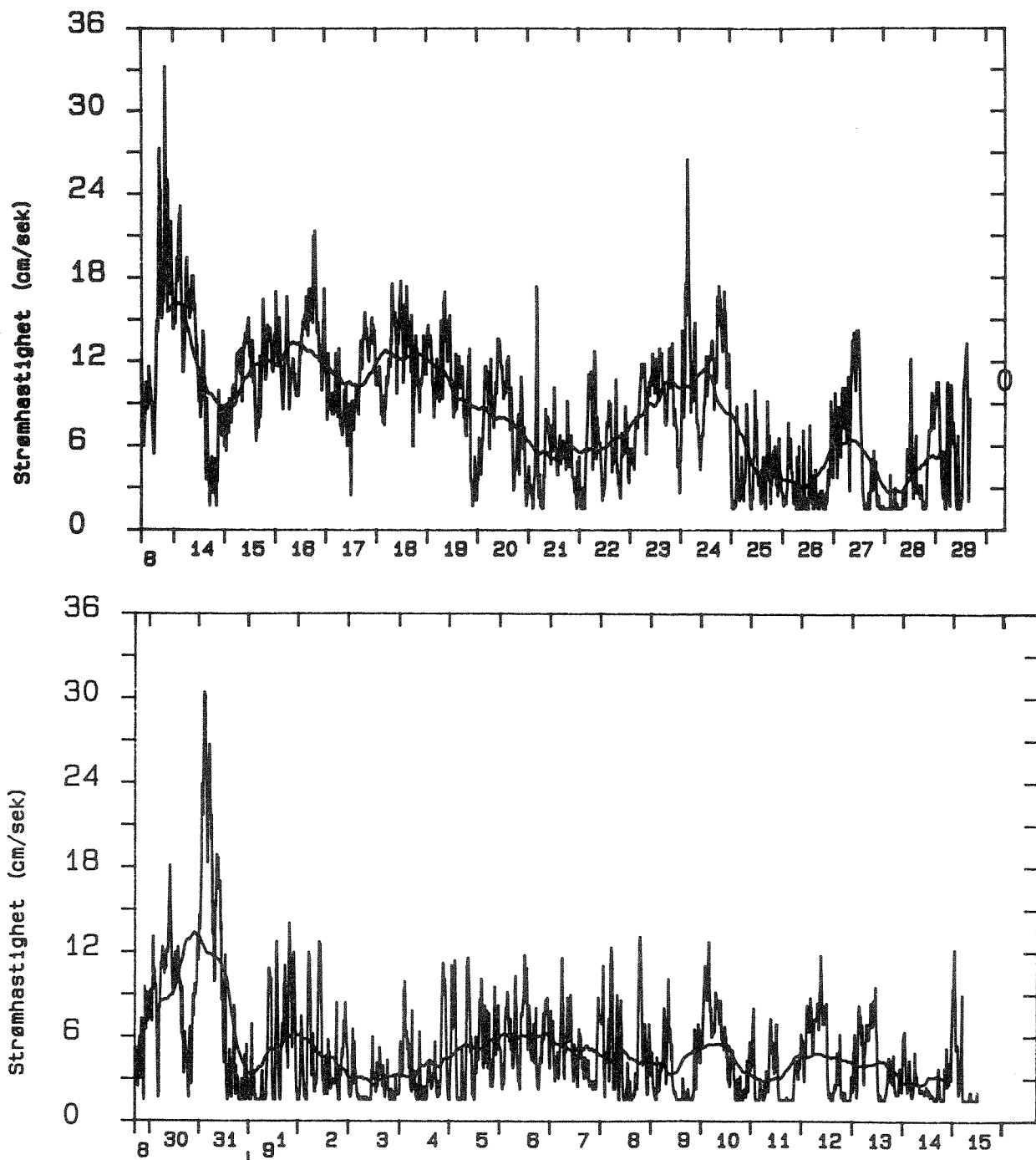


Fig. A5 forts. Strømfart på R1 for perioden 13/8-15/9 1989.

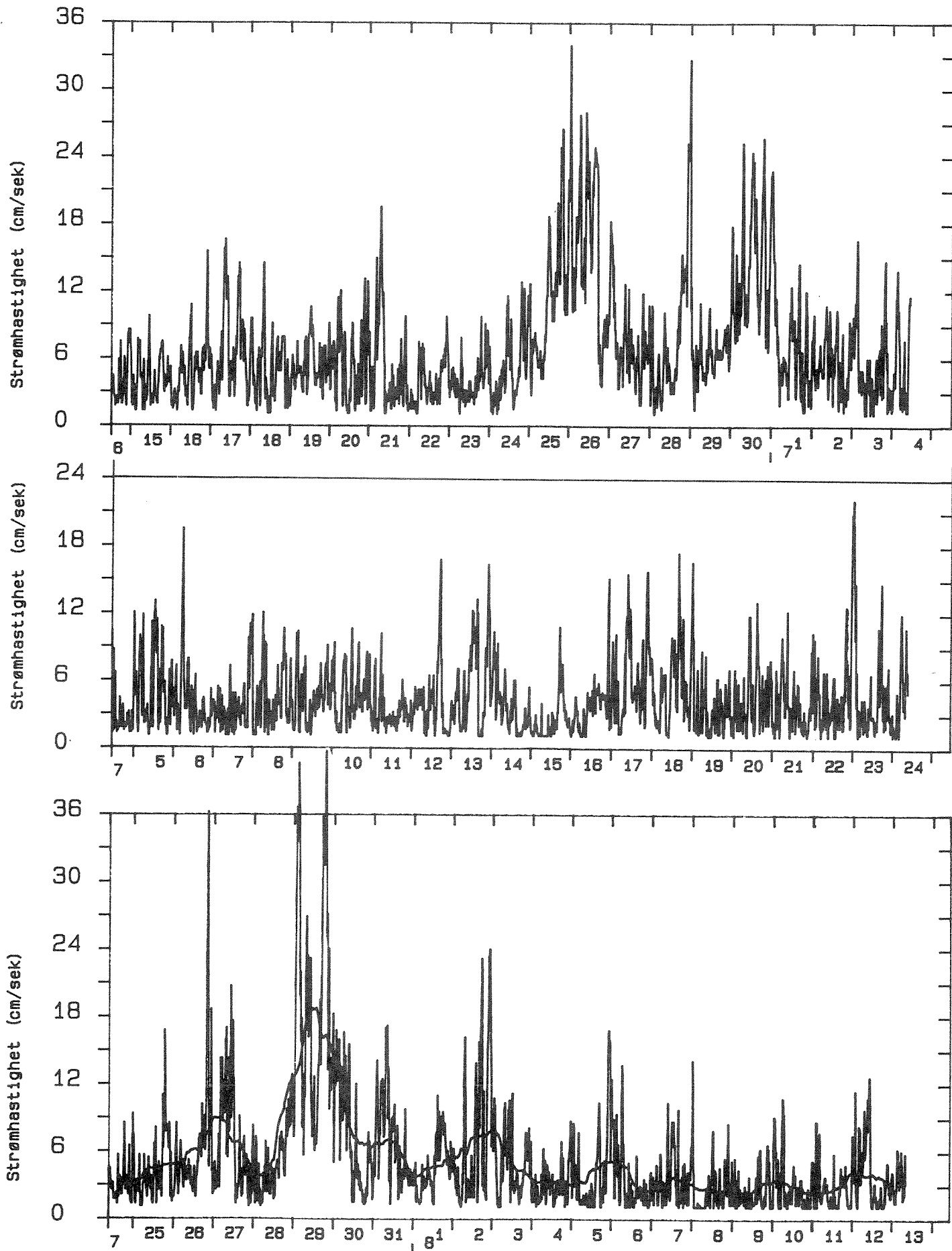


Fig. A6. Observert strømfart på R2 i perioden 15/6-13/8 1989.

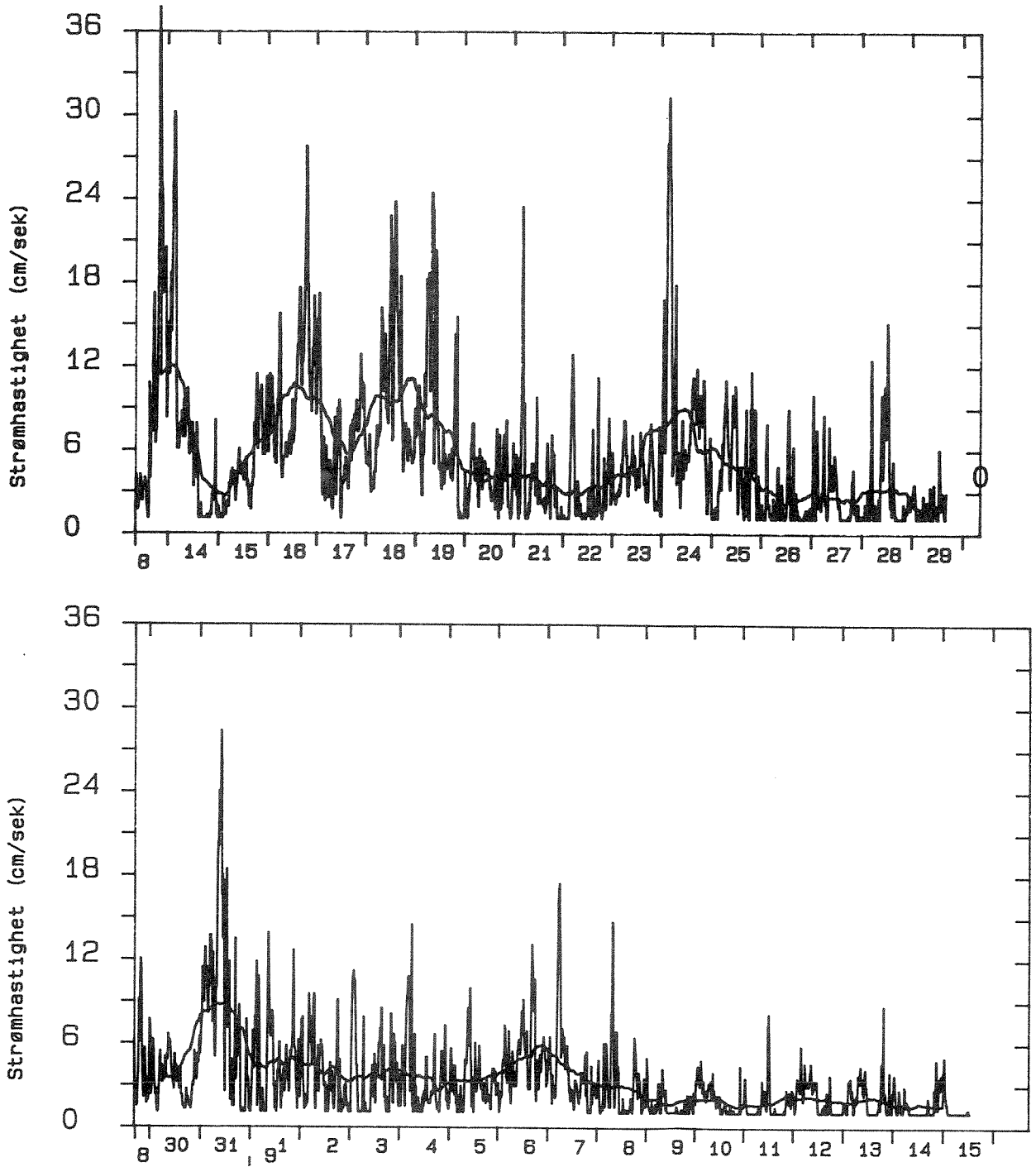


Fig. A6 forts. Strømfart på R2 for perioden 17/8-15/9 1989.

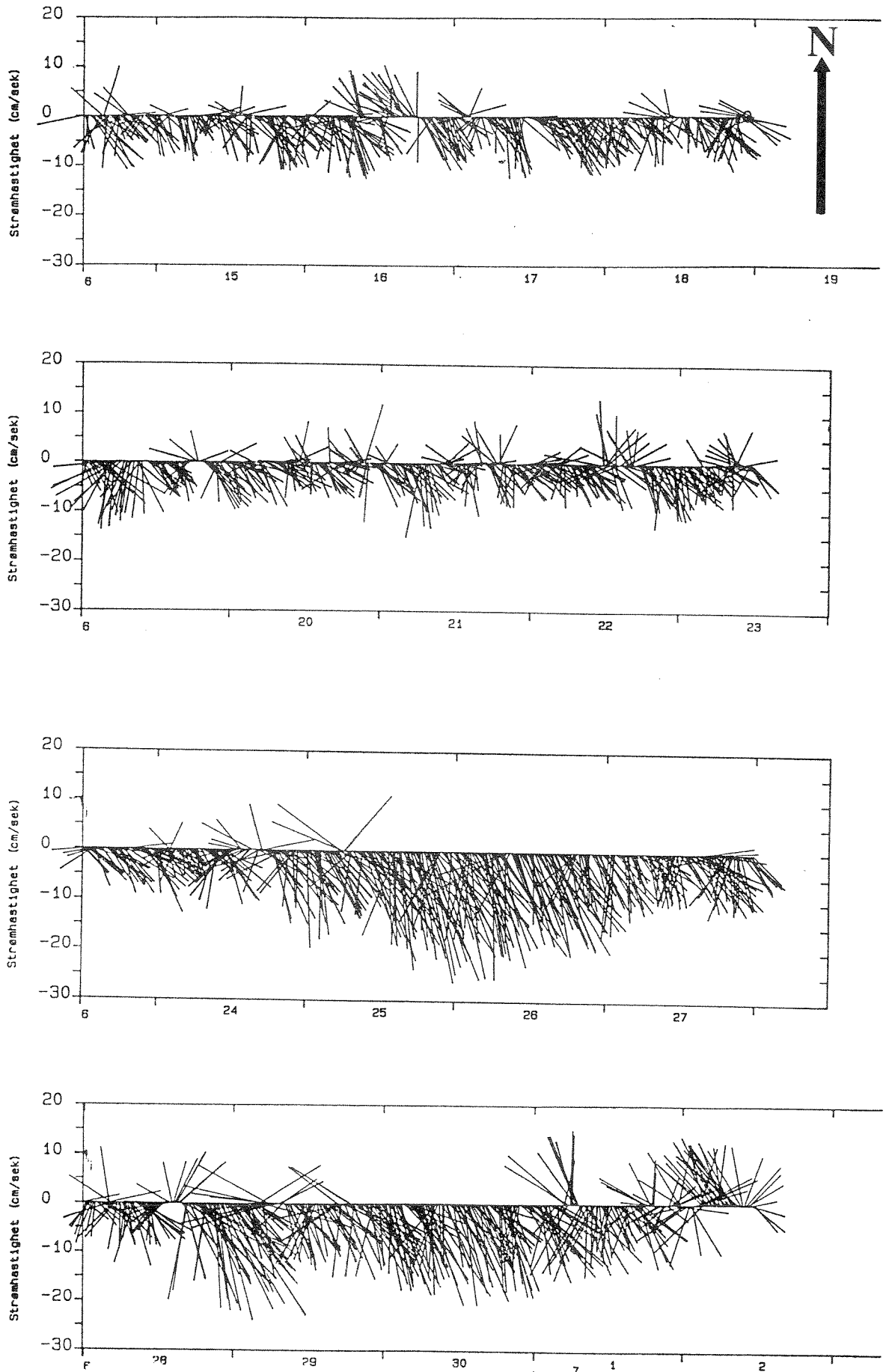


Fig. A7. Strømvektorer enkeltvis som observert på R1. Periode 15/6-2/7 1989. Pilenes lengde (ref. Y-aksen) gjenspeiler farten.

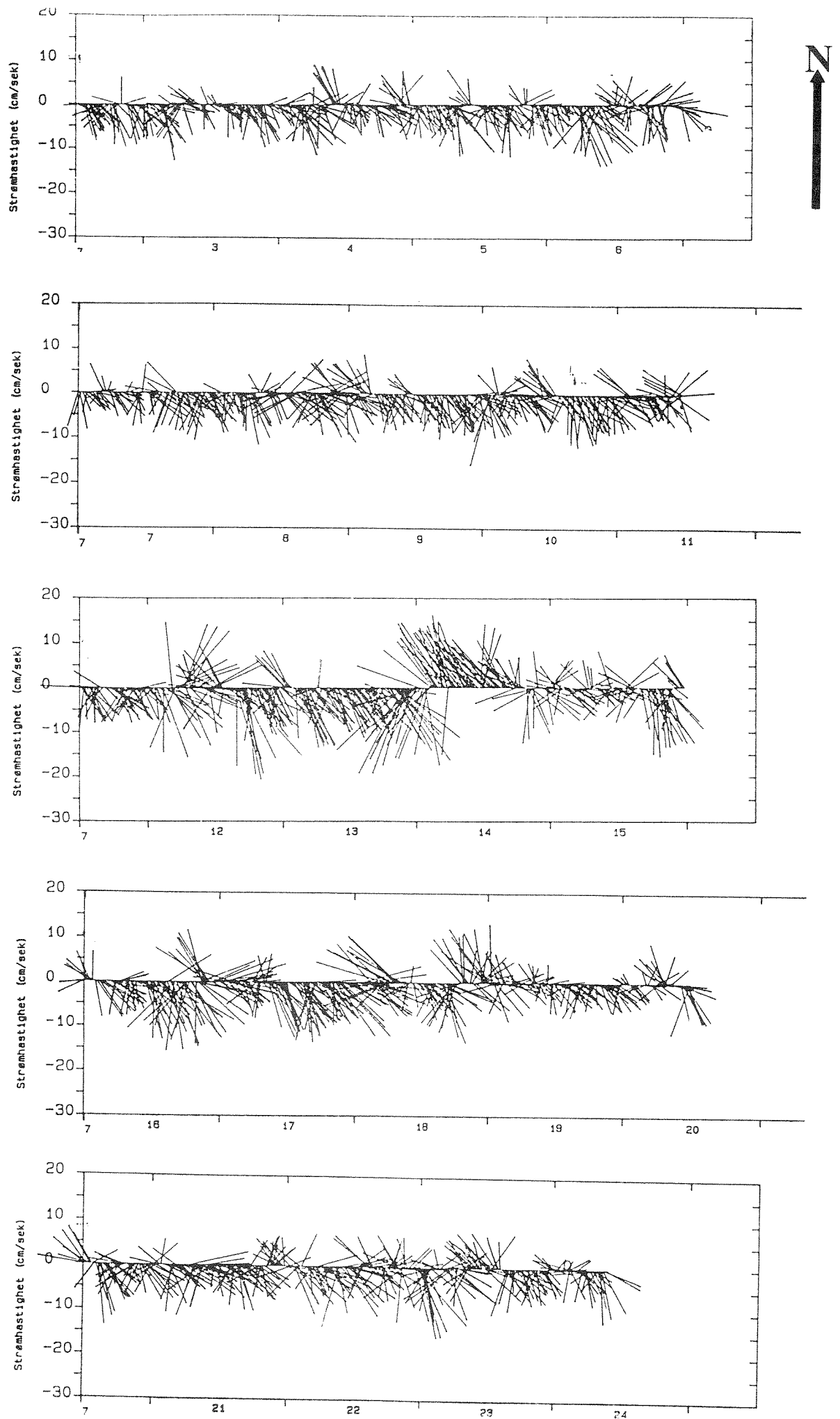


Fig. A7 forts. Periode 3/7-24/7 1989.

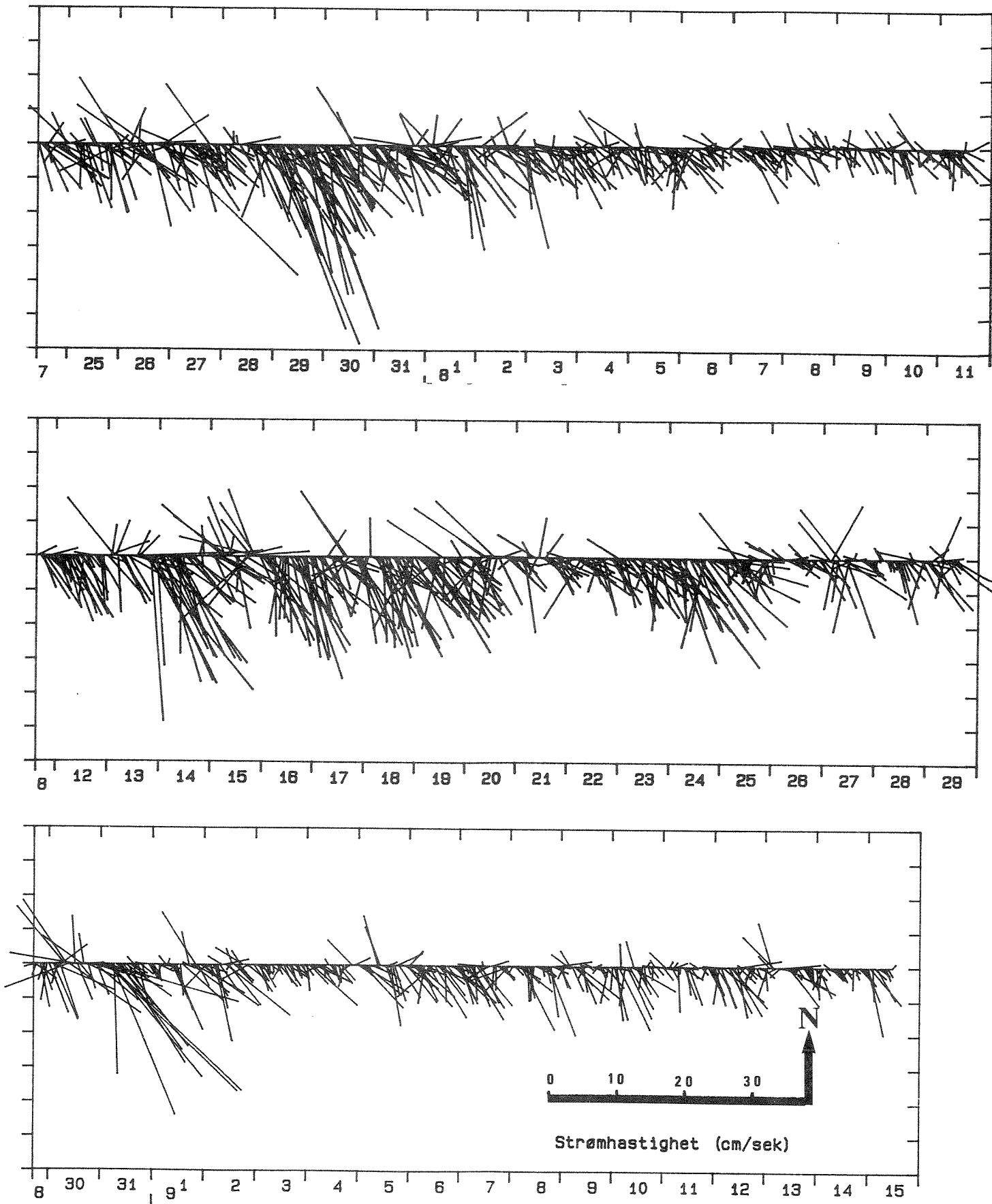


Fig. A7 forts. Timesmidler, R1, periode 24/7-15/9 1989.



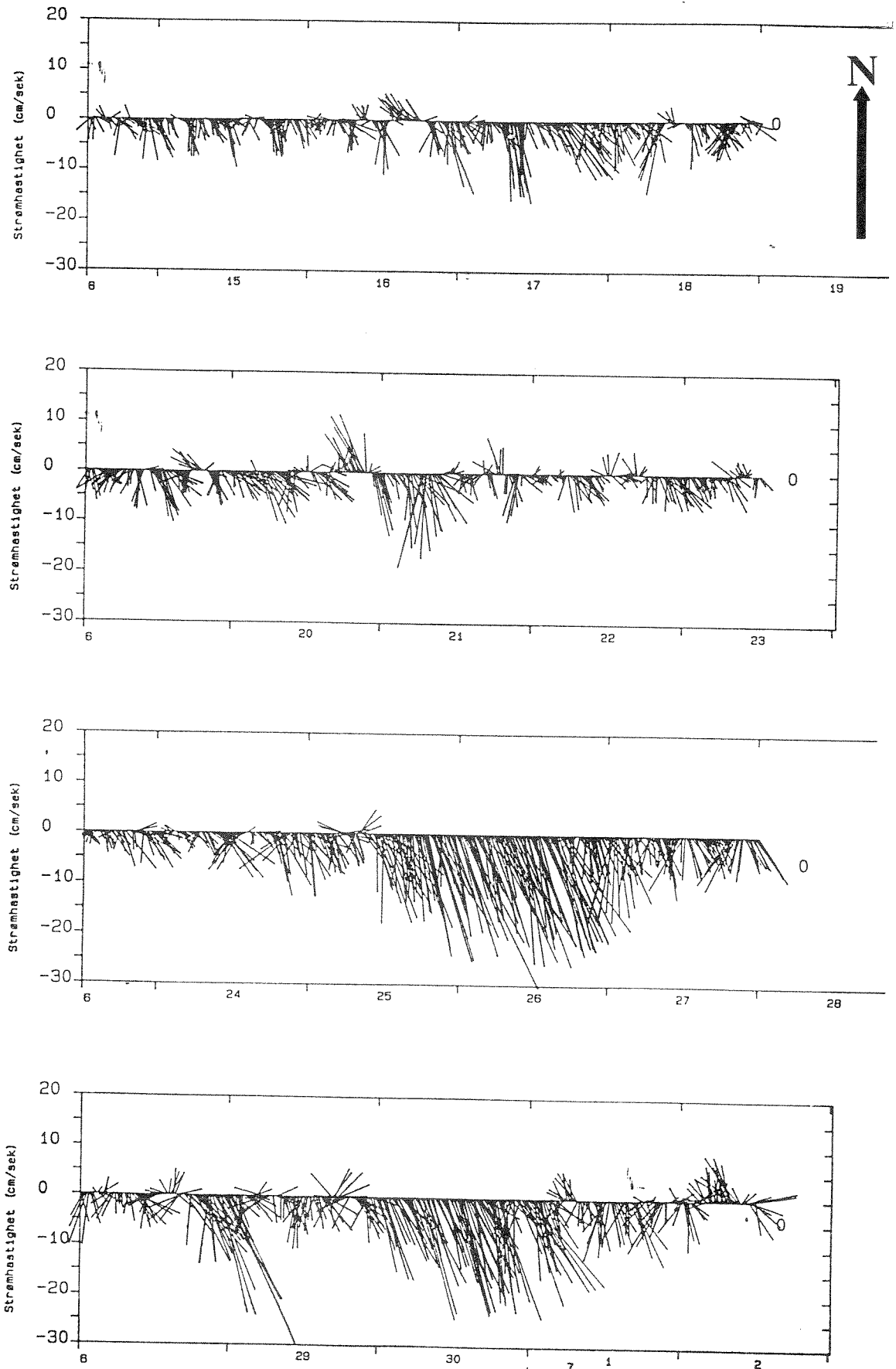


Fig. A8. Strømvektorer enkeltvis som observert på R2. Periode 15/6-2/7 1989. Pilenes lengde (ref. Y-aksen) gjenspeiler farten.

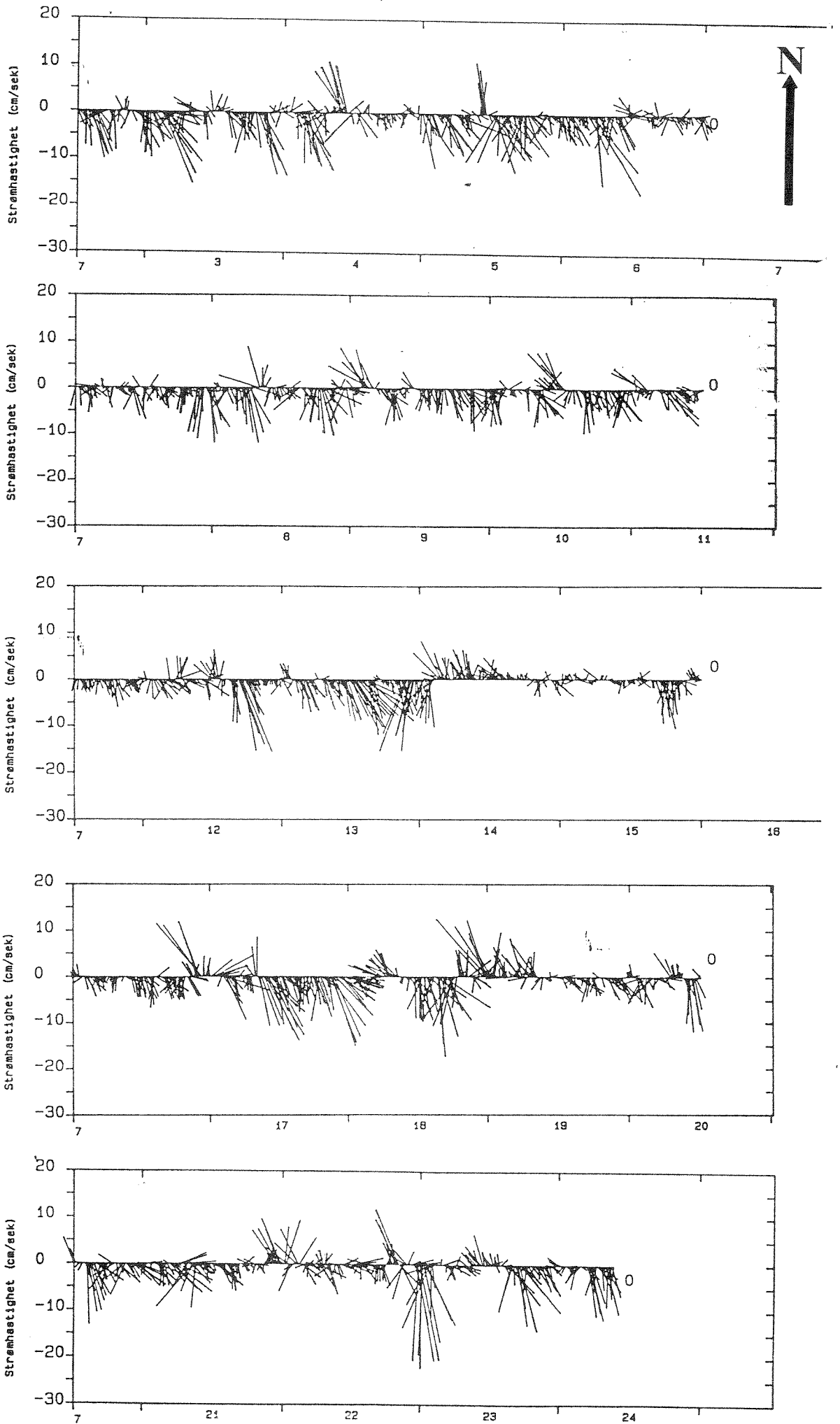


Fig. A8 forts. Periode 3/7-24/7 1989.

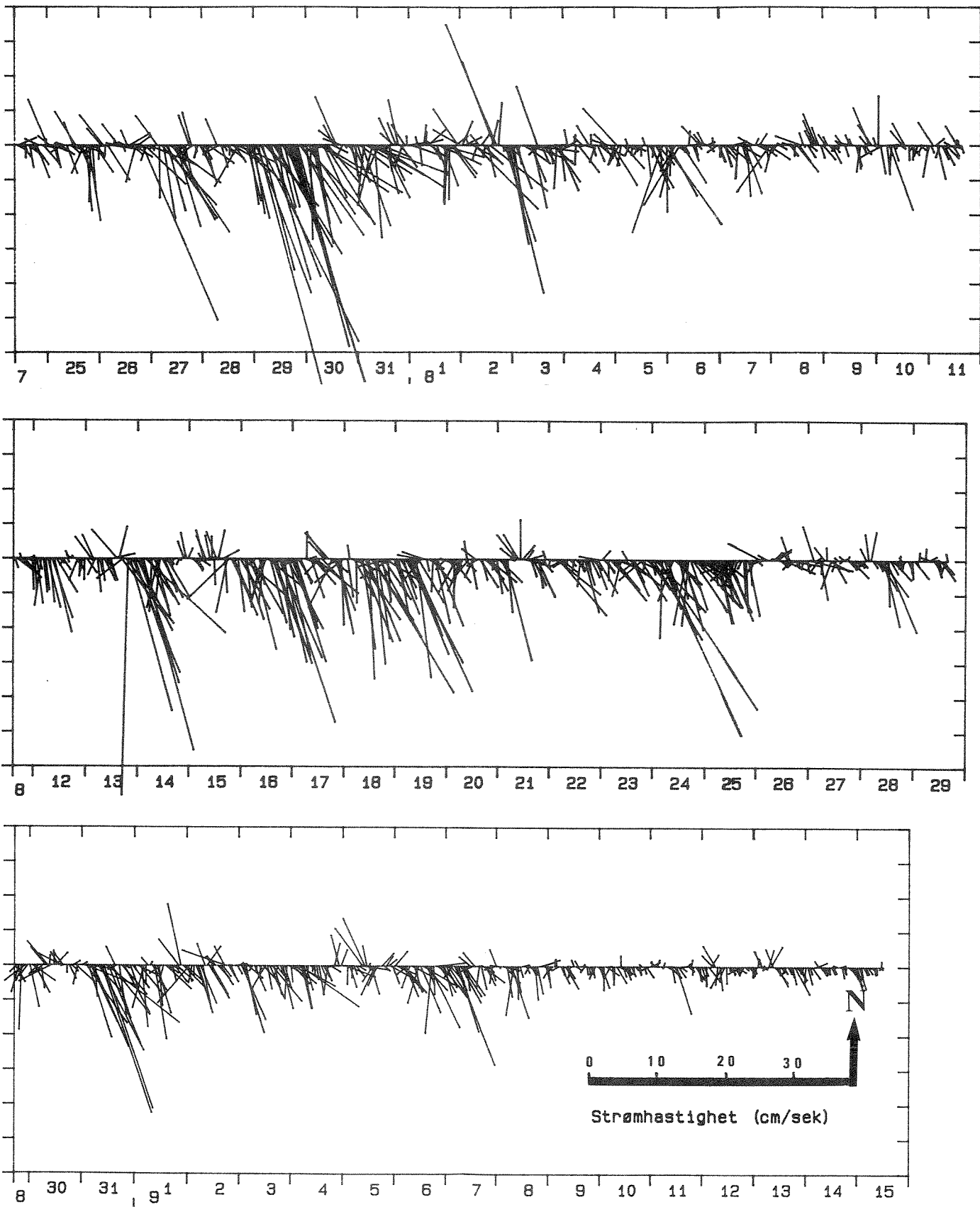


Fig. A8 forts. Timesmidler, R2, periode 24/7-15/9 1989.