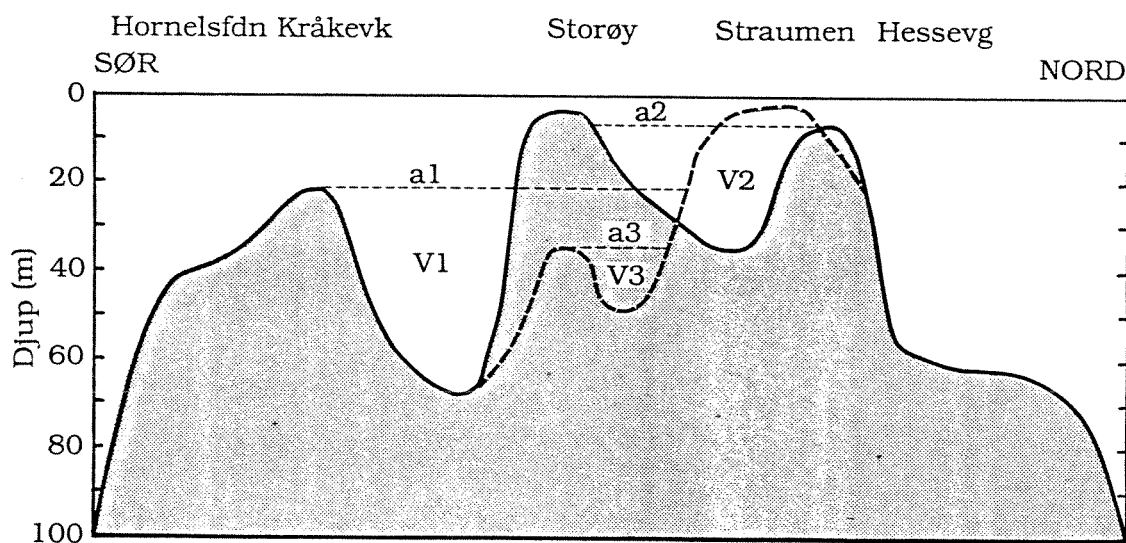




O-89175

Gransking av straumtilhøve  
og vassutskifting i  
**Rugsund**



# 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-89175
Undernummer:	
Løpenummer:	2359
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:	Dato:
GRANSKING AV STRAUMTILHØVE OG .VASSUTSKIFTING I RUGSUND	Februar 1990
Forfatter (e):	Prosjektnummer:
Lars G. Golmen	O-89175
	Faggruppe:
	Marin eutrofi
	Geografisk område:
	Sogn og Fjordane
	Antall sider (inkl. bilag):
	54

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
K. Strømmen Lakseoppdrett A/S, Rugsund	

Ekstrakt:
K. Strømmen Lakseoppdrett A/S i Rugsund planlegg å søkje om utviding av konsesjonsvolum frå 8000 til 12000 m <sup>3</sup> merdvolum. I denne samanheng har NIVA gjort registreringar av straumtilhøve og vassutskifting nær anlegget, og i Straumane lenger sør. Straumen gjennom Rugsundet er netto nordgåande. Det blei ikkje påvist negativ påverknad på vasskvaliteten Hessevågen og i S. Straumen, trass i ein produksjon anslagsvis tilsvarande 12000m <sup>3</sup> merdvolum i 1989. Hessevågen og tilstøytande område vil sannsynlegvis kunne bære miljøbelastninga som ein permanent produks- <del>auke vil medføre.</del>

4 emneord, norske:

1. miljøeffekt
2. akvakultur
3. marin eutrofi
4. strømmåling

4 emneord, engelske:

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

Prosjektleder:

Lars G. Golmen

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1641-3

O - 89175

Gransking av straumtilhøve  
og vassutskifting i  
RUGSUND

Bergen, 8/2 1990

Lars G. Golmen

## INNHALD

FORORD . . . . .	1
SAMANDRAG . . . . .	2
1. INNLEIING . . . . .	3
1.1 <u>Bakgrunn for NIVAs granskingar</u> . . . . .	3
1.1.1. <u>Tidlegare granskingar</u> . . . . .	4
1.2. <u>Generelle opplysningar.</u> . . . . .	5
1.2.1. <u>Område</u> . . . . .	5
1.2.2. <u>Anlegget</u> . . . . .	5
1.2.3. <u>Botntopografi</u> . . . . .	8
1.3. <u>Miljøgranskingane hausten 1989</u> . . . . .	10
1.3.1. <u>Straummåling</u> . . . . .	10
1.3.2. <u>Hydrografi</u> . . . . .	11
1.3.3. <u>Andre prøver</u> . . . . .	13
2. LITT OM MILJØTILHØVE OG FORUREINING I SAMBAND MED FISKEOPPDRETT I SJØ. . . . .	14
2.1. <u>Miljøeffektar</u> . . . . .	14
2.2. <u>Oppdrettsfisk og miljøkrav</u> . . . . .	15
2.3. <u>Straumtilhøve og vassutskifting ved eit   anlegg</u> . . . . .	17
2.4. <u>Oppdrettsanlegg påverkar straummønsteret</u> . . . . .	20
3. DATAPRESENTASJON . . . . .	23
3.1. <u>Straummåling</u> . . . . .	23
3.2. <u>Hydrografi</u> . . . . .	23
3.2.1. <u>Salinitet og temperatur</u> . . . . .	23
3.3. <u>Vassprøver og sediment</u> . . . . .	24
3.3.1. <u>Næringssalt</u> . . . . .	24
3.3.2. <u>Sediment</u> . . . . .	25
3.3.3. <u>Oksygen</u> . . . . .	25
3.3.4. <u>Siktedjup.</u> . . . . .	26
4. DISKUSJON . . . . .	27
4.1. <u>Straummålingane</u> . . . . .	27
4.2. <u>Hydrografi</u> . . . . .	29
4.3. <u>Næringssalt og sediment</u> . . . . .	30
4.3.1. <u>Næringssalt</u> . . . . .	30
4.3.2. <u>Oksygen</u> . . . . .	32
4.3.3. <u>Sediment</u> . . . . .	33
4.4. <u>Belastning frå fiskeoppdrett</u> . . . . .	33
REFERANSER . . . . .	38
APPENDIKS - Figurar til kap. 3. . . . .	39

**FORORD**

K. Strømmen Lakseoppdrett A/S har søkt om å få auke konsepsjonsvolumet i oppdrettsanlegget i Rugsund (Hessevågen) frå 8 000 m<sup>3</sup> til 12 000 m<sup>3</sup>. Miljøvernavingdelinga hos Fylkesmannen i Sogn og Fjordane har i denne samanheng tilrådd miljø/resipientgransking i området. NIVA blei kontakta i juli 1989, med forspurnad frå K. Strømmen Lakseoppdrett om å gje tilbod på ei slik miljøgransking. Avtale om gjennomføring av eit konkret opplegg blei inngått i august 1989.

Området der noverande anlegg i Rugsund ligg, er klassifisert som "A" område i LENKA samanheng, m.a.o. antatt gode utskiftingstilhøve. Det tilstøytande området sørover i Rugsundet er imidlertid klassifisert som "C" område, som inneber redusert eignaheit i oppdrettssamanheng. Fylkesmannens krav eller tilråding om miljøgransking skuldast m.a. usikkerheit om forureining frå anlegget i Hessevågen påverkar det meir sårbare "C"-området i sør.

I NIVAs prosjekt er det blitt lagt vekt på å framskaffe data for å kunne vurdere spørsmålet omkring eventuell påverknad. Straummmåling har difor stått sentralt i prosjektet. Vidare har vi gjort botnregistreringar m.m. i det omtalte "C" området. Det har blitt lagt liten vekt på å utføre prøvetaking o.l. i umiddelbar nærleik av eksisterande oppdrettsanlegg. Dårlege tilhøve der vil i første rad ramme anlegget sjølv.

NIVA har foretatt to befaringar til Rugsund hausten 1989. I denne samanheng vil vi få takke for den lokale bistand i samband med straummålingane, og med øvrige målingar og prøvetaking i området.

Hos NIVA har Lars G. Golmen vore prosjektansvarleg. Håvard Bakke og Svein R. Erga var med på planlegging av prosjektet. Terje Hopen har forestått EDB av straummålaradata. Inger Midttun har stått for skriving og redigering av rapporten.

## SAMANDRAG

NIVA har i løpet av hausten 1989 utført straummålingar og foretatt prøvetaking i sjøen i Rugsund i Sogn og Fjordane. Bakgrunnen for dette er søknad frå K. Strømmen Lakseoppdrett A/S om å auke konsesjonsvolumet i oppdrettsanlegget i Hessevågen frå 8 000 til 12 000 m<sup>3</sup>. Fylkesmannen i Sogn og Fjordane har i denne samanheng sett fram krav om miljøgranskingar.

NIVA har målt straum i nordre del av Rugsundet over ca. ein månad. Det har blitt foretatt hydrografisk profilering og prøvetaking av næringssalt i sjøen. Vidare er det tatt grabbprøver av sediment ulike stader i Rugsundet.

Innleiande topografisk kartlegging har synt at Hessevågen ikkje har noko terskelbasseng. Sørøver i Rugsundet er der to større djupvassbasseng, h.h.v. i S. Straumen, og mellom Storøy og Kråkevik.

Måleresultata for straum syner at nettotransporten i overlattelaget gjennom Rugsundet forbi Hessevågen er retta nordover, mot Nordfjorden. I djupare deler av Hessevågen opptrer straumen i mot-urs sirkelrørsle.

Næringssaltprøvene i sjøen synte relativt høge verdiar i djupbassenget S. av Storøya. I øvrige deler av det undersøkte området var det ikkje unormalt høge verdiar. Hydrografisk profilering indikerte god utskifting i Hessevågen, delvis stagnant djupvatn i S. Straumen og stagnerande djupvatn i bassenget S. av Storøy. Registreringar av oksygen i sjøen i Hessevågen, og i S. Straumen synte høge verdiar. I bassenget S. av Storøy var det redusert oksygeninnhald i djupvatnet. Tilhøva der var samanliknbare, eller litt dårlegare enn vinteren 1988.

På bakgrunn av straummålardata, synest det lite sannsynleg at forureining frå eksisterande oppdrettsanlegg i Hessevågen påverkar vasskvaliteten i bassenget S. av Storøya. Det kan periodevis bli akkumulert avfallsmateriale i djupvatnet i S. Straumen. Dagens drift ved anlegget synest imidlertid ikkje å medføre langtidseffekter på det marine miljøet eller på vasskvaliteten der.

Sannsynlegvis vil bassenget i S. Straumen, såvel som sjølve Hessevågen, kunne tåle auka forureiningstilførsler av storleiksorden 20-50% i høve til i dag, forutsatt same rutiner ved anlegget m.o.t. slamsuging og drift ellers. Eventuelle negative effekter av auka belastning i området vil truleg lettast kunne påvisast og overvakast ved prøvetaking i bassenget i S. Straumen.

## 1. INNLEIING

### 1.1 Bakgrunn for NIVAs granskingar

K. Strømmen Lakseoppdrett A/S sitt anlegg ligg i nordre del av Rugsund i Bremanger kommune. Midtre deler av Rugsundet er definert som "C" område (Straumane) i LENKA samanheng, ut frå vurdering av lokal topografi m.m.. Ein slik områdedefinisjon inneber særskilte avgrensingar i bruken av resipienten.

Ved K. Strømmen sitt anlegg foreligg det planar/søknad om å utvide kapasiteten frå 8000 til 12000 m<sup>3</sup> merdvolum. I denne samanheng har Fylkesmannen i Sogn og Fjordane bedt om at det vert utført ei gransking av det marine miljøet rundt anlegget, med vurdering av eignaheit, og konsekvensar ved vidare drift. Bakgrunnen for dette er at anlegget ligg nær opp til den nemnde "C" sona i Rugsund. Kravet om granskingar heng også saman med at det ikkje sidan 1983/84 har vore gjort ganskingar av miljøtilhøva i sjøen eller på botnen ved anlegget. Det har for øvrig jamnleg vore foretatt slamsuging av botnen under merdane.

NIVA er blitt bedt av K. Strømmen Lakseoppdrett A/S om å utføre miljøgranskinga. Granskinga har som mål å kartlegge botntilhøve, straum og vasskvalitet i Hessevågen og tilstøytande område. Sedimentprøvetaking i djupe botnparti var inkludert i prosjektet. NIVA har lagt vekt på å utføre målingar i det tilstøytande området i straumane sørover i Rugsundet, for om mogleg å påvise effekter av lakseoppdrettet der. Nordafor Hessevågen er botntilhøve og topografi av ein slik karakter at ein må forvente god utskifting med svært liten sjanse for å finne påviselege effekter. NIVA har ikkje vurdert dagens botntilhøve under, eller i umiddelbar nærleik av merdane.

Det har vore tvil i spørsmålet om sjølve Hessevågen har terskel eller ikkje. I LENKA-klassifiseringa som A,B

eller C type sjøområde inngår opplysningar omkring botntopografi som ein viktig del. Hessevågen er klas-sifisert som "A" område (god resipientkapasitet). Vågen grensar imidlertid i sør mot eit "C" område. Dette, saman med usikkerheita omkring botntilhøva i sjølve Hessevågen, har gjort at Fylkesmannen i Sogn og Fjordane har pålagt miljøgransking, og konsekvensvurdering ved vidare drift (evt. utviding av kapasiteten) på anlegget. Det knyter seg mellom anna uvisse til om drifta ved anlegget (fôrspill o.l.) kan medføre negativ påverknad av områda i sør (Straumane). Ein freistnad på klårgjering omkring botntilhøva (terskeldup) har difor inngått i NIVAs prosjekt.

Programmet for måling av straum og hydrografi var på bakgrunn av problemstillinga, relativt omfattande. Måleresultata gjev grunnlag for vurdering av utskifting og nettotransport gjennom Straumane. I tillegg kan deler av datamaterialet nyttast i samband med drifta på sjølve oppdrettsanlegget.

Det har ikkje vore NIVAs oppgåve å påpeike eller vurdere eksisterande konflikhtar mellom K. Strømmen Lakseoppdrett A/S og andre lokalinteresser, særleg knytta til friluftsliv og antikvariske verdiar i området.

#### 1.1.1. Tidlegare granskingar

Tidlegare er det utført mindre granskingar ved anlegget. P. Hovgaard ved Sogn og Fjordane DH, foretok synfaring og prøvetaking i Hessevågen i juni 1983. Basert på prøver av tang og botndyr konkluderte han i eit notat med at sjøområdet rundt anlegget hadde liten grad av forureining. Ingeniørfirmaet Sam Lorgen inspiserte botnen under anlegget i 1984, og konkluderte med at der var gode botntilhøve med normal botnfauna, utan teikn på oppsamling av ekskrement o.l.



## 1.2. Generelle opplysningar.

### 1.2.1. Område

Hessevågen ligg i nordre del av sundet mellom Rugsundøy og Bremanger fastland i Sogn og Fjordane (Fig. 1.1). Storøya deler Rugsundet i to løp, h.h.v. Nordre og Søre Straumen. I sør munnar Rugsundet ut i Hornelsfjorden, der hovedskipsleia nord/sør forbi Måløy går (Skatestraumen vestover). I nord munnar sundet ut i den opne og djupe Nordfjorden. Tidlegare var Rugsundet mykje nytta som skipslei, og der var etablert handelsstad. Grunna avgrensa seglingsdjup og trang lei i høve til dagens skipstypar, er sunda (S. Straumen) no lite nytta som skipslei, bortsett frå av mindre farty, og til lokal trafikk.

Når det gjeld straumtilhøva, er det ålment kjent at der er sterk straum i sundet. "Den Norske Los" antydar straum opp mot 3-4 knop i Straumane, og med N-gåande retning på flødande sjø; motsett veg på fallande. Straumen vender litt før tidspunkt høg- og lågvatn i området, i følgje same kjelde.

Næraste oppdrettsanlegg ligg sør i Rugsundet, ved Kråkevika (I.G.A. Fisk A/S). Avstanden dit er omlag 2.5 km. Davik Fiskefarm A/S ligg ved Davik ca. 10 km innover, på sørsida av Nordfjorden.

### 1.2.2. Anlegget

K. Strømmen Lakseoppdrett A/S har hovedanlegget i Hessevågen. I tillegg er det nyleg (1989) etablert ein reservelokalitet på N-sida av Storøy (v/ Litløy), i samband med sjukdomssanering (BKD). Sjå Fig. 1.2. for omtrentleg angjeven plassering.

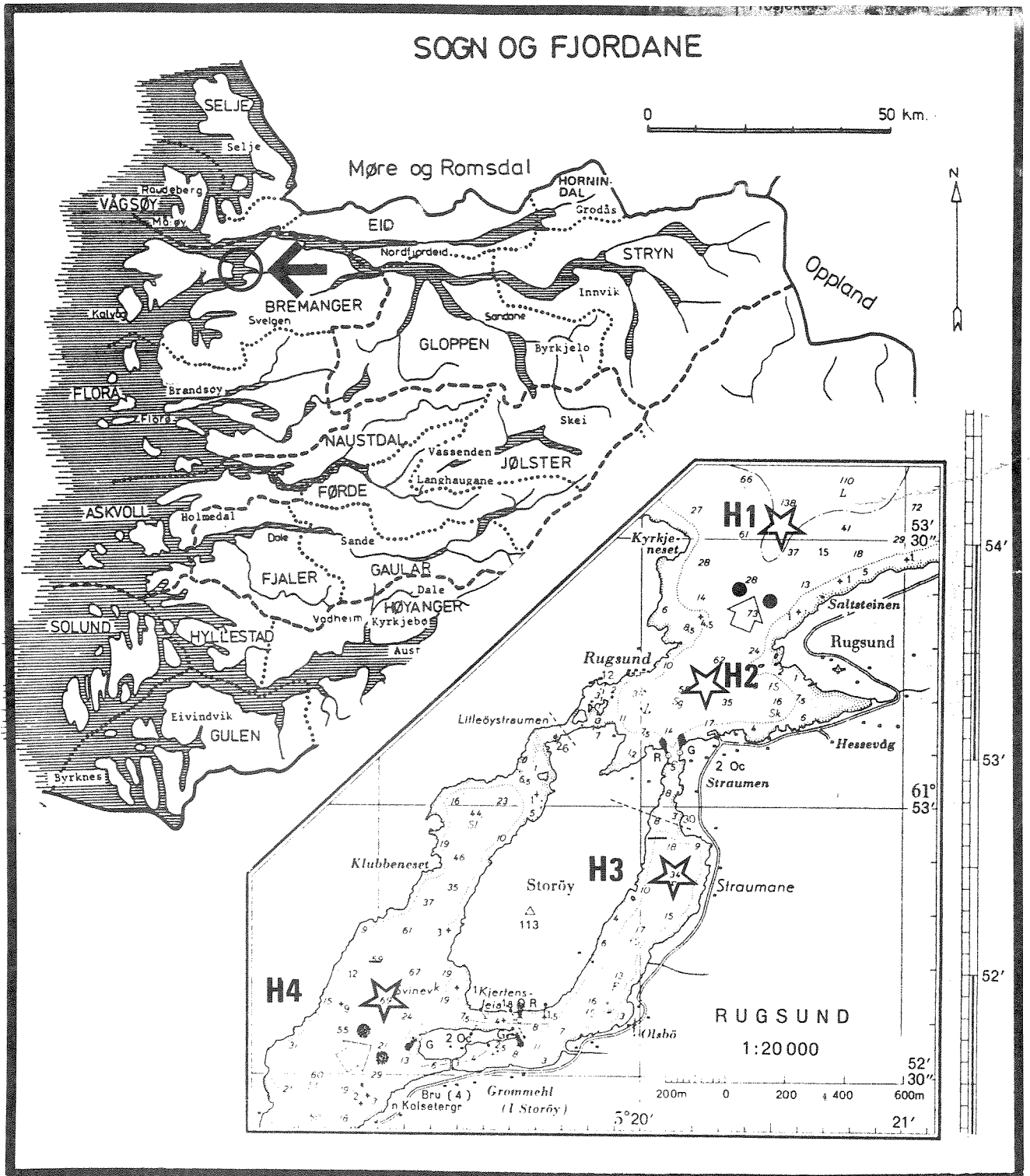


Fig. 1.1. Kartskisse over ytre deler av Sogn og Fjordane, samt detaljkart over Rugsund. NIVAs hydrografistasjoner i 1989 er markert med stjerne.

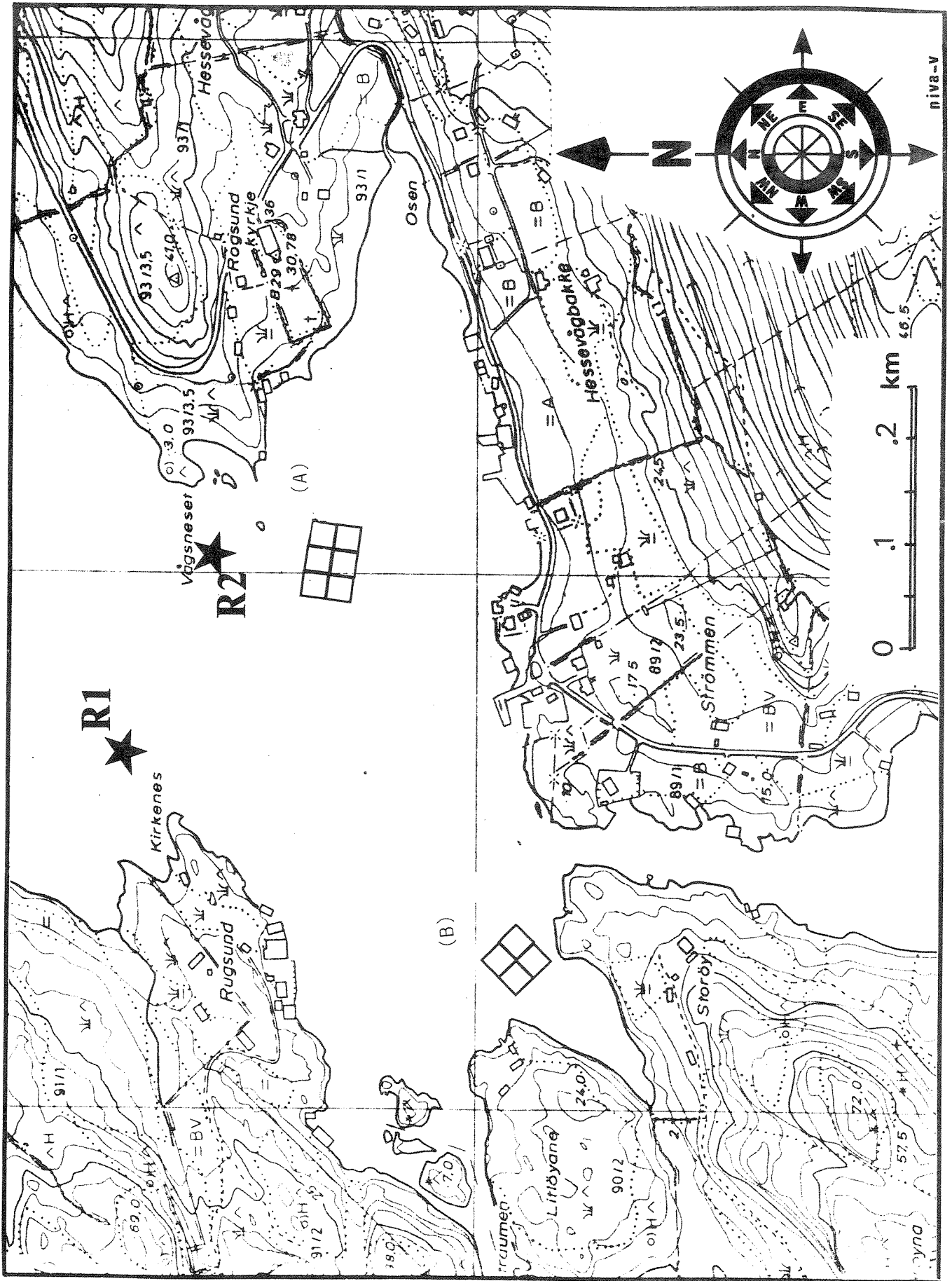


Fig. 1.2. Kart over Hessevågen, med K. Strømmen Lakseoppdrett A/S sitt hovedanlegg (A), samt reserveanlegg (B) innteikna. Posisjon for NIVAs to strømmålarrikkar R1 og R2 er også markert.

Det knyter seg visse lokalkonflikter til plasseringa av reservelokaliteter, og permanent løyve til etablering der er ikkje gjeve. Avstanden mellom anlegga på dei to lokalitetane er om lag 500 meter. Produksjonen i dag er om lag 300-350 tonn laks pr. år, tilsvarande 8000 m<sup>3</sup> merdvolum. Det blir søkt om utviding til 12 000 m<sup>3</sup>, noko som vil auke produksjonskapasiteten med ca. 50%. Grunna uvisse omkring miljøeffekter p.g.a. fôrspill o.l. har Fylkesmannen førebels ikkje tilrådd auke i årsproduksjonen sjølv om merdvolumet blir auka.

K. Strømmen Lakseoppdrett har eit moderne anlegg, med stor produksjons- og lagerbygning i Hessevågen. Det er også nyleg blitt reist ei tidsmessig kantine- og velferdsbygning. Hovedbygninga, som gradvis er blitt utvida gjennom dei siste åra, inneheld m.a. utstyr for slakting og pakking av fisk, samt fryselager. Verksemda er viktigaste arbeidsplassen i Rugsund, og sysselset 6-8 personar på fulltid. I travlegaste slakte- og pakkesesongen kan inntil 40 personar vere sysselsett. Dei aller fleste er rekruttert frå lokalmiljøet.

Under NIVAs synfaringar hausten 1989, bar verksemda preg av reinsemd, med lite synleg forureining, og gode sanitærmessige rutiner. Verksemda har i lengre tid hatt strenge rutiner når det gjeld behandling av slakteavfall o.l., og har eigne tankar for ensilering. Avfallsvatn frå produksjonen blir etter reinsing ført i røyr nordover og ut på djupna utanfor Hessevågen.

### 1.2.3. Botntopografi

Det har som nemnt vore ei viss usikkerheit ang. topografien i nordre del av Rugsund. Basert på opplysningar frå T. Tørresen ved Miljøvernadv. i Sogn og Fjordane, har vi i Fig. 1.3. lagd eit djupneriss langs midtlinja (djupålen) gjennom sundet (S. Straumen) frå sør til nord. Vi har også

teikna djubnerisset langs djupålen i N. Straumen (vest for Storøy). Djupneinformasjonen stammar frå Sjøkartverkets originaldata (hydr. original). Detaljar omkring topografien er ikkje innteikna.

Området av Rugsundet som knyter seg til Hessevågen har som det framgår av Fig. 1.3. ingen terskel mot nord. Frå terskelen ved N-spiss av Storøya skrår botnen først bratt, så meir slakt retning N-NA ut mot Nordfjorden. Djupnene der det flatar ut er 60 - 70 meter.

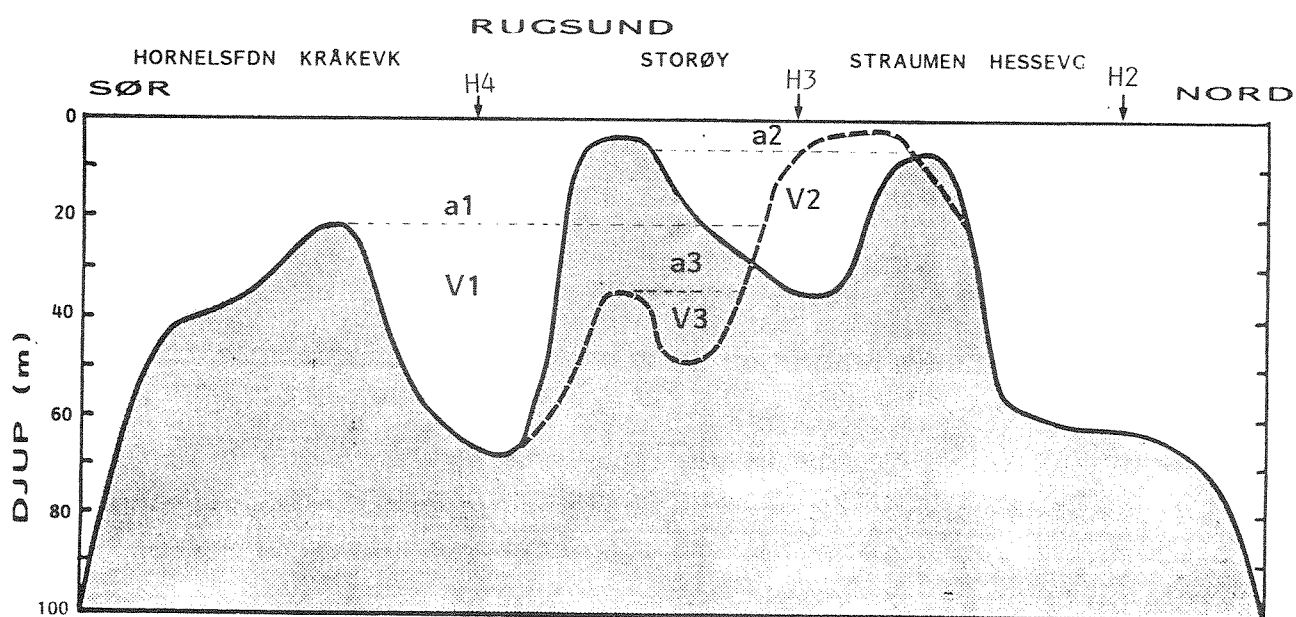


Fig. 1.3. Djupneriss (botnprofil) frå sør til nord gjennom dei djupaste partia av Rugsundet. Den stipla linja representerer riss gjennom N. Straumen. H1 - H3 markerer hydrografistasjonane.

Sørover i Rugsundet er det to basseng på kvar side av Storøy. Det austlege, i S. Straumen, er djupast, og mest markert. Max. djup der er 34 meter, og djupaste terskelen er i nord, 4-5 meter djup. Det vestlegaste bassenget er lite. Det har djupaste terskel mot sør (ca. 35 meter), og djupaste partiet ligg på 48 meter.

Lenger sør i sundet ligg eit større basseng, mellom Kråkevika og Storøy. Max. djup der er 69 meter. Bassenget har djupaste terskel mot sør; djup omlag 22 meter.

Vi har freista å estimere h.h.v. volum (under terskeldjup) og overflateareal (i terskeldjup) i dei tre bassenga. Verdier er synt i Tabell 1.1. Vestre basseng (nr. 3) er i våre berekningar ein del av søre basseng, nr. 1.

Tabell 1.1. Volum (V) av vatn under terskeldjup, og horisontalt flateareal i terskelnivå, for tre basseng i Rugsundet. Tala er omtrentlege. Bassenga er markert i Fig. 1.3.

Basseng -->	Volum (V, m <sup>3</sup> )	Areal (a, m <sup>2</sup> )
1. Søre, inkl. vestre:	1. E7	3.4E5
2. Austre (S. Straumen):	2.5E6	1.3E5
3. Vestre (N. Straumen):	2. E5	3. E4

### 1.3. Miljøgranskingane hausten 1989

I dette avsnittet presenterer vi kort metode og omfang for måleprogrammet og prøvetakinga som blei utført hausten 1989. Prøvetaking blei foretatt i samband med at representant for NIVA var i Rugsund.

#### 1.3.1. Straummåling

To instrumentriggar med to straummålarar på kvar, var utplassert i Rugsundet i perioden 9/10 -7/11 1989. Posisjon for riggane er markert i Fig. 1.2. Riggane var botnforankra v. hj. a. einpunktsforankring, og forsynt med overflatebøye m/ stake.

Måledjupa var h.h.v. 3.5 meter og 14 meter, likt for begge riggane. Desse djupa var valt ut frå omsyn til terskeldjupet mot sør i Straumane, slik at ein kunne få inntrykk

av straumtilhøva både over og under terskeldjupet der (ca. 4 meter mot S. Straumen). To riggar, ein på kvar side av sundet, blei valt, slik at ein skulle få best mogleg inntrykk av transporten inn og ut gjennom sundet.

To typer måleinstrument var nytta:

To målarar, av type **Sensordata SD-2000** var plassert i 3.5 m djup på R2, og i 14 m djup på R1. Desse målarane registrerer straumfart og sjøtemperatur med førehandsinnstilt tidsintervall. I vårt tilfelle var intervallet satt til 12 minutt. Med den begrensa lagringskapasiteten til desse instrumenta (2000 målepunkt), registrerte instrumenta såleis i knapt tre veker før minnet var fullt. Tre veker var opprinneleg planlagt måleperiode. Instrumenttriggane blei imidlertid ståande i sjøen i ca ein måned. Data som var lagra i internminnet blei etter opptak avlest optisk, og lagt inn på PC.

Aanderaa type **RCM-5/7** straummålar var plassert på R1 i 3.5 m djup, og på R2 i 14 meters djup. Desse målarane registrerer salinitet og temperatur i sjøen, i tillegg til straumfart- og retning. Ved å plassere desse i ulikt djup, fekk ein såleis også målt salinitet i tillegg til straum, over og under terskeldjupet mot sør. Denne siste typen instrument har vesentleg større internt minne enn Sd-2000 målarane. Såleis logga Aanderaa målarane aktivt i heile perioden riggane stod ute. Måleintervallet var 15 minutt. Måledata blei etter opptak av instrumenta avlest og lagt inn på datamaskin.

### 1.3.2. Hydrografi

Straummålarane registrerte som nemnt tidsseriar av salinitet og temperatur i 3.5 og 14 m djup. I tillegg til desse målingane, blei det v. hj. a. spesielle målesonder målt vertikalfordeling av S og T i 4 ulike posisjonar (Fig. 1.1, H1-H4) frå overflata til botn.

Ved det første høvet, 9/10, blei det til desse målingane nytta ei nyutvikla målesonde av type SD-200. Denne registrerer S (eigentleg konduktivitet), temperatur og trykk (= måledjup) med på førehand innstilte tidsintervall. Vi nytta intervall lik 5 sekundar. Ved å fire denne sonden nedover, får ein såleis målt eit djupneprofil av hydrografi.

Under siste toktet 7/11, blei det nytta ei nyutvikla målesonde av type UCM-40 (Fig. 1.4). Denne måler på same måte som SD-200 S, T og trykk. I tillegg registrerer den straumretning og fart v. hj. av ultralyd. Måleintervallet kan for denne sonden innstillast frå i praksis 0.5 sek, og oppover til fleire timar. Den er konstruert for alternativt å stå i sjøen over lengre tid, som ein konvensjonell straummålar. I vårt høve blei sonden fira ned i kabel, med direkte signaloverføring inn på medbrakt PC. Data blei lagra kontinuerleg på PCen, samstundes som måleresultat blei synt på PC skjermen fortløpande.

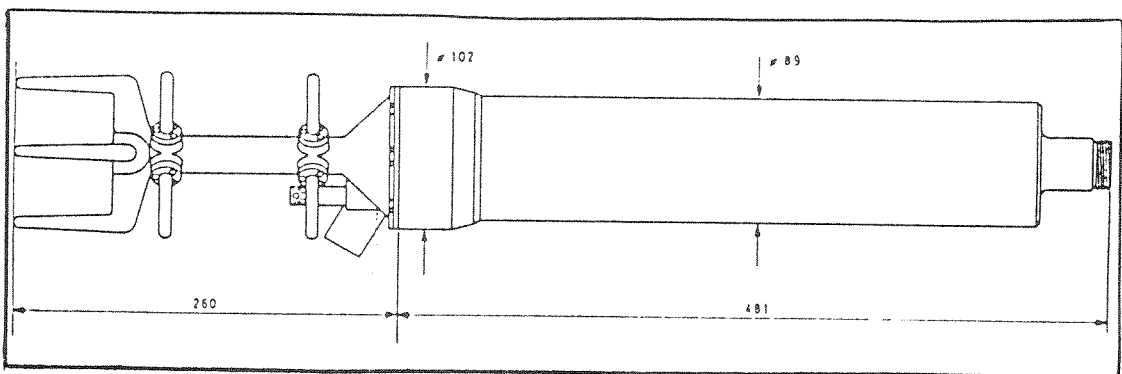


Fig. 1.4. UCM-40 målesonde for straum, salinitet, temperatur og trykk.



Oksygen.

Samstundes med hydrografisk måling, blei det målt oksygen i sjøen i ulike djup, v. hj. av målesonde med lang kabel. Som kontroll på desse målingane blei det også tatt vassprøver i ulike djup, for kjemisk bestemming av oksygen (Winklers metode). Målesonden gjev eit oksygenprofil, og kan avdekke t.d. sjikt med lågt O<sub>2</sub>-innhald, som ligg mellom standard prøvetakingsdjup.

### 1.3.3. Andre prøver

Siktedjup blei målt under tokta 9/10 og 7/11 1989 på stasjonane H1-H4 (Fig. 1.1). Det blei tatt vassprøver i ulike djup for bestemming av salinitet (kalibrering av målesonder). Vidare blei det tatt vassprøver for bestemming av næringssaltinnhald i sjøen (9/10). Under siste toktet 7/11, blei det tatt grabbprøve på stasjonane H1-H4 v. hj. av ein 40 kilos Petersen grabb. Botnprøvene blei visuelt bedømt. På stasjonane H1 og H2 var sedimentkvaliteten såpass finkorna at det blei tatt ut prøver for labbestemming av karbon og nitrogeninnhald.

I tillegg har vi innhenta vêrdata for vår måleperiode, frå Kråkenes fyr. K. Strømmen Lakseoppdrett har stilt til rådvelde daglege måledata for temperatur ved anlegget frå oktober månad 1988 og 1989. Dette gjev eit vist grunnlag for å vurdere årsvariasjon i temperaturtilhøva lokalt.

## 2. LITT OM MILJØTILHØVE OG FORUREINING I SAMBAND MED FISKEOPPDRETT I SJØ.

### 2.1. Miljøeffektar

Dei viktigaste effektane på det marine miljøet frå oppdrett består i første rekkje av tilførsler av nitrogen, fosfor og org. materiale. Dei to førstnemnde påskundar primærproduksjon i sjøen, med eventuelle sekundæreffekter som auka organisk belastning og oksygenmangel som resultat. Organisk materiale blir nedbrote med forbruk av oksygenet i sjøen som resultat. Fiskens eigen stoffomsetnad bidrar til m.a. nitrogenbelastning (utskilt ammonium), forutan til oksygenforbruk.

Eventuelle negative og påviselege miljøeffektar vil oftast vere lokale, enten i form av botnfall, eller negative effektar som auka algevekst i og i nærleiken av merdene. Håkanson m.fl. (1988) gir tal for storleik på ein del miljøbelastningsparametrar. Deira utgangspunkt er å estimere gjennomsnittsverdiar for produksjonssesongen. Dei får tal for samla belastning f. eks. pr. år frå eit anlegg. Eit regnbogeaure anlegg med netto årsproduksjon 100 tonn, er oppgitt å avgje følgjande til sjø og/eller botn (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%). Desse tala indikerer altså at det først og fremst er nitrogenet som belastar det omgivande sjøvatnet, mens fosforbelastninga er ein sekundær prosess, i form av langsam lekkasje frå sediment. Stigebrandt (1986) med sitt

berekningsprogram for belastning frå fiskeoppdrett, har argument for at fisken i hovedsak skil ut fosfor direkte til vatnet. Ved eit anlegg med lav fôrfaktor, er det såleis lite fosfor som sedimenterer. Molvær og Stigebrandt (1989) fann at fosforutskiljinga består av 90% fosfat, mens nitrogentilførslene (løyst) består av 66% ammonium. Dei fann vidare at høvet N:P (vekt) av utslepp frå eit anlegg var ca 6, m.a.o. nær den optimale verdien (7.2), slik at planteplankton under normale omstende effektivt kan utnytte utskilt N og P frå eit anlegg.

Miljøbelastninga frå oppdrettsanlegg er ikkje jamnt fordelt over sesongen. Fig. 2.1. syner tidsutvikling for oksygenforbruk, samt N og P belastning. Dei høgste verdiane finn ein i perioden august til oktober. Dagleg N og P belastning er då av storleiksorden 60 kg N og 6-7 kg P (Håkanson m. fl., 1988). Oksygenbelastninga kjem opp i 700 kg O<sub>2</sub> (respirasjon) og 400 kg BOD pr. døger for 100 tonn fisk. Oksygenforbruket er minst før daggry, og max. under fôring, mens nitrogenutskiljinga er størst ca. tre timar etter fôring. Fosfor- og nitrogenutskiljing er heller ikkje heilt i fase (Molvær og Stigebrandt, 1989).

## 2.2. Oppdrettsfisk og miljøkrav

Fiskens toleranse, eller minstekrav til miljø og vasskvalitet, kan i prinsippet definerast ved eit sett av grenseverdiar for ulike miljøparametrar, slik som konsentrasjon av oksygen og ammonium/ammoniakk i sjøvatnet. Ei rad andre parametrar påverkar fisken, og dens trivsel og vekst. Det finns ingen absolutte krav til miljøparametrar (grenseverdiar) når det gjeld godkjenning av ein oppdrettslokalitet. Dette gjer at skjøn i høg grad må nyttast i vurderingar om kor godt eigna ein spesifikk lokalitet er for oppdrett. Det er klart at fisk kan overleve kortare perioder der straum eller oksygenverdiar ligg under generelt aksepterte minimumsverdiar. Det må skiljast mellom middeltilstand og episoder, og hyppigheit av episodene.

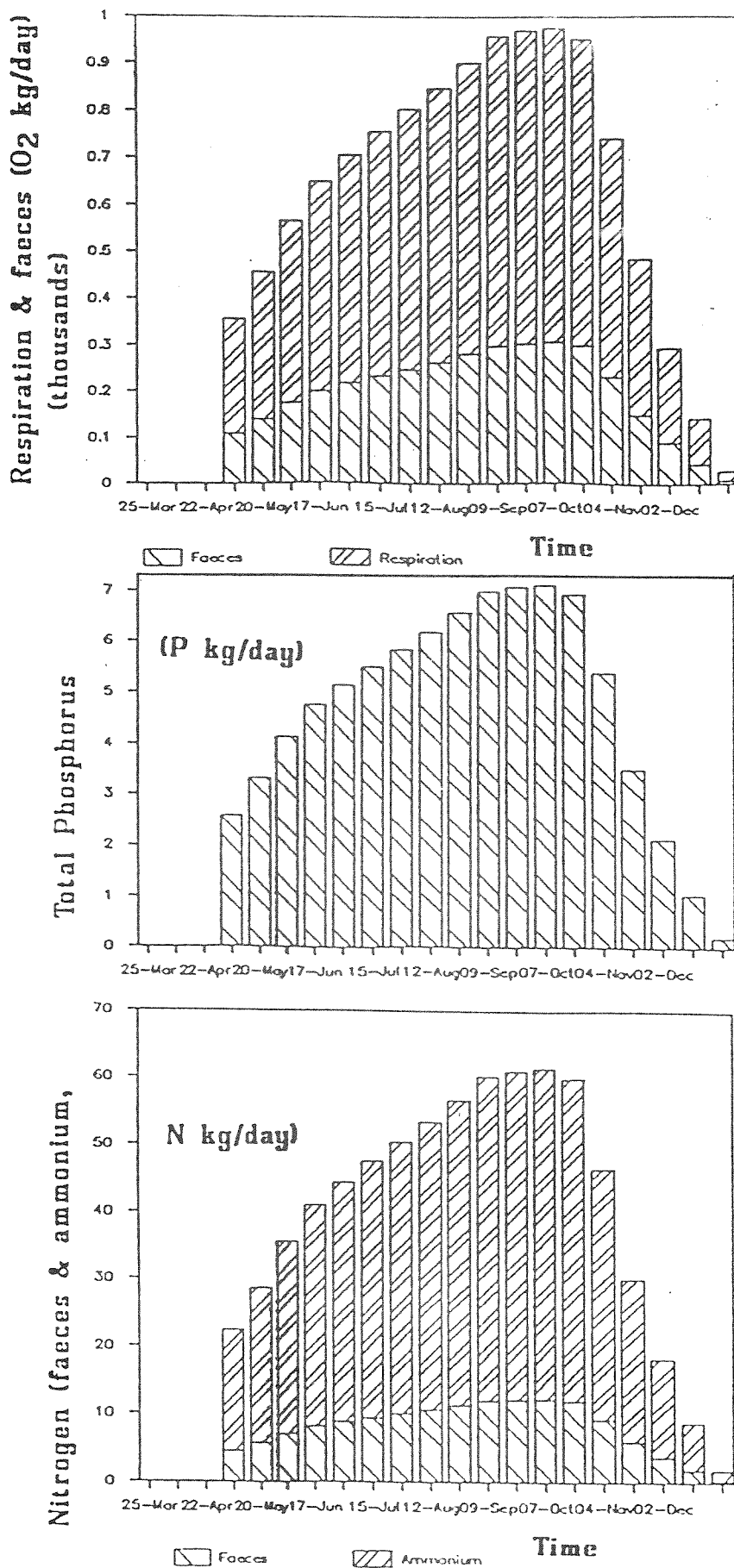


Fig. 2.1. Oksygenbelastning, N og P tilførsler april-desember fra anlegg med 100 tonn netto årl. produksjon (Håkanson m. fl. 1988).

### 2.3. Straumtilhøve og vassutskifting ved eit anlegg

Gode straumtilhøve ved eit oppdrettsanlegg er avgjerande både for fiskens trivsel og for vassmiljøet i og rundt anlegget. Stagnerande vatn vil kunne føre til kritisk låge oksygenverdiar, og høge konsentrasjonar av respirasjonsprodukt frå fisken, f. eks. ammonium.

For straumfart gjennom eit anlegg vil det gjelde ein kritisk minimumsverdi som er avhengig av ei rad faktorar, slik som fisketettleik, temperatur,  $O_2$ -innhald og fôringsrate. Aure (1983) har for eit anlegg med fisketettleik rundt  $8-10 \text{ kg/m}^3$  antyda  $2 \text{ cm/s}$  som minimum for middelstraumen gjennom merdene. Større fisketettleik vil fordre sterkare middelstraum. Straumen inne i ein merd og utanfor vil vere forskjellig. Notveggen vil dempe gjennomstrøyminga, og fisken inne i merdane vil i seg sjølv dempe eller endre straummønsteret. Sterkt tilgrodde nøter vil kreve straumfart rundt  $10 \text{ cm/s}$  (Møller, 1976). Lite er enno kjent om kva effekt fisken og dens eigen rørsle i seg sjølv har på straumtilhøva.

Straumen gjennom og forbi anlegget medverkar også til at avfallsstoff blir transportert vekk, og at ekskrement, fôrrestar o.l. ikkje sedimenterer under anlegget. Nyare granskingar tyder for øvrig på at forureining frå oppdrettsanlegg raskt blir spreidd/fortynna i den delen av vassøyla som ligg over terskeldjupet (Aure og Stigebrandt, 1988).

Det er få stader ein har einsretta og stabil straum. Regelen er heller at straumen varierer, med ulike frekvensar. Den mest markerte variasjonen langs Norskekysten og i fjordane er knytta til det halvdaglege tidevatnet, men effekter knytta til endringar i vêrtilhøve o.a. føyer seg til, og kan gi eit komplisert straummønster. Omgrepet middelstraum må difor nyttast med reservasjon, og knyttast til

andre parametrar som viser variabiliteten i straumen. I akvakultursamanheng skulle desse tilhøva tilseie at fôring av fisken i ein periode med null straum (f. eks. når tidevatnet snur) bør unngåast. Likeleis bør fôring i for sterk straum (tidevasstraumen maksimal) også unngåast, for å redusere fôrspillet (Golmen, 1987).

Perioder med for sterk straum kan vere eit problem for oppdrettsanlegg f. eks. ved den dynamiske/mekaniske belastninga dette medfører. Særleg dersom notveggane gror til, vil dette representere eit faremoment, ved reduksjon i effektivt merdvolum og med fare for havari. Tilgroing må difor haldast under oppsyn, og reduserast om nødvendig. Sjå Pedersen (1982).

Oksygenkonsentrasjonen i øvre vasslag har nøye samanheng med straumtilhøve og vassutskiftning. Metningsverdiane for oksygen er bestemt av salinitet og temperatur i vatnet. Fig. 2.2 viser metningsverdiar som funksjon av salinitet og temperatur. Varmt (og salt) vatn har mindre evne til å løyse opp ein gass som oksygen enn kaldt (og ferskt) vatn.

Oksygen blir tilført sjøvatnet frå lufta og frå planteplanktonet og tang og tare sin fotosyntese. Oksygenet blir fjerna ved kjemisk og organisk nedbryting, samt respirasjon. I sjøen blir oksygen transportert via molekylær og turbulent diffusjon, samt adveksjon. Det øverste vassjiktet som står i umiddelbar kontakt med atmosfæren, blir rekna for å vere metta, eller også svakt overmetta (Broecker og Peng, 1982). Observasjonar frå opent hav i arktiske strok har imidlertid vist at overflatevatn også kan vere markert undermetta, (Clarke, 1986).

Oksygentilførselen frå atmosfæren ned i sjøen er ein langsam prosess (Broecker og Peng, 1982). I eit oppdrettsanlegg er ein difor avhengig av advektiv tilførsle av oksygenrikt vatn.

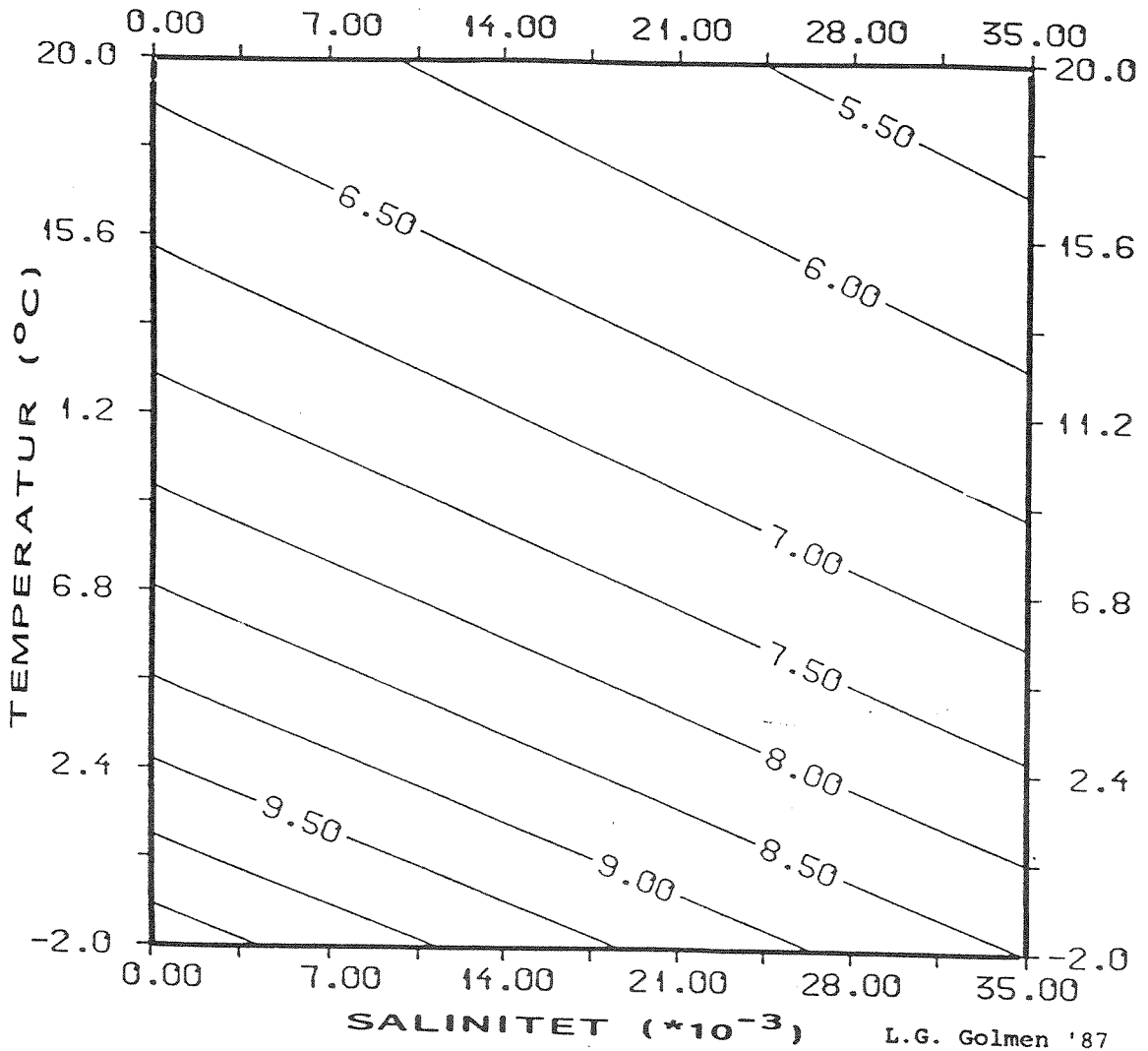


Fig. 2.2. Diagram som viser metningsverdi (ml/l) for oksygen i sjøvann, som funksjon av salinitet og temperatur.

Om sommaren er vatnet varmt (lave metningsverdiar 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 utskiftingstilhøve rundt anlegget. Det er påvist ein samanheng mellom stagnasjon i vekst hos oppdrettsfisk og danning av små oksygenfrie lommer eller "mikro-miljø", særleg nær botnen

(Avnimelech og Zohar 1986). Slike små lommer lar seg vanligvis ikkje påvise ved vanlige prøvetakingsmetoder. Ein sikker gardering mot at slike tilstandar oppstår, er gode straumtilhøve.

#### 2.4. Oppdrettsanlegg påverkar straummønsteret

Eit oppdrettsanlegg vil i seg sjølv kunne påverke nokre hydrografiske faktorar lokalt rundt anlegget. Umiddelbart vil straumen bli endra. Det horisontale straumfeltet blir svekka inne i anlegget, på grunn av friksjon og dynamisk press frå konstruksjonar og fisken sjølv. Dette må føre til at det horisontale straumbiletet blir modifisert (Fig. 2.3).

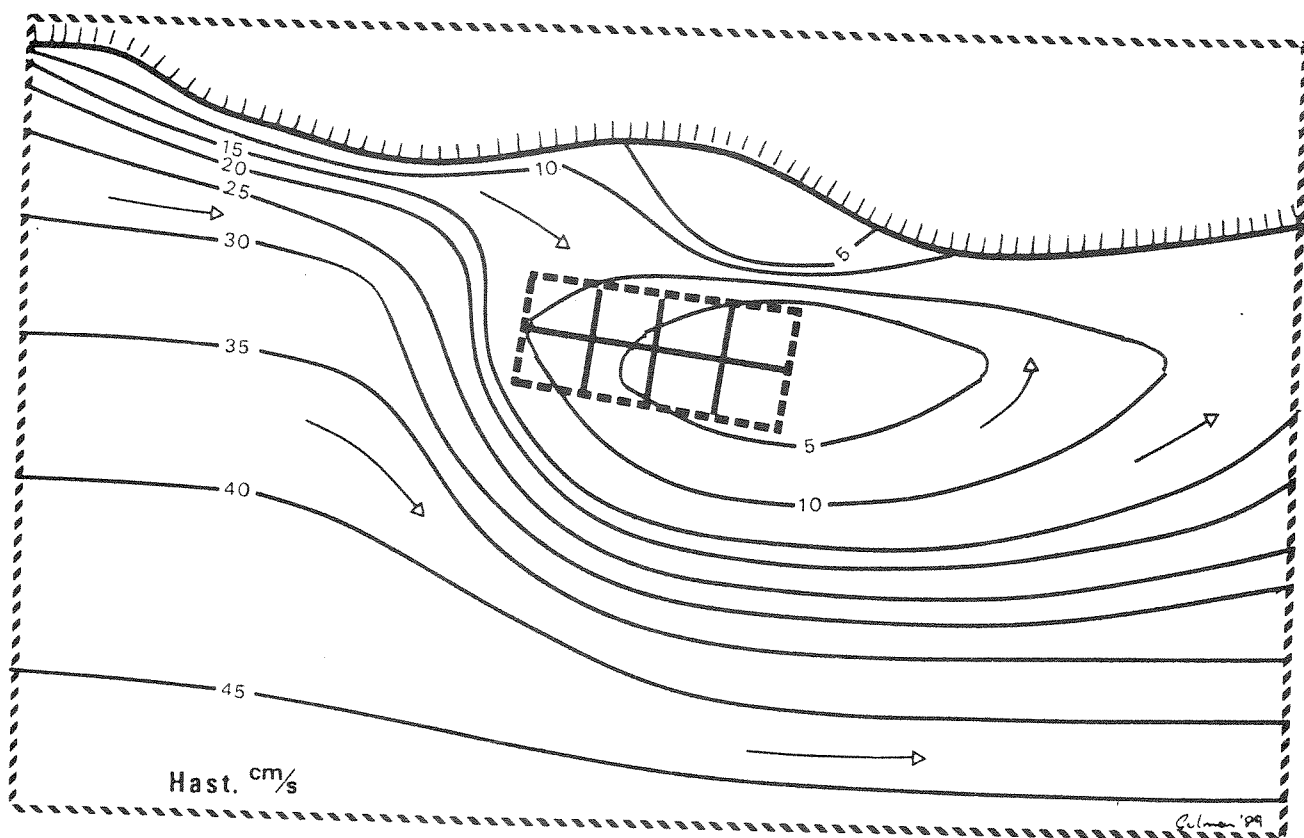


Fig. 2.3. Skisse som viser korleis eit oppdrettsanlegg kan modifisere det horisontale straummønsteret rundt anlegget.



Forstyrninga av det generelle straum-mønsteret strekkjer seg av størrelsesorden 3-5 gonger anleggets lengde nedstraums, og effektar oppstraums kan merkast i avstand ca 1 x anleggets lengde. Ein kraftig divergens av horisontalstraumen kan medføre stimulert vertikaltransport oppover inne i anlegget. Dette kan bl. a. medføre redusert synkefart på fôr og ekskrement, men samtidig også ein viss stimulering av vassutskiftninga inne i anlegget.

Eitt anlegg i ein stor fjord vil ikkje ha nokon innverknad på det generelle strømmønsteret. Typisk horisontal lengdeskala på eit anlegg er  $10^2$  m, mot tilsvarende  $10^4$  for ein typisk fjord. Regelen om minsteavstand mellom anlegg ( $10^3$  m) gjer at ein ikke får addert straumeffektene (synergieffekt) frå fleire anlegg under normale omstende.

Ved aukande anleggstettleik på eit begrensa område, vil straumtilhøva kunne bli endra, med generelt sett reduisert straum. Graden av reduksjon vil avhenge av drivmekanismen for straumen. I ein fjord med kraftig ferskvasstilrenning tilførast fjordsystemet kontinuerleg energi (oppdrift), og volumtransporten blir oppretthalden. Oppdrettsanlegga vil medføre auka blanding i dei øvste metrane av vassøyla, og dermed ein forandring i den vertikale densitetsfordelinga. Dette medfører også at vertikalfordeling for straum kan bli endra (sjiktet der straumen skifter retning blir endra).

I fjordar og andre område med svak tilrenning er straumtilhøva i øvre lag vesentlegst bestemt av vind og tidevatn. Volumfluksen som tidevasstraumen forårsakar, vil bli oppretthalden i dei fleste tilfelle. Dissipasjonen av tidevassenergi kan bli endra (straumen møter meir motstand). Dette kjem i tillegg til dissipasjon som ellers kan forekome ved tersklar eller trange innløp (de Yong og Pond, 1987, 1988). Den auka dissipasjonen vil arte seg som ein forandring av fasen mellom tidevasstraum og overflatenivå frå det vanlige, som er  $90^\circ$ . Det skal svært

kraftig dissipasjon til, for å få vesentleg reduksjon i tidevass-amplituden innanfor innløpet/terskelen.

Eit sjøområde der straumtilhøva er mest påverka av lokal vind og inertialrørsler, vil kunne bli påverka av eit enkelt anlegg. For vindgenerert straum gjeld at effektiv strøklengde blir redusert. Anlegget vil kunne danne ein barriere for den vindgenererte straumen, som dermed ikkje får bygge seg opp til vanleg styrke. Inertialstraum (straum som vedvarer etter at drivkrafta har slutta å virke) vil bli hurtigare dempa i eit system med mange oppdrettsanlegg. Slik straum kan f. eks. vere opprinneleg vindgenerert straum, som p.g.a. sin tregheit vil vedvare ei stund etter at vinden spaknar.

### 3. DATAPRESENTASJON

I dette kapittelet presenterer vi datamaterialet som blei innsamla hausten 1989. Nærare diskusjon og analyse av materialet fylgjer i kapittel 4.

#### 3.1. Straummåling

Fig. 3.1.1. - 3.1.6 (presentert i appendiks) syner måle-resultat for straum. Fig. 3.1.1. og 3.1.2. viser tidsseriar av straumfart for dei fire måleinstrumenta som var i bruk. Fig. 3.1.3. viser statistisk fordeling innafor ulike retningsintervall for Aanderaamålarane. Framstillingsmåten gjev inntrykk av framherskande straumretning og midlare straumfart i kvart retningsintervall. Straumrosa i midten kombinerer opplysningar frå dei to andre rosene (middelfart ganga med antal observasjonar innafor intervallet).

Fig. 3.1.4. syner progressiv vektor diagram for Sensordata måleseriane. Kvar retningsobservasjon, som vektor (pil) blir her addert til foregåande. Framstillingmåten gjev inntrykk av nettotransport over tid. Fig. 3.1.5 og 3.1.6 syner tidsseriar av straumobservasjonane frå Aanderaa målarane, framstilt som piler, der lengda på pila gjenspeglar aktuell fart. Det er nytta timesmidlar av dataserien, for å komprimere datamengda.

#### 3.2. Hydrografi

##### 3.2.1. Salinitet og temperatur

#### VERTIKALPROFILAR

Observasjonane av salinitet og temperatur består dels av vertikalprofilar (sondemåling), og dels av registreringar (tidsseriar) gjort i samband med straummålingane.

Vertikalprofilar av salinitet, temperatur og densitet er synt i Fig. 3.2.1 - 3.2.4 (appendiks). Verdiar frå overflate til 50 meter er plotta. Første stasjon (H1, 9/10) hadde mangelfulle data i øverste 5 meter. Profilane blir nærmare diskutert i kapittel 4.

#### TIDSSERIAR.

Sidan Gytremålarane (SD-2000) ikkje målte salinitet (konduktivitet), har vi valt å presentere tidsseriane av T og S frå Aanderaamålarane, h.h.v. frå 14 meters djup (R2) og 3.5 meter (R1). Det kan ikkje forventast å vere målbare forskjeller i S eller T frå eine sida av sundet til den andre (R1 til R2) i same djup. Figur 3.2.5 (appendiks) syner seriane av T og S. Fig. 3.2.6 (appendiks) syner tilsvarende tidsserie av densitet ( $\text{kg/m}^3-1000.$ ), utrekna på grunnlag av S og T.

### 3.3. Vassprøver og sediment

#### 3.3.1. Næringssalt

Resultat av næringssaltanalysene er synt i Tabell 3.1. Prøvene blei tatt på stasjon H2, H3 og H4 den 9/10, i samband med anna prøvetaking.

Tabell 3.1. Analyseresultat for næringssalt i vassprøver tatt i Rugsund 9/10 1989. For stasjonsplassering, sjå Fig. 1.1.

<u>Param (<math>\mu\text{g/l}</math>) &gt;</u>	<u>ToT-P</u>	<u>Po<sub>4</sub>-P</u>	<u>Tot-N</u>	<u>NO<sub>3</sub>-N</u>	<u>NH<sub>4</sub>-N</u>
St H2, 3m:	10.0	4.0	279	34	67
St H2, 10m:	9.0	5.0	170	33	13
St H2, 30m:	18.0	12.0	188	44	18
St H2, 50m:	20.0	15.0	210	74	11
St H3, 3m:	12.0	6.0	189	30	15
St H3, 10m:	15.0	10.0	210	32	22
St H3, 30m:	22.0	17.0	188	35	24
St H4, 10m:	13.0	7.0	197	29	13
St H4, 30m:	63.0	57.0	467	225	13
St H4, 50m:	63.0	56.0	356	240	20

### 3.3.2. Sediment

Tabell 3.2. Analyseresultat for sedimentprøver frå Rugsund, tatt med Peterson grabb 7/11 1989. For stasjonsplassering sjå Fig. 1.1.

Param >	Djup (m)	TOC (mg/g)	TN (mg/g)	C/N
Stasj. H3	34	61.2	2.3	26
Stasj. H4	65	75.2	8.3	9

#### Merknader:

Stasjon H2 ("Hessevågen") ga kun småstein som resultat (tre grabbhogg i same posisjon). Småsteinen var delvis belagt med kalkfragment.

Stasjon H3 (S. Straumen) hadde grovkorna skjellsand, med diverse livsformer (levande skjell m.m.). Tilsynelatande tilfredsstillande resipienttilhøve. Ingen lukt eller misfarge av sedimentet. Svært høgt C/N forhold kan skuldast feilkjelder i analysen i samband med det store innslaget av grov skjellsand i prøven. Høgt C/N forhold tyder generelt på mest innslag av terrestrisk materiale i sedimentet.

Stasjon H4 hadde finkorna, gråsvart sediment. Det var ingen lukt av H<sub>2</sub>S i sedimentet vi fekk opp med grabben.

### 3.3.3. Oksygen.

Oksygenverdiar frå analyse av vassprøvene er synt i Tabell 3.3. Metningsverdiar er berekna på grunnlag av observert temperatur og salinitet. Metningsverdien er spesielt avhengig av sjøtemperaturen (ref. kapittel 2). Endring i metningsgrad (prosent) kan dels skuldast endring i oksygenkonsentrasjon, og dels i endra hydrografiske tilhøve.

Tabell 3.3. Oksygen i ulike djup i Rugsund, basert på vassprøver og Winklers analysemetode for prøvene. Posisjon for stasjonane er synt i Fig. 1.1. YSI sondemåling er i ().

Tidspunkt -->	* 9/10 1989		* 7/11 1989 *	
	O <sub>2</sub> verdi		O <sub>2</sub> verdi	
	ml/l	%-metn	ml/l	%-metn
St H1, 3m:	-	-	7.43	108
St H1, 10m:	-	-	6.27	97
St H1, 30m:	-	-	6.20	98
St H1, 50m:	-	-	6.26	99
St H2, 10m:	5.67	91	6.13	94
St H2, 30m:	5.52	90	6.10	96
St H2, 50m:	5.56	89	6.26	99
St H3, 10m:	(5.15)	(83)	6,11	93
St H3, 30m:	5.52	89	6.27	96
St H4, 10m:	6.26	97	5.91	90
St H4, 30m:	3.44	52	4.70	72
St H4, 50m:	3.38	51	2.43	36

#### 3.3.4. Siktedjup.

9/10 blei det målt siktedjup kun på stasjon H4. Verdien var 9 meter.

Måling 7/11 ga følgjande verdiar:

St H1: 6.5m, St H2: 8m, St H3: 9.5m, St H4: 10.5m.

#### 4. DISKUSJON

##### 4.1. Straummålingane

###### 3.5 meters djup

Straummålingane blei gjort i nordre delen av Rugsundet. Som venta syner målingane sterk påverknad av tidevatnet. Fig. 3.1.3. og 3.1.4. syner at i øvre laget er framherskande straumretning nordgåande. Enkelte perioder har svært markert og vedvarande nordgåande straum. T.d. 21/10 - 26/10 (Fig. 3.1.4. og 3.1.5). Denne perioden blei innleidd med kraftig sørvestleg vind, som truleg har generert vedvarande kraftig straum på kysten.

Gjennomsnittleg straumfart i 3.5 meters djup var knapt 15 cm/sek. Vestlegaste riggen, R1, hadde kraftigast straum, men forskjellen mellom R1 og R2 er ikkje markert. På R1 blei det registrert straum opp i 65 cm/s (nesten 1.5 knop). På R2 var høgste observerte fart ca 40 cm/s i tilsvarende djup. Perioder med svak straum (stagnasjon) er knapt registrert.

###### 14 meters djup

I 14 meters djup er ein større del av straumobservasjonane knytta til sørleg retning (sørgåande straum). Høgste målte straumstyrke var rundt 30 cm/s. På R1 opptrådte kraftig straum ved fleire høve (Fig. 3.1.2). Straumsterke perioder i 14 meters djup korrelerer godt med relativt svak straum nær overflata. Periodevis er straumen i 3.5 og 14 meters djup retta motsett veg. Dette framgår t.d. av Fig. 3.1.4, frå 22/10 og ut måleperioden for Sensordata målarane. I 3.5 m djup er straumen då nesten konstant nordgåande (NA), mens den i 14 m er vedvarande av sørvestleg retning.

Perioder med vedvarande nordgåande straum i overflatelaget ned mot terskeldjupet vil redusere moglegheit for innstrøyming av djupvatn over terskelen mot Straumane frå nord. I perioder då den nordgåande straumen i overflata er

svakare, t.d. på grunn av særskilte vêrtilhøve, vil sørgående straum kunne bli sterkare. Ved slike høve kan nordre delen av Rugsundet fungere som ei trakt, som kanaliserer transporten inn over dei grunne tersklane lenger sør. Denne effekten vil bli redusert i tilfelle av kraftig sjikting i sjøen. Ved slike høve må tyngre djupvatn fysisk sett løftast opp til eit høgre nivå. Energien til dette må takast frå rørsleenergien i hovedstraumen, og vil i alle fall medføre svekka straum.

Store deler av perioden med vedvarande sørgående straum i 14 m etter 22/10 på R1 (Fig. 3.1.4) var assosiert med nordaustgåande straum på R2. Dette tyder på at det i (deler av) denne perioden har vore ei sirkelrørsle inne i djupområdet N for Storøy, med inngående straum på vestsida av sundet, og ut (-nord)gåande straum på austsida.

Våre straummålingar er gjort i ei periode med moderat til svak sjikting i sjøen. Sjiktinga vanlegvis er kraftigast om sommaren og tidleg på hausten. I sistnemnde periode vil sørgående straum under overflatelaget i Rugsundet teoretisk møte sterkast motstand, og bli mest svekka i høve til t.d. om vinteren.

Straumbiletet i den nordlege delen av Rugsund synest såleis å bestå av vesentlegast nord-nordaustgåande straum i overflatelaget. D.v.s. at kraftig nordgåande straum, som oftast i kombinasjon med fløande sjø, periodisk blir følgt av sørgående, men svakare straum på fallande sjø.

Transporten i øvre lag er ca 3/4 av tida retta nordover. Nettotransporten er også retta nordover. Innstrøyming sørover i Straumane av djupvatn frå Hessevågen vil vere hindra på grunn av tersklane. Slik transport, evt p.g.a. medrivning/turbulens, vil tidvis kunne skje. Mest sannsynleg i perioder med svak sjikting i øvre deler av vassøyla (vinter/vår).



I området ved Hessevågen synest straumsterke perioder i djupvatnet å foregå ei sirkelrørsle, med inngåande straum på vestsida, og nordgåande utstrøyming på austsida ("mot klokka").

#### 4.2. Hydrografi

Omtalen nedanfor refererer til Fig. 3.2.1 - 3.2.4.

##### Vertikalfordeling.

På stasjon H2 var det ved begge observasjonstidspunkt tilnærma kontinuerleg sjikting frå om lag 5 m og nedover mot botn. Legg merke til at vertikalprofilen i djupvatnet er tilnærma lik på stasjon H1 og H2. Dette indikerer god kommunikasjon mellom djupvatnet i Nordfjorden og Hessevågen.

Stasjon H3, i S. Straumen synte eit markert sprangsjikt i ca. 10 meters djup. Under 10 meter er det tilnærma konstante verdiar av salinitet og temperatur (liten sjikting). Dette tyder på liten grad av innblanding frå øvre lag, og at turbulens som blir danna av straum på tersklane har verknad ned til ca. 10 meters djup.

Stasjon H4 syner flest trekk som tyder på lokalt stagnat vatn. Særtrekket er tre lag med sine karakteristiske T-S verdiar, adskilt av sprangsjikt. Djupnene til desse sprangsjikta samsvarar med aktuelle terskeldjup. Det djupaste sjiktet, under 30 meter, har kaldt, salt og tungt vatn. Det er der lite teikn på at noka vesentleg utskifting har skjedd i perioden mellom våre målingar av vertikalfordeling.

Tidsseriane av hydrografi (Fig. 3.2.5 og 3.2.6) viser klart større variasjon i salinitet og temperatur i 3.5 meters djup i høve til i 14 meter. I 14 meter er det ein generell, om enn svakt fallande tendens i løpet av måleperioden. Siste del av perioden, f.o.m. månadsskiftet okt.- nov.

syner aukande salinitet i begge måledjup, med aukande densitet som resultat. Dette kan vere innleiinga til ei destabiliseringsperiode i øvre del av vassøyla, som vil favorisere vassutskifting i djupbassenga seinare på hausten eller om vinteren.

I 3.5 meters djup, som tilsvarar omtrent halvvegs merddjup, er det tidvis raske og samtidig markerte salinitetsvariasjonar i Hessevågen (Fig. 3.2.5). Desse endringane kan ha ein viss verknad for oppdrettsfisken, sjølv om alle dei målte verdiane ligg over 20 promille. Opp til 10 promille i endring over eit par timar kan skape tilvenningsproblem for fisken. Denne raske og markerte endringa i 3.5 meters djup kan dels skuldast at sprangsjiktet har blitt heva til eit nivå over målaren. Men truleg er det tale om nye vannmassar som har kome inn og endra heile øvre laget.

Temperaturen i 3.5 m djup samsvarar godt med dei verdiane som dagleg blei målt på oppdrettsanlegget. Middelveidien for sistnemnde målingar i oktober var  $10.6^{\circ}\text{C}$ , som var  $0.7^{\circ}$  lågare enn for tilsvarande periode i 1988.

#### 4.3. Næringssalt og sediment

##### 4.3.1. Næringssalt

Næringssaltprøver blei tatt 9/10 1989, på stasjonane H2-H4. Tabell 3.1. syner resultatata. Det må understrekast at prøver av denne art, tatt på kun eitt tidspunkt, kan gje indikasjonar på unormal tilstand, men at ein ikkje utan vidare kan trekke generelle konklusjonar.

Ved vårt prøvetakingstidspunkt var det ein tendens til aukande verdiar med aukande djup. Dette er i samsvar med observasjonar frå andre terskelbasseng (Aure og Stigebrandt, 1988), og kan ha samanheng med ein viss primærproduksjon i øvre lag av sjøen (forbruk av næringssalt) kombinert med re-mineralisering av N og P i djupvatnet. Samanlikna med næringssaltprøver frå t.d. Høydalsfjorden i

Flora kommune hausten 1988 (Golmen og Erga, 1988), er verdiane i 1989 høgre. Særleg gjeld dette djupvatnet for stasjon H4. Prøvene i Høydalsfjorden blei imidlertid tatt i relativt ope farvatn, utanom terskelbasseng. I terskelbasseng med stagnerande vatn er det normalt med høge nærings-saltverdiar. I djupvatnet opptre Tot-P for det meste (75-90%) i form av fosfat. Nitrat + ammonium utgjer ein relativt liten del av Tot-N i alle prøvene, med unntak av djupvatnet på stasjon H4, der desse komponentane utgjer 51% (i 30 m) og 73% (i 50 m).

I dette djupvatnet dominerer nitrat i høve til ammonium. Sannsynlegvis foregår det nedbryting av organisk materiale i djupvatnet. Høge Tot-N verdiar indikerer at dautt eller levande partikulært organisk materiale er til stades. Nedbrytinga fører så til auka verdiar av fosfat og nitrat.

Djupvatnet på stasjon H4 (30 og 50 meter) utmerkjer seg som nemnt med høge verdiar for både N og P relativt til stasjonane H2 og H3 lenger nord. Når det gjeld prøvene frå 10 meter, er det ein liten tendens til høgre verdiar på stasjon H3 (S. Straumen). Dette kan skuldast lokale tilførsler frå avlaup, og/eller effekt frå eitt av eller begge oppdrettsanlegga (K. Strømmen og I.G.A. Fisk) i nærleiken. Verdiane er imidlertid ikkje unormalt høge.

N/P forholdet, berekna på grunnlag av Tot-N og Tot-P syner også fallande tendens frå overflate mot botn. Høgste N/P verdiane på atombasis var i Hessevågen i 3m (56) og 10m (37). Ellers låg verdiane mellom 12 og 30. I havet reknar ein 16 som typisk N/P forhold. Større avvik frå dette talet kan indikere ubalanse mellom tilførsler og forbruk/fjerning av nærings-salt og organisk materiale.

I følgje kapittel 2, er det meste av utskilt fosfor frå eit normalt dreve oppdrettsanlegg i det vesentlegaste i form av fosfat,  $\text{PO}_4^{3-}$ , mens nitrogen blir utskilt mest som ammonium. Den relativt sett høge  $\text{NH}_4^+$  verdien i 3 meter i

Hessevågen, kan indikere påverknad frå oppdrettsanlegget der. Det må understrekast at verdien likevel ikkje er unormalt høg, og at den ligg langt under t.d. laksens letalgrense, som er av storleiksorden 20 gonger høgre.

#### 4.3.2. Oksygen

Av Tabell 3.3. framgår det at oksygentilhøva ved dei aktuelle tidspunkta for prøvetaking stort sett var tilfredsstillande, med metningsverdiar varierende mellom 90 og over 100%. På stasjonane H1-H3 var det ingen teikn på unormalt høgt oksygenforbruk (i høve til vassutskiftinga). I bassengvatnet på H3 var det ein svak auke i oksygeninnhald i perioden mellom prøvetaking.

I bassengvatnet på stasjon H4 i 50 meters djup var det ein fallande tendens i oksygenverdi frå oktober til november, frå 3.38 ml/l (51% metn) til 2.43 ml/l (36% metn.). I 30 meter var det ein auke mellom dei to prøvetakingstidspunkta. Prøvene i 30 meters djup er imidlertid tatt like under terskeldjupet (Fig. 1.3). For djupvatnet i bassenget er difor prøvene i 50 m mest representative.

A/S Akvasafe/Universitetet i Bergen (T. M. Johnsen, 1988) observerte i desember 1988 2.2 ml/l nær botn (68m), og 4.5 ml/l i 40 meter på stasjon H4. Målingane i 1989 blei gjort i oktober-november, mens 1988 målingane blei gjort i desember. Med omsyn til oksygenforbruk og naturleg vassutskifting generelt, kan ein i eit terskelbasseng som det vi betraktar, ofte observere fallande oksygenverdiar til ut på vinteren. Våre observasjonar frå 50 meters djup i 1989 indikerer ei viss forverring av oksygentilhøva i 50 meters djup i løpet av oktober-november. Oksygenverdiane frå 1988 og 1989 er ikkje umiddelbart samanliknbare. Dersom ein ekstrapolerer den observerte tidsutviklinga i 1989 fram til tidspunktet som tilsvarar prøvetaking i 1988 (6. desember), framkjem imidlertid ein verdi rundt 1.5 ml/l. Dette er vesentleg lågare enn observert verdi i 68 m i 1988, og indikerer forverra tilhøve i 1989 i bassenget på

stasjon H4. Observerte verdier låg over kritisk grense på 2 ml/l både i 1988 og 1989.

#### 4.3.3. Sediment

NIVAs sedimentprøver ga kvalitative indikasjonar som tyder på tilfredsstillande utskiftingstilhøve på stasjon H2 og H3. På stasjon H4 tyder sedimentkonsistens (C/N forhold) på at sedimentert organisk materiale er av marint opphav. Dette kan skrive seg både frå oppdrett og naturleg nedfall.

Visuell karakteristikk av sedimentkvaliteten på H4 i 1989 var samanliknbar med 1988 (T. M. Johnsen, 1988). I 1988 blei det observert svak H<sub>2</sub>S lukt, noko som ikkje kunne sporast i 1989.

#### 4.4. Belastning frå fiskeoppdrett

Aktuelle belastningsparametrar frå drift av eit oppdrettsanlegg vil vere oksygenforbruk, samt tilførsler av N og P. Med utgangspunkt i tala som blei gitt kapittel 2, vil følgjande verdier vere aktuelle for anlegg med produksjon motsvarande 8.000 m<sup>3</sup> og 12.000 m<sup>3</sup> volum.

Parameter	8.000 m <sup>3</sup>	12.000 m <sup>3</sup>
Oksygenforbruk:	500 tonn O <sub>2</sub> /år	750 tonn O <sub>2</sub> /år
Nitrogen:	30 tonn/år	45 tonn/år
Fosfor:	3 tonn/år	45 tonn/år

Maksimal belastning kan ein rekne med finn stad i perioden august-september.

NIVAs målingar er gjort i ein periode etter maksimum produksjon i oppdrettsanlegga. Vi kan imidlertid gå ut frå at straum og hydrografiske tilhøve som er målt, er tilnærma lik dei ein finn i perioden med maksimal produksjon, som vanlegvis vil vere i september. September vil kunne vere

prega av meir markert sjikting i sjøen enn seinare på hausten. Av foregåande betraktningar om sjikting, vil innstrøyming av djupvatn nordafrå, over terskelen mellom Hessevågen og S. Straumen vera mindre sannsynleg i september enn seinare på hausten.

Straummålingane frå hausten 1989 indikerer netto nordgåande straum i overflata gjennom Rugsundet. Det er antatt at transporten er nordoverretta i 3/4 av tida. Dette vil sei at det meste av forureininga i øvre vasslag frå oppdrettsanlegget i Hessevågen blir ført nordover mot ope farvatn. Den observerte sirkelrørsla i djupvatnet vil stimulere til å fjerne sedimenterte eller sedimenterende partiklar frå djupvatnet i Hessevågen. Det er ikkje grunnlag for å tru at forureininga har, eller vil få effekt på tilhøva i sjølve Nordfjorden.

Ein del av forureininga vil måtte bli førd sørover gjennom S. Straumen. Dette vil for det meste gjelde løyst og finpartikulært materiale. Ein viss resirkulasjon og oppkonsentrering av forureining vil også tidvis kunne skje i sundet. Periodevis oppkonsentrering av N og P der vil kunne medføre auka primærproduksjon.

Avstanden frå hovedanlegget i Hessevågen til terskelen mot S. Straumen er om lag 400 meter. Avstanden sørover til djupbassenget på stasjon H4 er om lag 2 km, og avstand vidare sørover til ut forbi terskelen mot Hornelsfjorden er 2.5 - 3 km.

Ved normal søroverretta tidevasstraum over seks timar, og straumfart 10 cm/s, (360 m/time) vil forureining kunne nå søre deler av Rugsundet, forbi søre terskelen. Dette utgangspunktet for midlare straumfart over nemnde periode er imidlertid for høgt til å representere typisk tilstand. Det typiske er at forureining tilsvarande tilførsler over seks timar blir ført sørover med middel straumfart på 3-5 cm/sek. Med tilsvarande maksimalekursjon rundt 1

kilometer, vil dette sei at lite forureining vil hamne forbi S. Straumen, og ut i djupbassenget ved stasjon H4. Det meste vil kunne nå sentrale deler av S. Straumen, for så å bli ført nordover att ved flødande sjø.

Ein del av forureininga (org. materiale, evt. også vatn med redusert oksygeninnhald) vil kunne blandast med, eller søkke ned i bassengvatnet i S. Straumen. Våre registeringar av sedimentkvalitet og næringssalt i dette bassenget tyder imidlertid ikkje på påviselege (langtids-)effekter av ein slik prosess med dagens belastning i området.

Anlegget på reservelokaliteten ligg nærare terskelen til S. Straumen. Forureining frå dette anlegget vil teoretisk kunne påverke tilhøva sørover i Straumane relativt sett meir enn hovedanlegget. Avstanden frå dette anlegget og sørover til bassenget ved stasjon H4 er fortsatt så stor at forureining ved normal tidevassekskursjon ikkje vil nå dette bassenget.

Sårbarheita til djupbasseng med tersklar er avhengig av m.a. overflateareal, vassvolum under terskeldjup og terskeldjupna sjølv. Av vår tabell 1.1 framgår det at det søre bassenget ved H4 har eit volum(V) 4 gongar større enn ved H3, S. Straumen, mens arealet (a) i terskeldjup er om lag tre gongar større. Forholdet  $V/a$ , som gir ein indikasjon på sårbarheit overfor oksygenreduksjon, er omlag 20m og 40m h.h.v. for H3 og H4 bassenget. S. Straumen er ut frå dette mest sårbar.

Våre observasjonar syner at djupvasstilhøva i S. Straumen er vesentleg betre enn i bassenget ved stasjon H4. Dels kan dette skuldast topografi og kraftigare turbulens (vertikal blanding), og dels at vår betraktning ovanfor er for enkel. For ein del kan det også skuldast ekstra tilførsler av oksygenforbrukande materiale, ut over dei naturlege kjeldene, til bassenget ved H4. Våre målingar tyder på at K. Strømmen Lakseoppdrett A/S sitt anlegg bidrar lite til

slike tilførsler.

Våre oksygenmålingar indikerte eit oksygenforbruk på ca. 1 ml O<sub>2</sub>/månad i djupvatnet på stasjon H4. Vi kan anta at djupvatnet har vore stagnant i denne perioden (hydrografi-målingane tyder på det), og at oksygenforbruket skuldast nedbryting av organisk materiale. Med denne bakgrunn kan vi estimere tilførsleane av organisk materiale til djupvatnet i perioden.

Aure og Stigebrandt (1988) nytta den empiriske formelen:

$$dO_2/dt = 2.43 \times F_C/H_b$$

som uttrykk for oksygenforbruk som funksjon av terskelbassengets middeldjup  $H_b$ , og vertikal fluks av organisk karbon. Med  $dO_2/dt = 0.95$  ml/l/mnd., og  $H_b = 30$  m, får vi  $F_C = 12.3$  gC/m<sup>2</sup>/mnd.

Formelen ovanfor bygg på ei rad føresetnader. Diffusiv tilførsel av oksygen til djupbassenget vil m.a. skje, slik at målt oksygenreduksjon er noko mindre enn det reelle oksygenforbruket (underestimert på  $F_C$ ).

Basert på eit omfattande datamateriale, fann Aure og Stigebrandt (1988) følgjande empiriske uttrykk for den naturlege karbonfluksen  $F_C$  ned i bassengvatnet i fjordar (Møre og Romsdal):

$$F_C = 179 - 2.33 \times H_t \text{ (mg C/m}^2\text{/døger)}, H_t = \text{terskeldjup}$$

Med aktuell verdi for terskeldjup lik 22 meter, får vi ein "naturleg" karbonfluks tilsvarande ca. 4 gC/m<sup>2</sup>/mnd. Dette er berre om lag ein tredjedel av vårt estimert ovanfor for "faktisk" karbonfluks.

Den målte oksygenreduksjonen på 0.95 ml/l/mnd., tilsvarar eit oksygenforbruk på omlag 7 tonn O<sub>2</sub>/mnd. (effektivt



bassengvolum rekna lik  $1/2 V$ , der  $V$  er  $10^7 \text{m}^3$  (Tabell 1.1)). Aure og Stigebrandt (1988) oppga  $40 \text{ tonn/km}^2/\text{år}$  som typisk verdi for oksygenforbruk i terskelbasseng, inkludert tilførsler frå evt. oppdrett. For bassenget på stasjon H4 vil dette tilsvare ca.  $50 \text{ tonn O}_2$  pr. år. Om ein antar dette forbruket rimeleg fordelt over året, blir det månadlege forbruket om lag halvparten av det vi har observert.

Våre berekningar indikerer dermed at djupbassenget på stasjon H4 er overbelasta m.o.t. organisk tilførsle/ oksygenforbruk. Av foregåande betraktningar, m.a. omkring straum, og tilhøva på stasjon H3 (S. Straumen), er det mindre sannsynleg at forureining frå oppdrettsanlegget i Hessevågen med dagens drift bidrar til den nemnde belastninga. Mest truleg er bassengvatnet mest utsett for tilførsler av organisk materiale frå kjelder og område lenger sør.

Ved ein produksjonsauke opp mot 50% ved anlegget i Hessevågen (auke i konsesjonsvolum), kan ein ikkje sjå bort frå at den auka forureininga kan medføre målbare negative effekter på vasskvalitet i bassenga ved stasjon H3 og H4. I djupvatnet i Hessevågen synes vassutskiftinga å vere så god at målbare effekter ved auka produksjon og normal drift ikkje vil oppstå.

Vårt datamateriale omkring oksygentilhøva er spinkelt m.o.t. tidsutvikling. Bassenget ved stasjon H4 bør overvakast for å få m.a. stadfesta om kritisk låge oksygenverdiar opptrer, og om bassengvatnet er gjenstand for gradvis forverring av vasskvaliteten.

## REFERANSER

- 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.
- Broecker, W.S. og Peng, T.H. 1982: Tracers in the Sea. Lamont-Doherty Geol. Obs., N.Y. 690 pp.
- 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.
- Golmen, L. G. 1987: Strømforhold og fôring. Notat. NIVA Vestlandsavd., Bergen.
- Golmen, L.G. og S.R. Erga 1988. Vurdering av to oppdrettslokaliteter i Høydalsfjorden. Rapp. 2185. NIVA, Oslo.
- 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.
- Johnsen, T.M. 1988. I.G.A. FISK A/S. Miljøinspeksjon av bunn under oppdrettsanlegg. Rapp. AKVASAFE A/S, 1988.
- Molvær, J. og A. Stigebrandt 1989: Om utskillelse av fosfor og nitrogen fra fiskeoppdrettsanlegg. Rapp. nr. 2262, NIVA, Oslo.
- Pedersen, A. (red) 1982: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett. NIVA rapp. FP 80802.
- Stigebrandt, A.. 1986: Modellberegninger av en fiskodlings miljøbelastning. NIVA rapport nr 1823.

## APPENDIKS

## FIGURAR TIL KAPITTEL 3.

Fig. 3.1.1. - 3.1.6;      Straummåling

Fig. 3.2.1 - 3.2.6;      Hydrografi

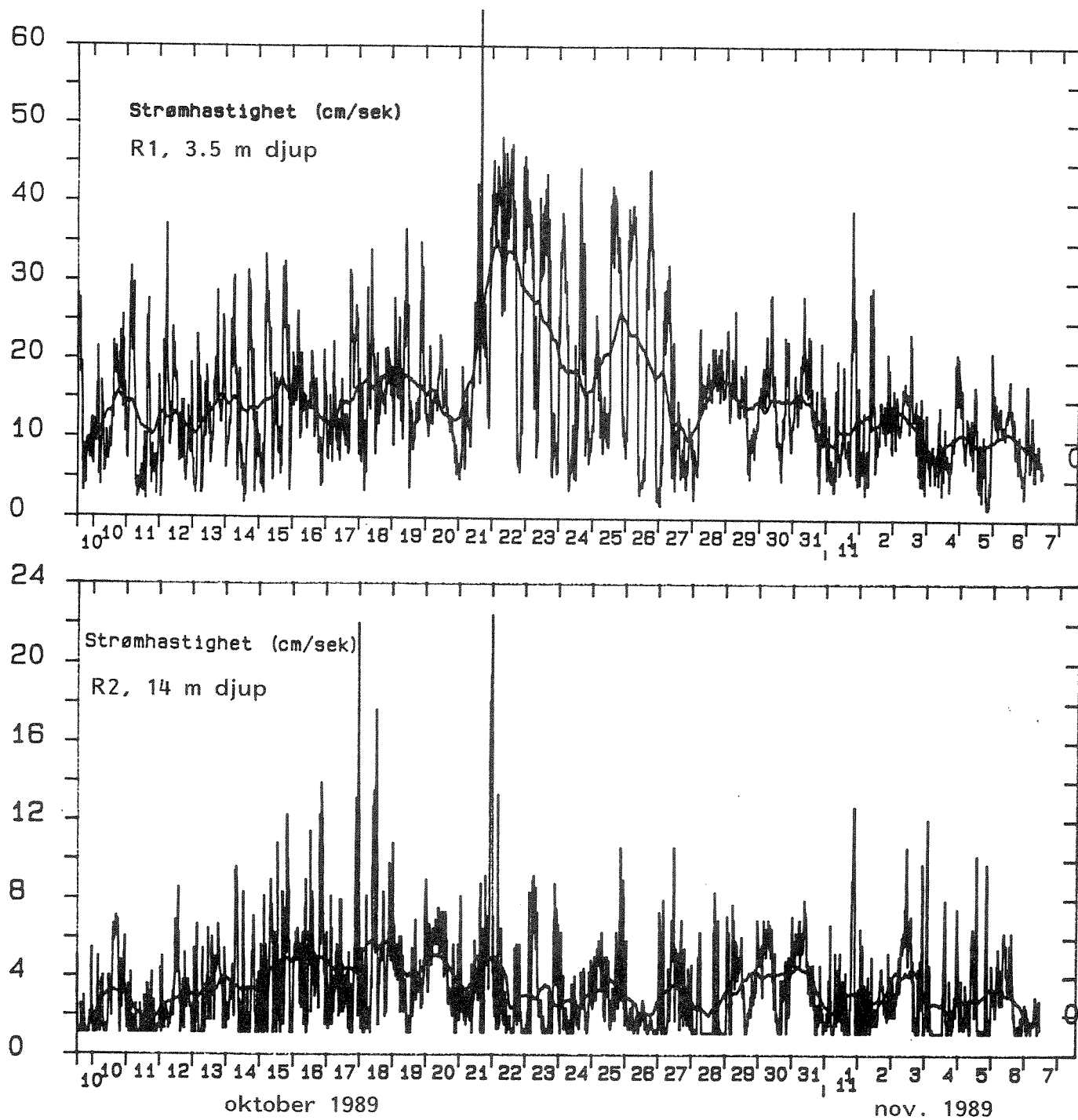
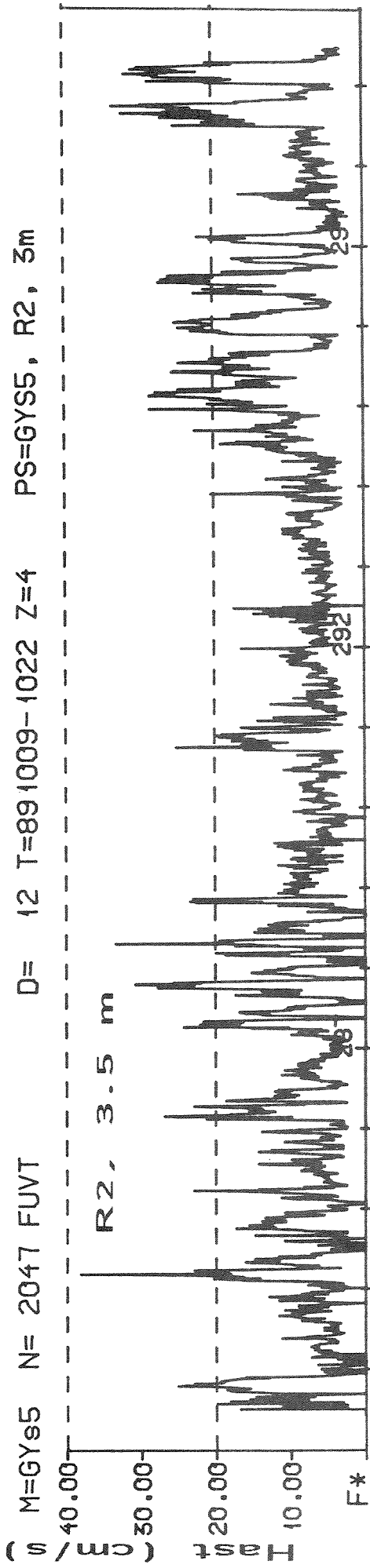


Fig. 3.1.1. Tidsserier av observert strømfart i perioden 9/10-7/11 1989 i Rugsund. Øverst serien frå Rigg 1, 3.5m djup. Nederst serien frå Rigg 2, 14m djup.

Gytre S5, Rugsund oktober 1989 NIVA



Rugsund, Gyt R1 l vest, NIVA

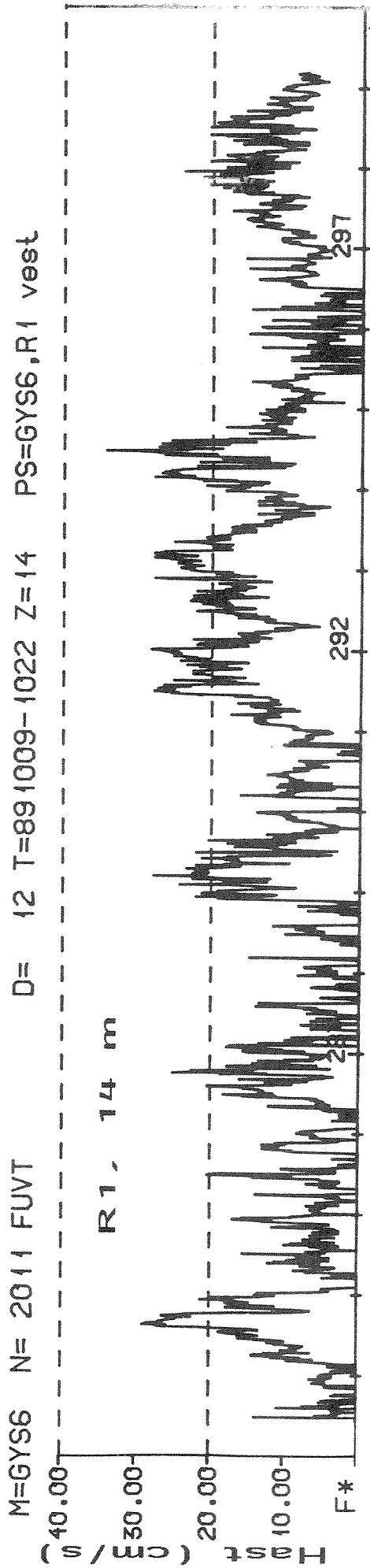


Fig. 3.1.2. Tidsseriar av observert strømfart i perioden 9/10-27/10 1989 i Rugsund. Øverst serien frå Rigg 2, 3.5 m djup. Nederst frå Rigg 1, 14m.

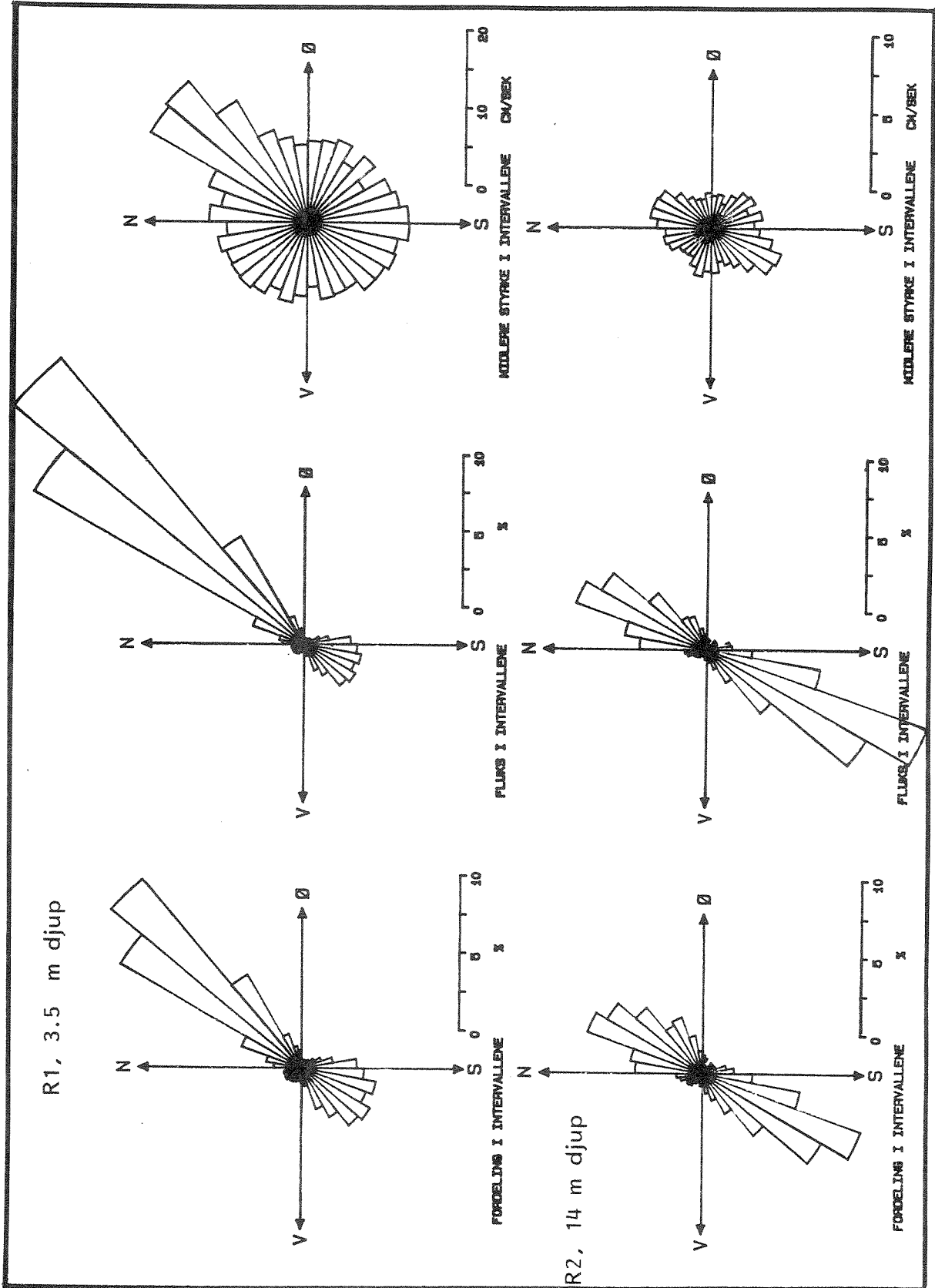


Fig. 3.1.3. Retningsfordeling av straumobservasjonane frå R1, 3,5m djup og R2, 14 m djup.

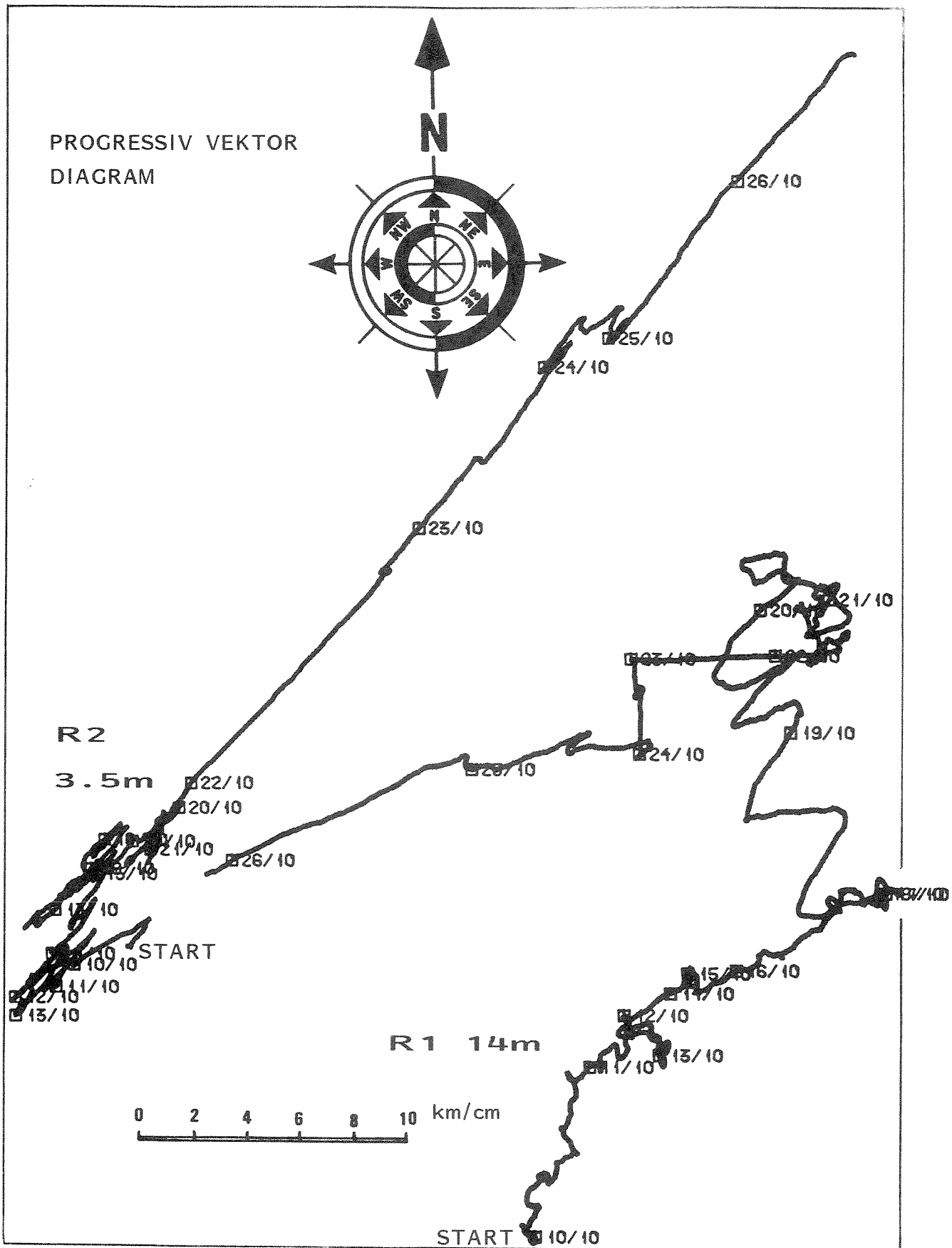


Fig. 3.1.4. Progressiv vektor diagram for straumobservasjonane på R1, 3.5 m djup, og R2, 14 m djup.

Vektordiagram av strømretning.  
Rugsund, 269 - 44

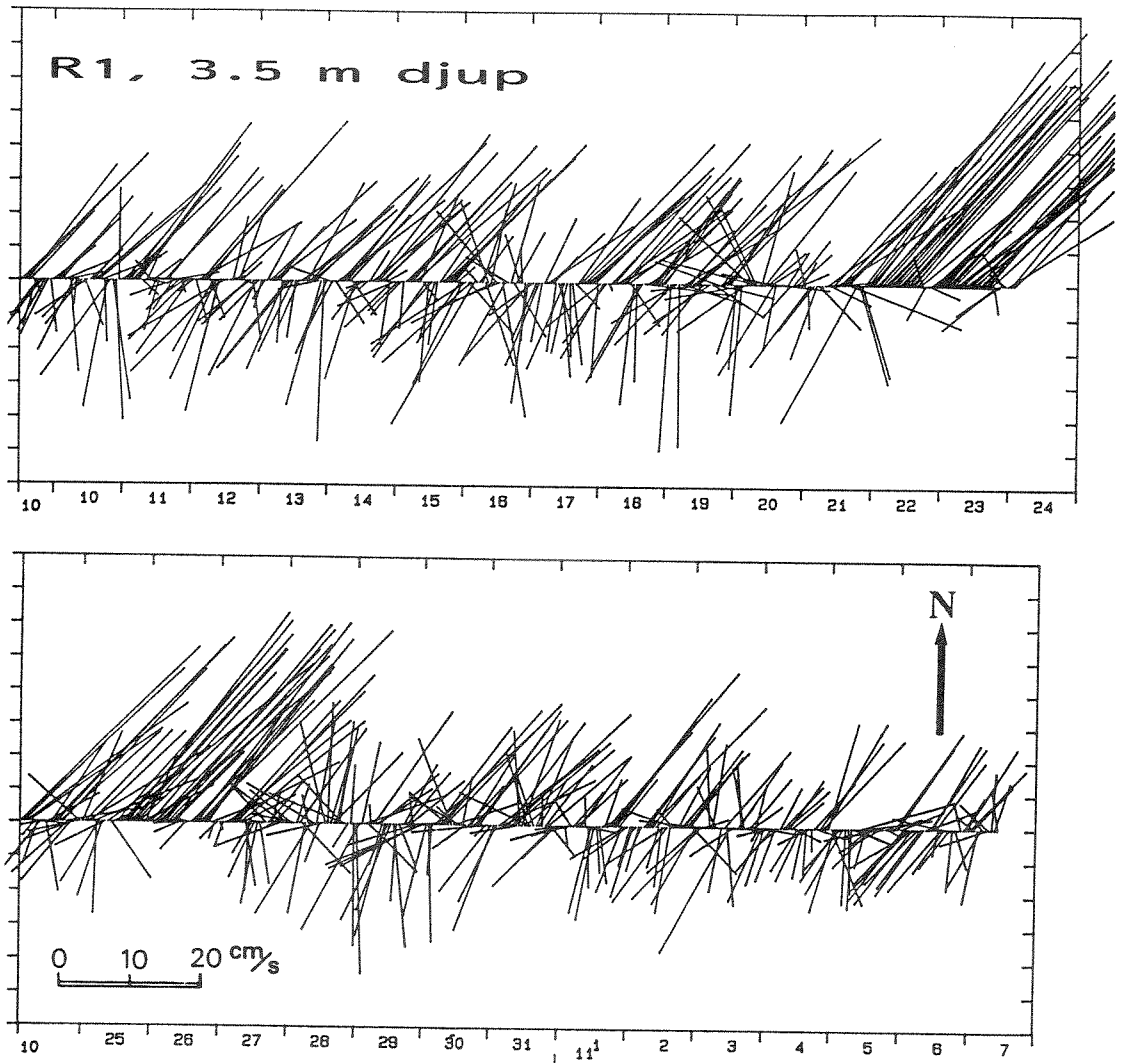


Fig. 3.1.5. Straumobservasjonane frå R1, 3.5 m djup, framstilt som pilplott (timesmidlar av data). Dato langs X-aksen.



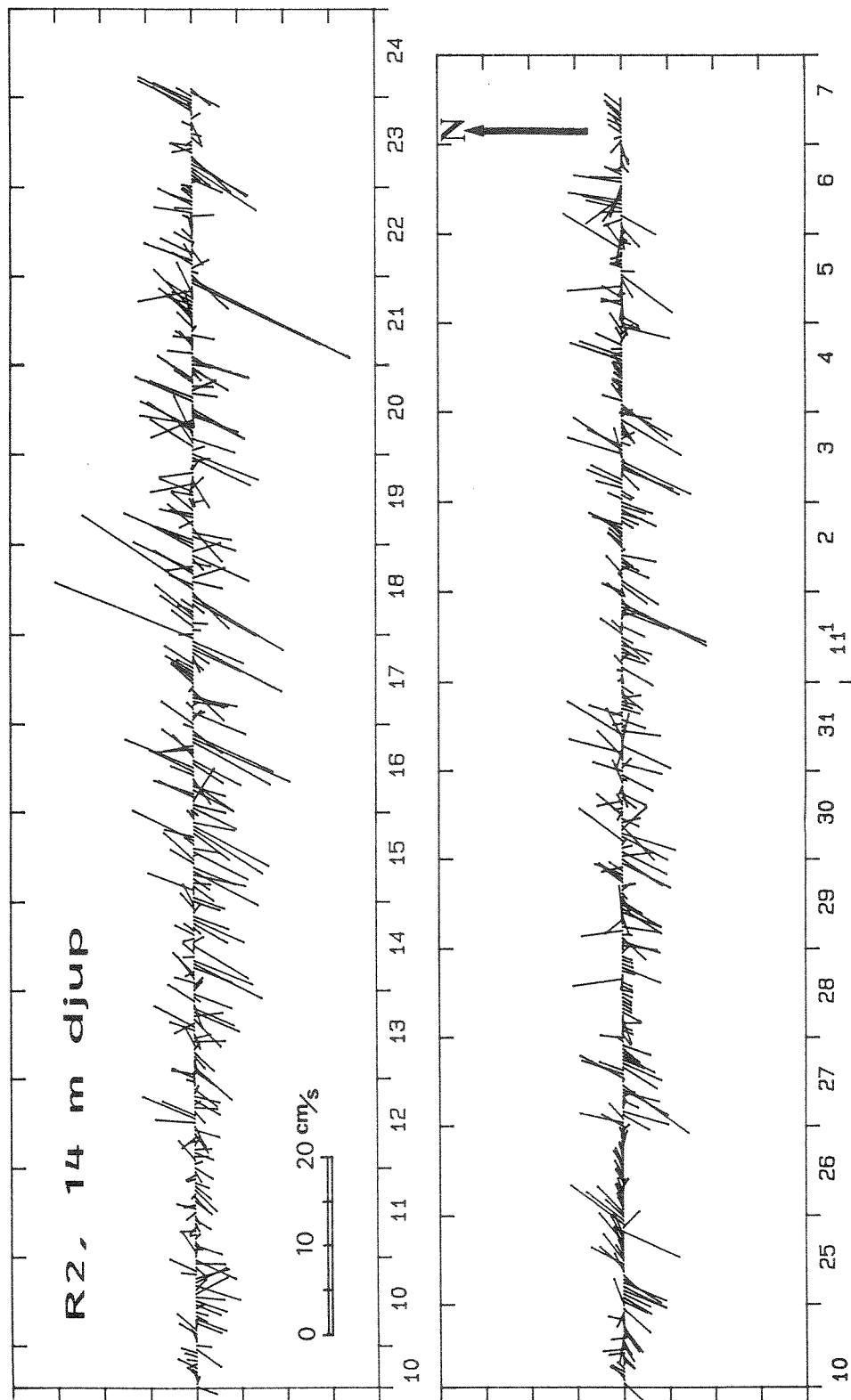


Fig. 3.1.6. Straumobservasjonane frå R2, 14 m djup, framstilt som pilplott (timesmidlar av data). Dato langs X-aksen.

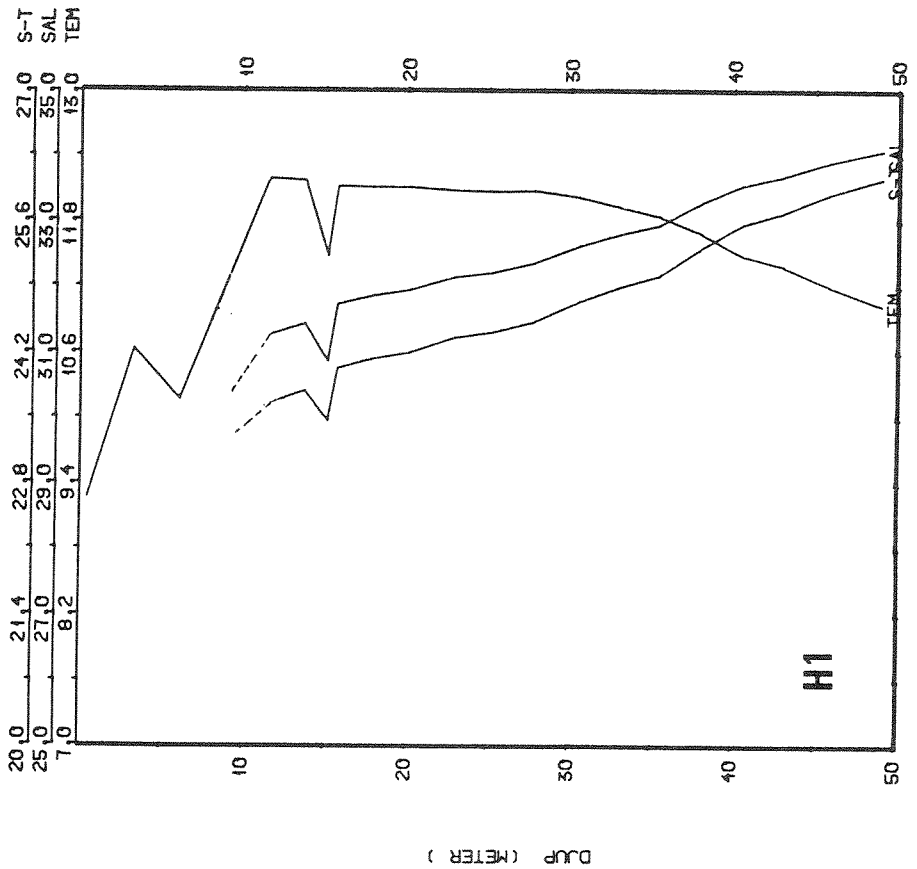
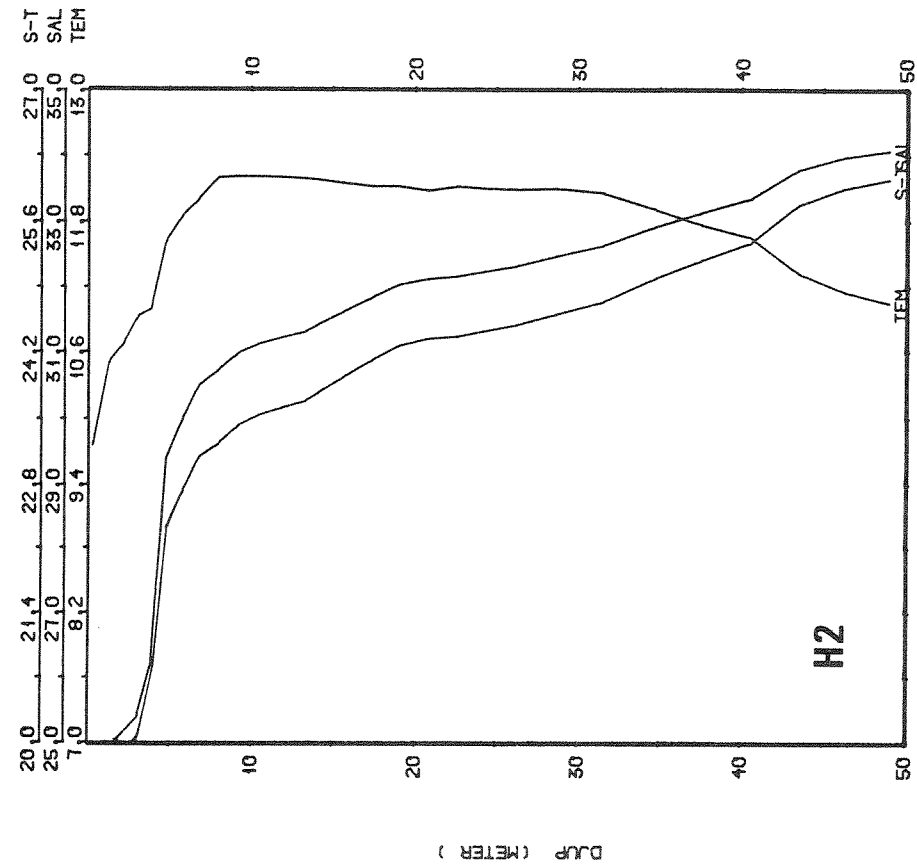


Fig. 3.2.1. Vertikalprofil av observert salinitet (SAL), temperatur (TEM) og densitet (S-T) på H1 og H2 9/10 1989.

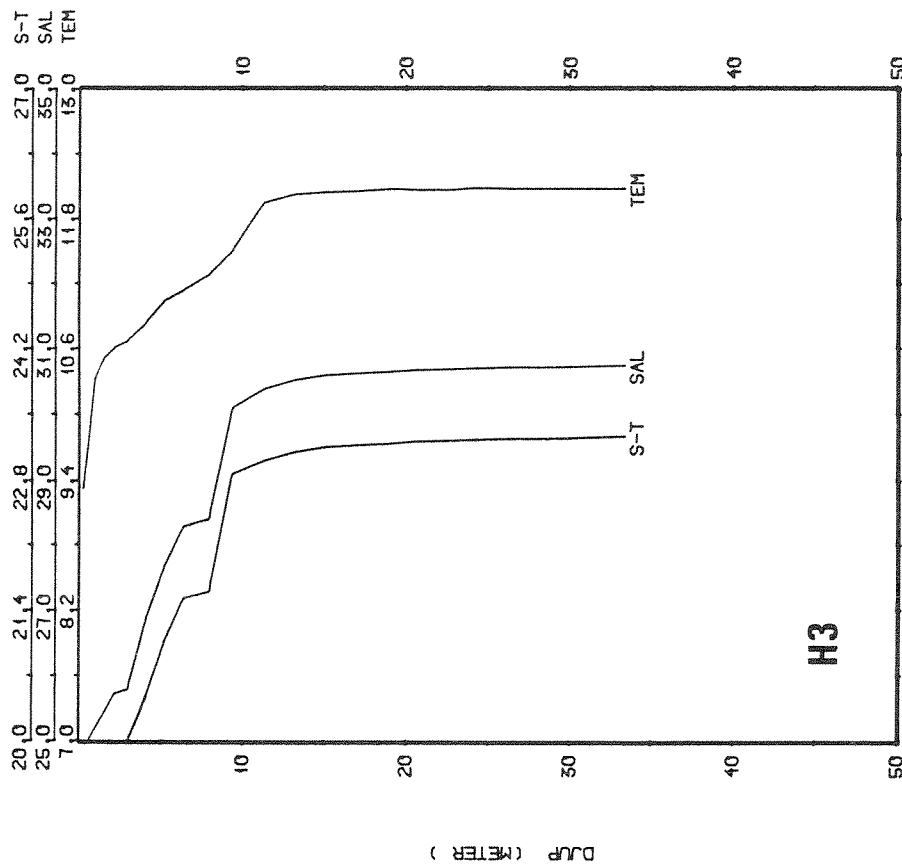
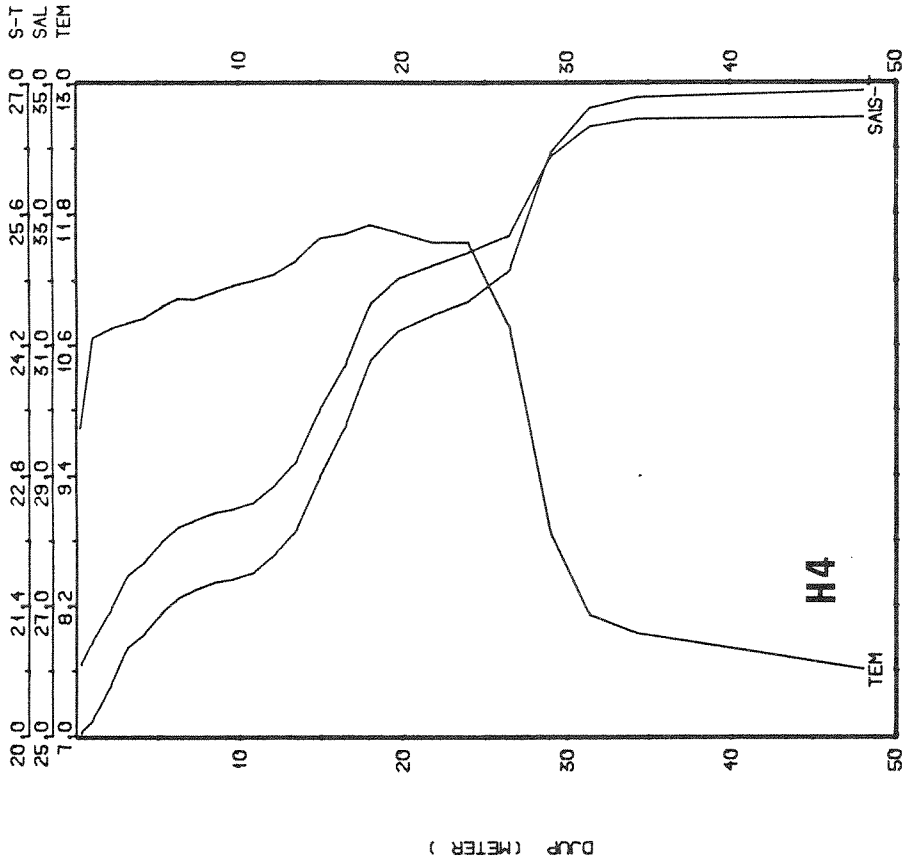


Fig. 3.2.2. Vertikalprofil av observert salinitet (SAL), temperatur (TEM) og densitet (S-T) på H3 og H4 9/10 1989.

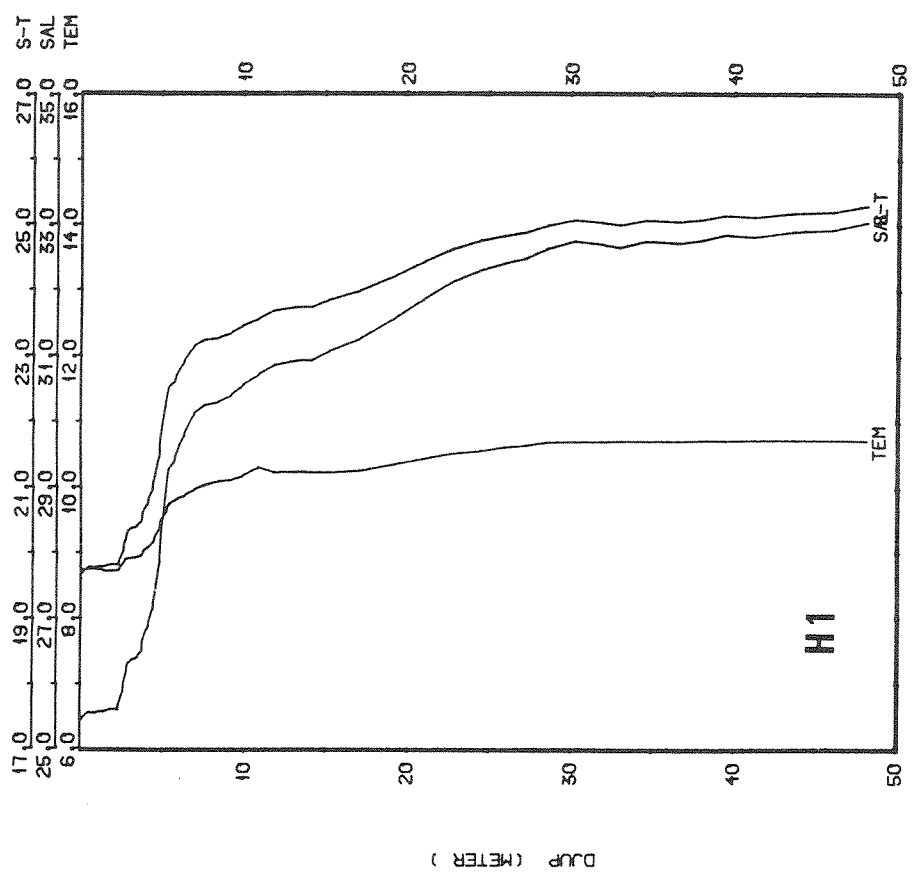
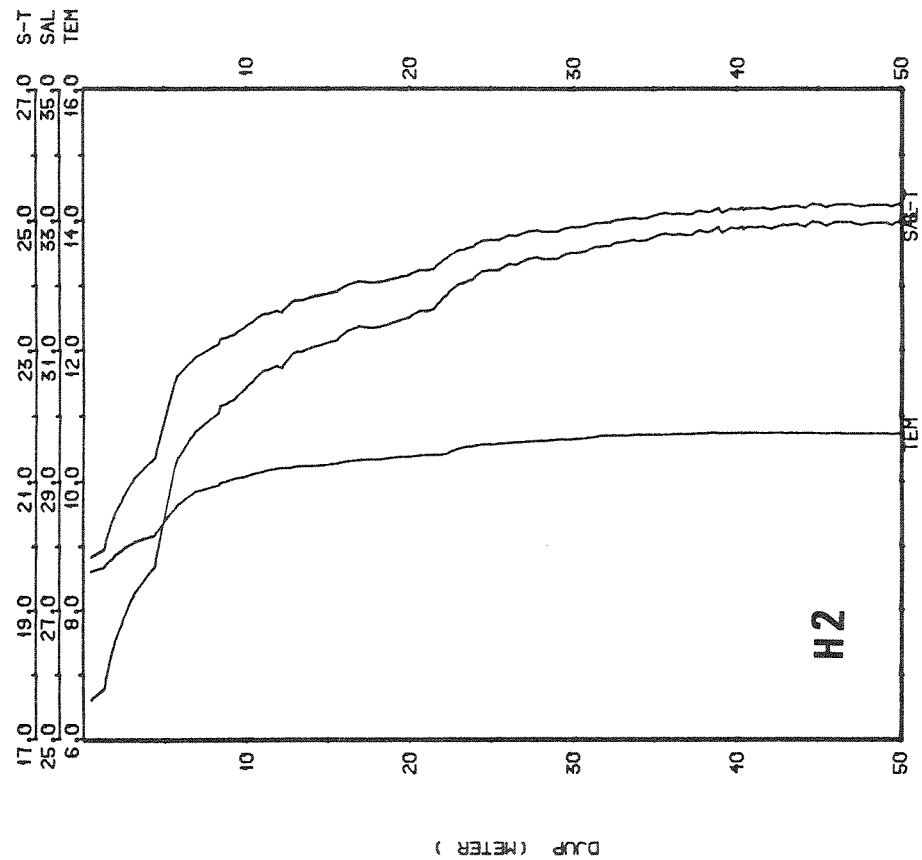


Fig. 3.2.3. Vertikalprofil av observert salinitet (SAL), temperatur (TEM) og densitet (S-T) på H1 og H2 7/11 1989.

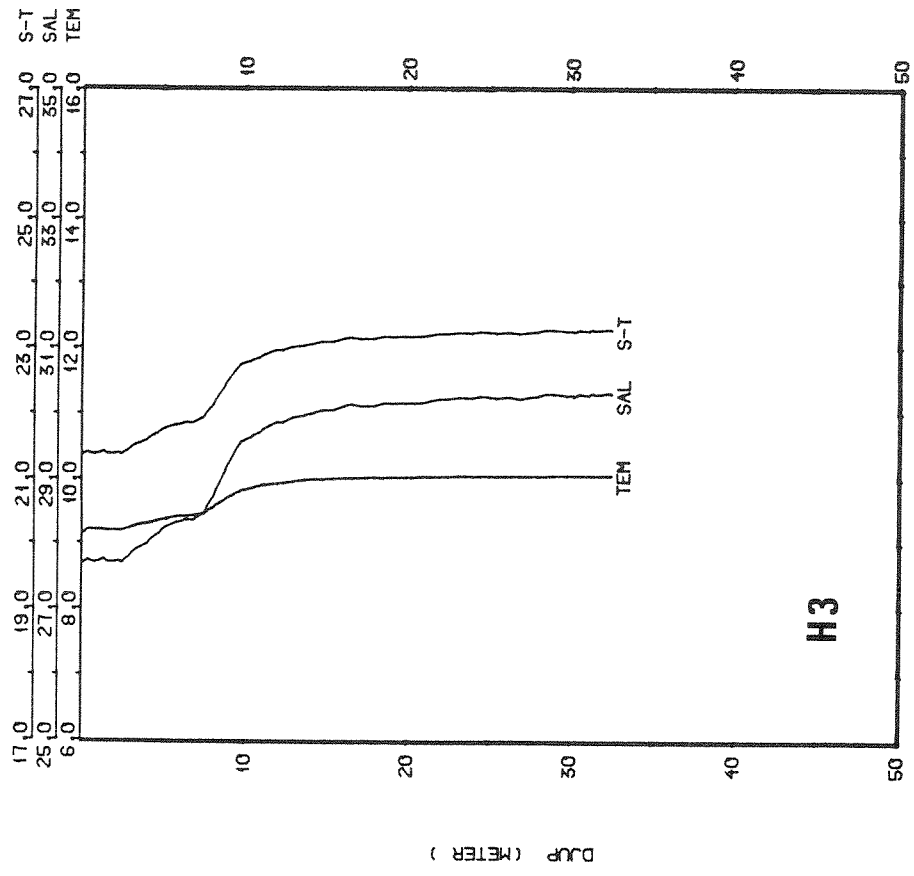
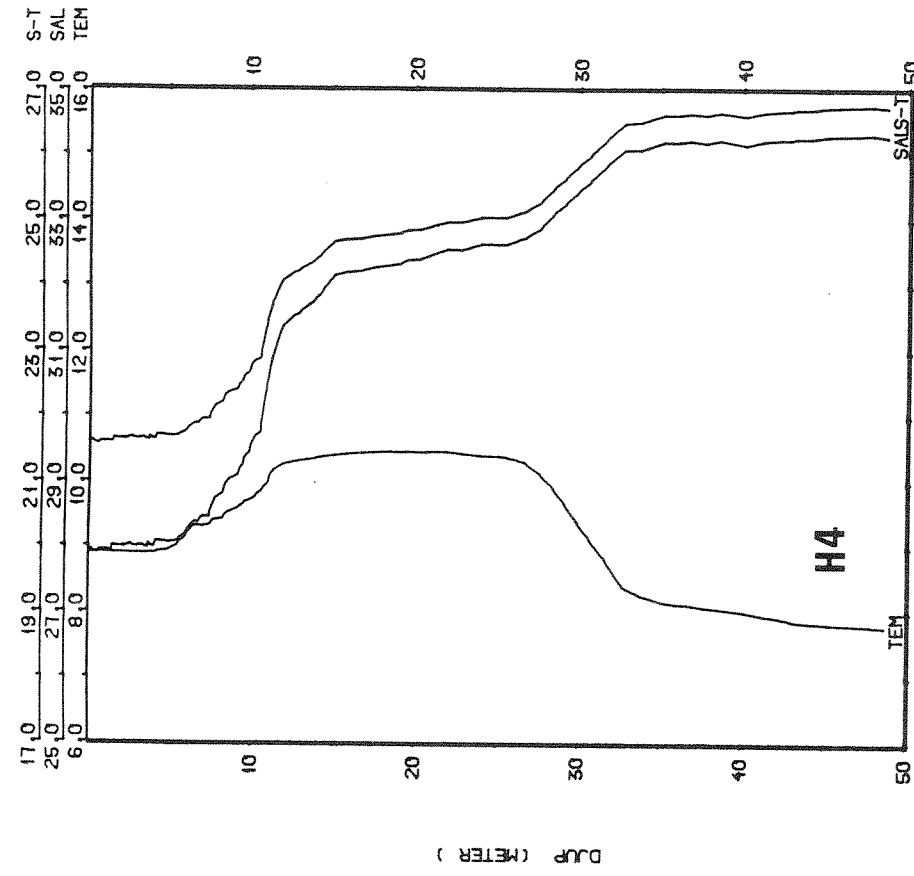


Fig. 3.2.4. Vertikalprofil av observert salinitet (SAL), temperatur (TEM) og densitet (S-T) på H3 og H4 7/11 1989.

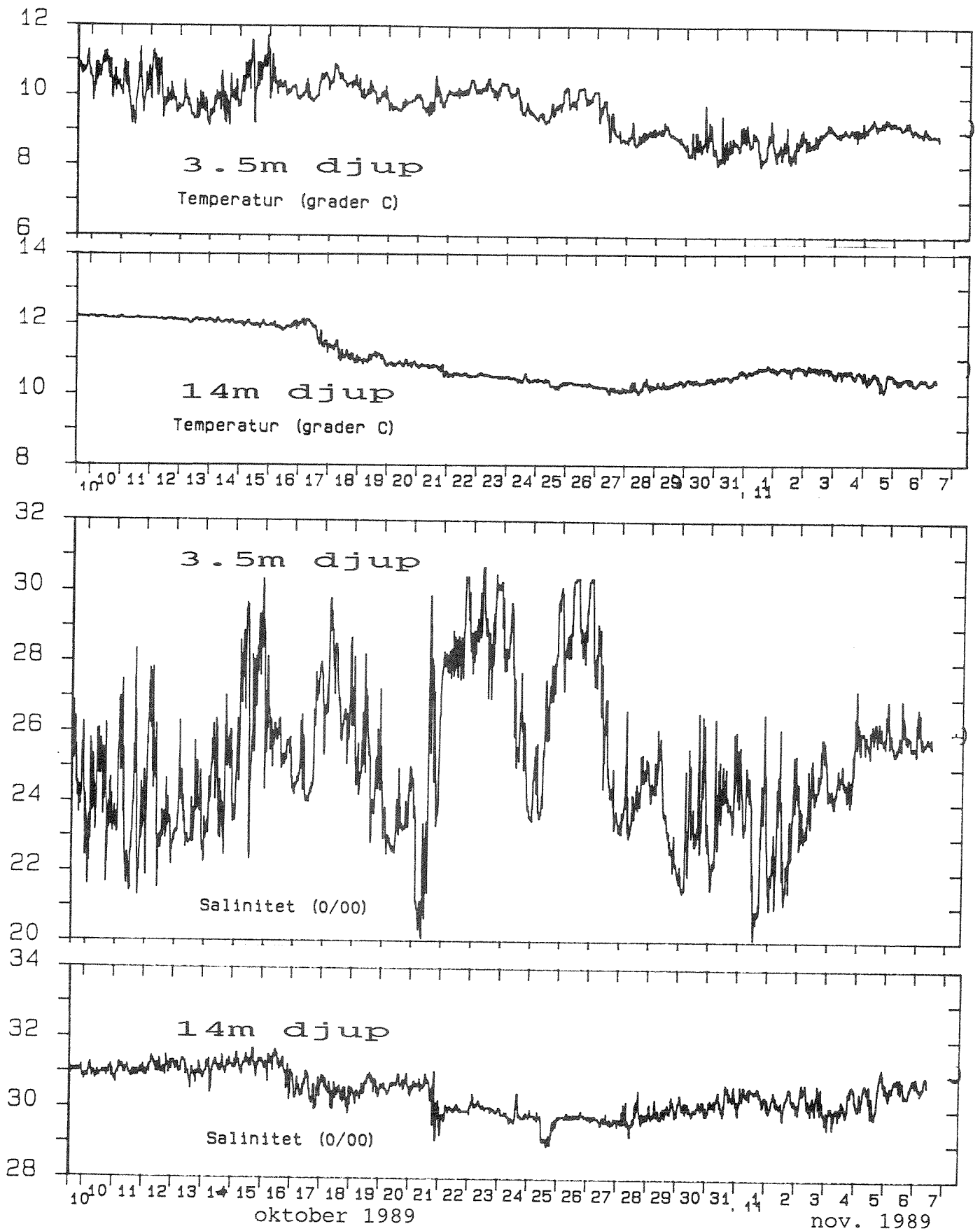


Fig. 3.2.5. Tidsserier av observert temperatur og salinitet i 3.5 m og 14 m djup i Rugsund i perioden 9/10 - 7/11 1989.

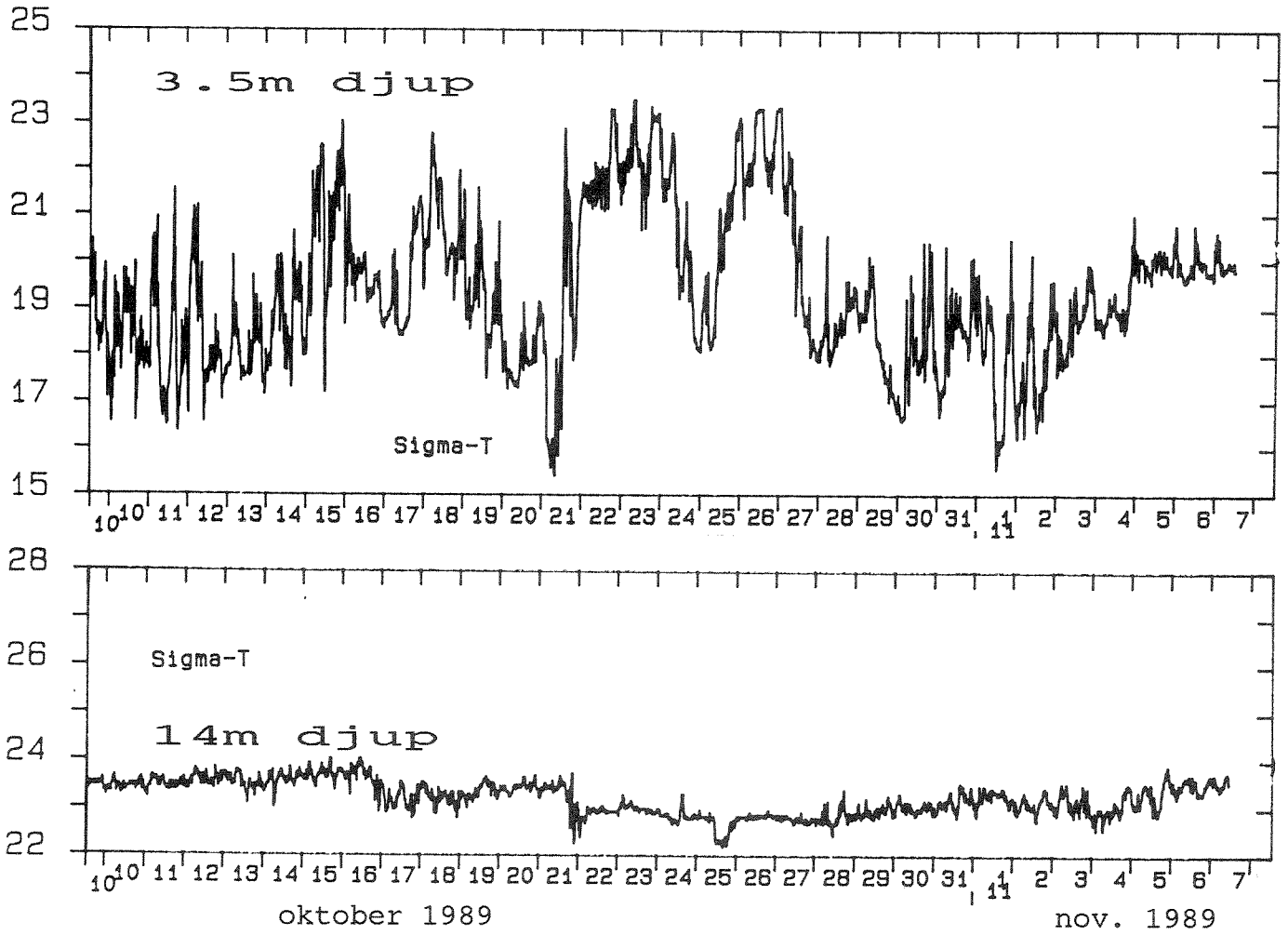


Fig. 3.2.6. Tidsserie av utrekna densitet for sjøvatnet i 3.5 m og 14 m djup i Rugsund i perioden 9/10 - 7/11 1989.