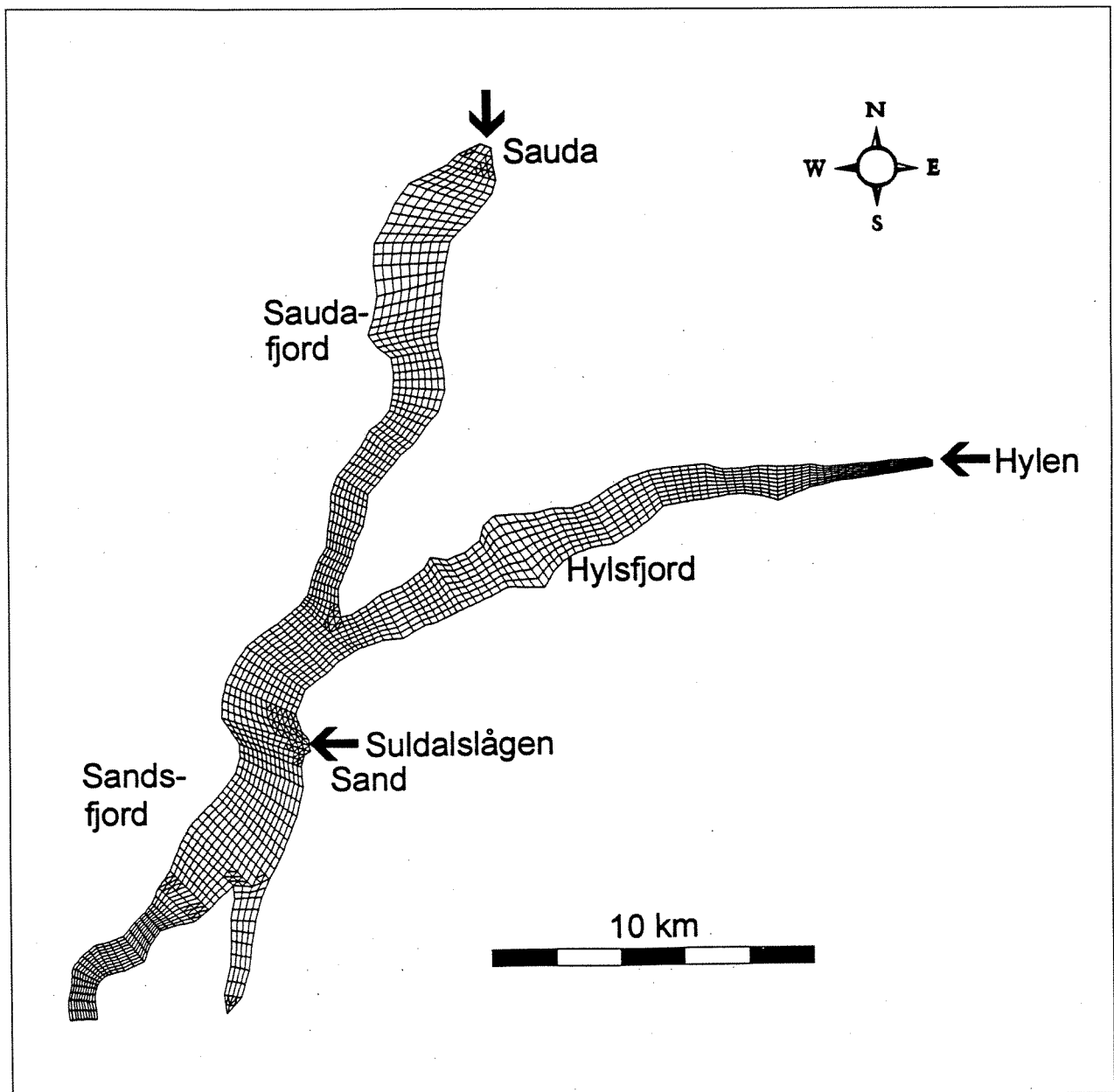


RAPPORT LNR 3628-97

## Lakseforsterkings- prosjektet i Suldalslågen

Rapport frå program for kart-  
legging av strøm og hydrografi  
sommaren 1996, i samband med  
vandringsforsøk



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

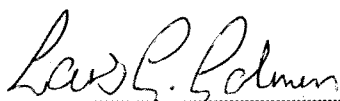
<b>Tittel</b> <b>Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen</b>  <b>Rapport frå program for kartegging av strøm og hydrografi sommaren 1996 i samband med vandringsforsøk.</b>	<b>Løpenr. (for bestilling)</b> 3628-97	<b>Dato</b> 21. April 1997
	<b>Prosjektnr. Undernr.</b> O-96091	<b>Sider Pris</b> 34
<b>Forfatter(e)</b> <b>Lars G. Golmen</b> <b>Einar Nygaard</b>	<b>Fagområde</b> Hydrofysiske målinger/modellar	<b>Distribusjon</b> Åpen
	<b>Geografisk område</b> Rogaland	<b>Trykket</b> NIVA 1997

<b>Oppdragsgiver(e)</b> STATKRAFT ENGINEERING, POSTBOKS 191, 1322 HØVIK	<b>Oppdragsreferanse</b> FINN GRAVEM
--	---

**Sammendrag**

I samband med Statkraft/NINAs lakseforsterkingsprosjekt for Suldalslågen blei det gjennomført forsøk med merking og følgjing av laks i Sandsfjordsystemet i Ryfylke sommaren 1996. NIVA har i den samanheng stått for supplerande hydrofysiske granskingar. Det blei gjort strømmålingar ved fangstnota, hydrografisk profilering og modell-simulering av sirkulasjon. I tillegg er 2 scener av SAR satelittdata gjennomgått. Modellresultata indikerer ein responstid for brakkvannstransport etter oppstart av Hylen kraftverk med 100 m<sup>3</sup>/s på 18-19 timar ved utløpet av Hylsfjorden. NIVAs strømmålingar synte ein responstid i forhold til oppstart Hylen på ca 2 døgn ute ved fangstnota nord for Nævøy. Satelittbilete og også modellresultat syner ein konvergenssone ved utløpet av Hylsfjorden som kan indikere eit komplisert eller tids-variabelt strømningsmønster i dette området. Rapporten foreslår ulike metodar for oppfølgjande målingar ved framtidige laksevandringsforsøk.

<b>Fire norske emneord</b> 1. Laks 2. Hydrografi 3. Strøm 4. Numerisk modell	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Salmon 2. Hydrography 3. Water currents 4. Numerical model
--	--



Lars G. Golmen

Prosjektleder

ISBN 82-577-3186-2



Bjørn Braaten

Forskningsjef

*NIVA prosjekt 96091*

***Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen***

**Rapport frå program for  
kartegging av strøm og hydrografi sommaren 1996,  
i samband med vandringsforsøk.**

NIVA, Bergen

Februar/april 1997

Lars G. Golmen  
Einar Nygaard

prosjektleiar  
medarbeidar

## 0. FORORD

*Prosjektet som rapporten bygger på, er bestilt og bekosta av Statkraft Engineering. Prosjektet har vore samkøyrte med Statkraft Engineering og NINA sine granskingar av laksens vandring i Sandsfjordsystemet og oppover i Suldalslågen.*

*NIVAs program kom i gang våren 1996, og litt har blitt justert undervegs etter kvart som spesielle behov har meldt seg. Det har stort sett dreia seg om teoretiske vurderingar omkring strømforhold og hydrografi. Arbeidsomfanget har dreia seg om ca 2 veker innsats. Personar frå NINA og Statkraft bistod med gjennomføring av eit måleprogram sommaren 1996. Mellom anna bistod Helge Husevåg frå Sand, Morten Kraabøl og Eilif Brodtkorp frå Statkraft Engineering, og Eva Torstad frå NINA.*

*Nansensenteret ved Universitetet i Bergen har levert satellittbilete i tilknytting til sirkulasjonsstudiet. Kjell Kloster har vore hovudansvarleg for dette.*

*Finn Gravem har vore NIVAs hovedkontakt i Statkraft Engineering og gitt innspel undervegs. Oseanograf Einar Nygaard hos NIVA har bistått med modellberekningar, og Inger Midttun har bidratt på EDB-sida.*

---

# Innhold

<b>0. FORORD</b>	<b>3</b>
<b>Samandrag</b>	<b>5</b>
<b>1. INNLEIING</b>	<b>6</b>
1.1 Bakgrunn for prosjektet	6
1.2 Formål	7
<b>2. Måleprogram sommaren 1996</b>	<b>8</b>
2.1 Hydrografi	8
2.2 Strøm	8
2.3 Satellittbilete	9
2.4 Vassføring	9
<b>3. Resultat for strøm og hydrografimålingar</b>	<b>11</b>
3.1 Hydrografi	11
3.2 Strøm	14
<b>4. Sirkulasjonsmodellering</b>	<b>20</b>
4.1 Modellen SMS/RMA-2	20
4.2 Nokre resultat	21
4.3 Supplerande modellresultat frå UiB	24
<b>5. Satellittdata</b>	<b>29</b>
<b>6. Diskusjon</b>	<b>33</b>
<b>7. REFERANSAR</b>	<b>34</b>

---

## Samandrag

På oppdrag for Statkraft Engineering har NIVA, Norsk institutt for vannforskning, utført hydrofysiske målingar i Sandsfjorden i Ryfylke sommaren 1996, samt gjort simuleringer av sirkulasjon i fjorden.

Prosjektet var del av Statkraft Engineering/NINAs program for å merke og følge laks på veg inn mot Suldalslågen. Eit sentralt spørsmål var korleis drift av kraftverket i Hylen påverkar vandringsmønsteret til laksen.

NIVAs prosjekt bestod i det vesentlegaste av følgjande del-element:

Strømmåling ved fangst-nota i nærleiken av Nævøy,  
Hydrografisk profilering i fjorden,  
Numerisk modellering av sirkulasjon,  
Analyse av SAR (Synthetic Aperture Radar) satellittdata levert av Nansensenteret i Bergen.

NIVA deltok berre i svært liten grad direkte i feltarbeidet.

Satellittbileta syner strukturar i soner i Hylsfjorden der ein tidlegare med andre metodar har observert linseforma strukturar og andre fenomen i øvre lag.

Strømmålingane i ytre del av Sandsfjorden ga tilsynelatande god dokumentasjon på respons på oppstart i Hylen, og nyttig informasjon på responstida i systemet. På grunn av det kortvarige eksperimentet med desse instrumenta fekk ein imidlertid ikkje dekt meir enn ein oppstartsperiode for Hylen. Målingane indikerer ein responstid på ca 2 døgn i forhold til oppstart Hylen. Dette harmonerer bra med tidlegare modellresultat utført av UiB som synte ei responstid på 1,5 døgn for strømmen ute ved Nævøy.

NIVAs modellresultat indikerer ei responstid for oppstart Hylen på 18-19 timar for strømmen i munningen av Hylsfjorden. UiB målte strøm ca 2/3-dels veg utover i Hylsfjorden, og ein fann der ei responstid på anslagsvis 10 timar. NIVAs modell-resultat er i rimeleg godt samsvar med dette når ein tar i betraktning forskjellane i tilførselsdata og den usikkerhet som modellberegningar trass alt gir.

For å få utnytta all innsamla informasjon fullt ut er det i den samanheng behov for å få kopla resultatata frå dei biologiske forsøka med foreliggende materiale.

Ved framtidige laksevandringsforsøk kan ein plassere strømmålarar ved utløpet av Hylsfjorden også, for å få verifisert responstida der i forhold til oppstart i Hylen.

Ved framtidige forsøk vil også bruk av drivbøyer inne i Hylsfjorden, evt. også i Sandsfjorden kunne gi nyttig kunnskap om strøm og responstider, bakevjer etc. Slike drivbøyer kan forsynast med radiosendar og dataloggar på land (evt. GPS mottakar m/logging på bøya), slik at ein ikkje treng konstant påpassing frå folk.

# 1. INNLEIING

## 1.1 Bakgrunn for prosjektet

NINA gjennomførte sommaren 1996 forsøk med fanging og akustisk merking av laks i Sandsfjordsystemet i Ryfylke. Målsettinga med denne merkinga var å følge laksens vandring v. hj.a. lytteutstyr vidare innover i Sandsfjorden, i retning Suldalslågen, og å granske om heimvandringa, evt. preginga på veg ut, blir påverka av endring av ferskvasstilførsler gjennom Hylen kraftverk.

Det var rekna som interessant å få utført eksperiment i periodar i sommarmånadene både når kraftverket i Hylen står og når det går. Kraftverksreguleringane som berører Sandsfjordsystemet er blitt studert tidlegare gjennom forundersøkelsar i 1970-åra og oppfølgjande etterundersøkelsar på 1980-talet. Det har blitt påvist at overføring av store ferskvassmengder til Hylsfjorden har medført markerte endringar i sirkulasjon og sesong-forløp av dette og for sjikting.

Vass-sirkulasjonen og sjiktingstilhøva i fjorden blei antatt å kunne påverke vandringsmønsteret til laksen. Pulsar av vatn frå Hylen kraftverk kan tenkjast å forstyrre laks på veg inn mot Suldalslågen i den viktige oppvandringstida.

Statkraft Engineering ba derfor NIVA om assistanse for å få gjort nokre supplerande målingar og vurderingar av strømningsforhold og hydrografi i Sandsfjorden og Hylsfjorden i samband med merkeforsøka. Målet var å få ein grov oversikt over strømningsmønster, salinitet og temperatur ved viktige tidspunkt i fiske-eksperimenta. Statkraft Engineering og NINA stod sjølve for lakseforsøka, som inkluderte fangst av laks i tre nøter, ei plassert litt utanfor utløpet av Suldalslågen (fig. 1.1) og to nærmare utløpet av Sandsfjorden.



**Figur 1.1.** Fotografi som syner fangst-nota på sørsida av Sandsfjorden, ca 1 km frå utløpet av Suldalslågen.

Det var ikkje tale om å gjennomføre noka heilskapleg oseanografisk gransking, noko som ville krevje langt større ressursar enn det som blei stilt til rådvelde. Rapporten har heller ikkje som formål å koble dei fysiske målingane og registreringane av fiskevandring etc. Dette vil bli gjort i ettertid av Statkraft Engineering og NINA, som har opplysningane og resultatata frå laksevandringsforsøka.

Ideelt sett burde ein ha fått hyppige oppdaterte bilete av korleis ferskvass/brakkvassfrontane og strømbiletet endra seg. Her er det også eit spørsmål om prioritering og det er klart at direkte studium av laksen og dens oppførsel måtte stå heilt sentralt. Så fekk ein heller vurdere i ettertid kva form og innhald evt. oppfølgjande parallell-granskingar mellom fysikk og biologi kunne få.

Sidan det er i dei øvste metrane av vassøyla at laksen er forventa å vandre blei kartlegginga fokusert om dette sjiktet. Bruk av satellittbilete, spesielt SAR data blei i denne samanheng ansett som eit interessant prøveprosjekt.

Universitetet i Bergen kom i gang med eit nytt studium av vassirkulasjon m.m. i Sandsfjordsystemet i 1996. Dette arbeidet ligg under forskingsprogrammet som omhandlar miljøverknader av effektregulering av kraftverk. Slik regulering vil medføre endra utslepp frå kraftverka, med hyppigare, evt. større toppar, til mindre forutsigbare tidspunkt. Resultat frå dette studiet vil kunne kome eit framtidig laksefølgjingsprogram til gode. Nokre modellresultat frå UiBs arbeid er tatt med i denne rapporten som eksempel.

## 1.2 Formål

Hovudformålet med NIVAs prosjekt var å framskaffe supplerande opplysningar omkring hydrografi og strømførhold som kunne støtte opp under dei biologiske granskingane.

Konkret gjaldt dette innafor dei tildelte rammene å

- stille til rådvelde måleutstyr for strøm og hydrografi til bruk i Sandsfjordsystemet, og å vurdere måleresultatata,
- foreta innleiande teoretisk studium av sirkulasjonen ved hjelp av ein enkel numerisk modell,
- koordinere innsamling og prosessering av satellittbilete,
- vurdere eldre hydrografiske data og opplysningar frå fjordsystemet,
- løpande rådgjeving etter behov,
- sluttrapportering.



## 2. Måleprogram sommaren 1996

### 2.1 Hydrografi

Det blei utlånt ein Salinoterm-sonde for måling av sjøens temperatur og salinitet. Sjølve målesensorane heng i enden av ein kabel. Kabelen er knytt til ein avlesingsboks i båten. Her kan observatøren lese av og notere temperatur og salinitet fortløpande etter kvart som kabelen blir seinka nedover i sjøen.

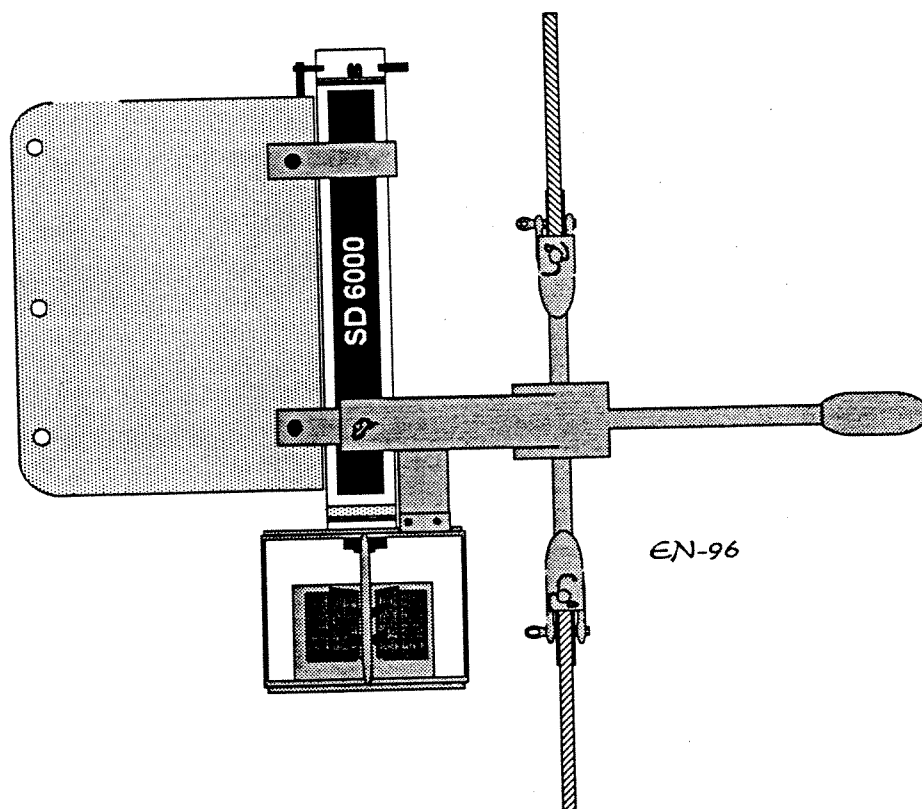
Måleprogrammet var lagt på toppen av andre aktivitetar i området, og det var derfor vanskeleg for dei lokale observatørane å få følgt eit fast program over lengre tid.

Det blei målt hydrografi på følgjande tidspunkt: 30. juni, 1., 2., 3. og 4. juli, 1996.

Målingane blei gjort ved utløpet av Suldalslågen og også ved sleppunktet for laks og inne i Hylsfjorden.

### 2.2 Strøm

For å få eit bilete av strømførhølda i øvre sjikt blei det hengt ut to automatiske strømmålarar av type Sensordata SD2000 (fig. 2.1) i nøtene der laksen blei fanga. Målarande hang i tau festa til fortøyningsblåse eller fortøyningstau. Måledjupa var ca 1 m og 6 m.



Figur 2.1. Sensordata SD2000 strømmålar.

Målarane var programmerte til å måle strømmens fart og retning med 16 minutt intervall. Måledata blir lagra internt i eit dataminne, for seinare avlesing. Kapasiteten til målarane er 2000 målepunkt, slik at dei med det programmerte måleintervallet kunne stå ute og måle i fleire veker, utan tilsyn.

Målarane blei først hengt opp ved den innarste nota den 27. juni 1996, i 2 og 7 m djup. Litt etter blei målarane flytta ut til den yttarste nota, og måledjupa blei justert til 1 og 6 m.

## 2.3 Satellittbilete

Nansensenteret framskaffa satellittbilete med data frå ERS-2 satellitten. Vanlege satellittbilete har relativ grov oppløysing, slik at det er vanskeleg å nytte desse til lokale studium i fjordar. Det blei derfor valt å nytte data frå SAR instrumentet (synthetic aperture radar), som har oppløysing på 100m x 100m.

SAR-instrumentet oppfangar refleksar frå små bølger på sjøoverflata, og kan såleis eigne seg til å avbilde strømvirvlar, strømfrentar o.l. I motsetning til dei fleste andre satellittsensorar kan SAR sjå gjennom skyer, noko som absolutt er ein fordel på Vestlandet. Ein er dermed ikkje avhengig av pent ver for å få gjort studiane. Ulempe med denne satellitten er at ein passerer relativt sjeldan; om lag kvar 16.-19. dag. Aktuelle tidspunkt som er blitt vurderte var 6 juli, 26. august, 14. september og 3 oktober 1996.

For vanlege felteksperiment er det ofte mogleg å planleggje ut frå når tid satellitten passerer. Men for forsøk som er avhengige av laksens vandringsmønster vil ein sjeldan få fullklaff m.h.t. samanfalande tidspunkt for data og interessante observasjonar eller hendingar.

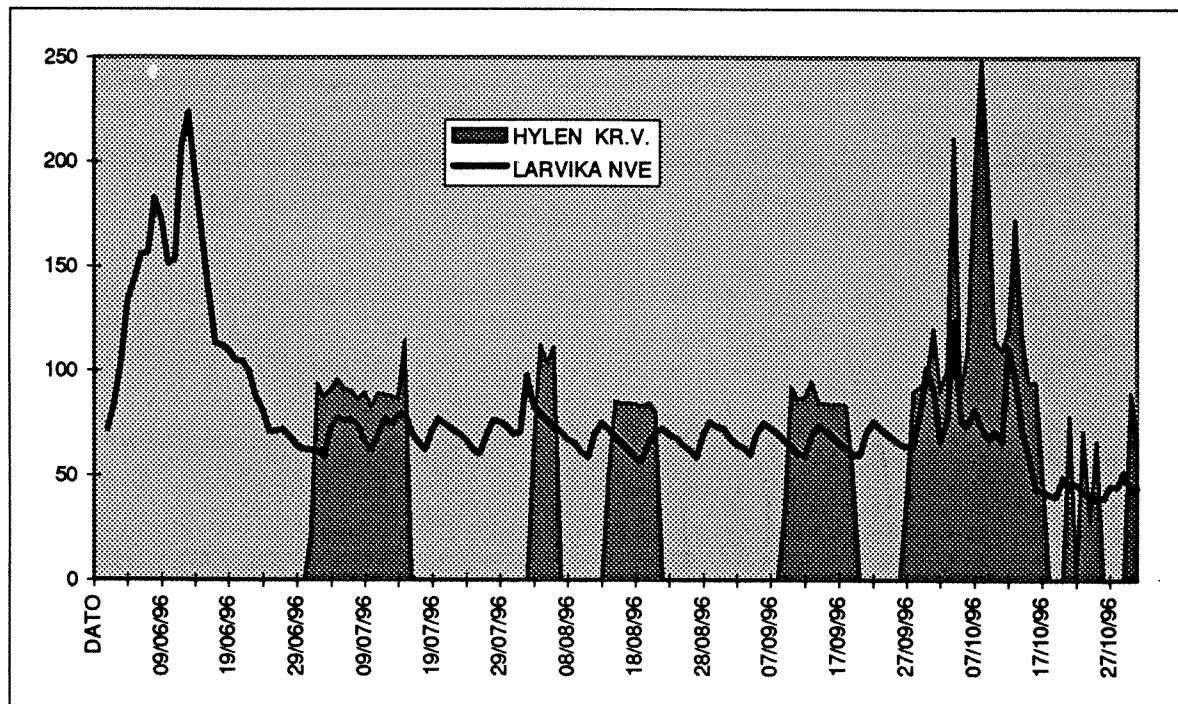
## 2.4 Vassføring

Frå Statkraft fekk vi oversendt data for vassføring i Hysten og i Suldalslågen (Larvika). Vassføringstala for månadene juni - november er synt i fig. 2.2. Frå ca 25. juni låg Suldalslågen med relativt konstant vassføring på 70-80 m<sup>3</sup>/s. Forut for dette var det ein periode med høg vassføring (>200 m<sup>3</sup>/s) nokre dagar rundt midten av juni. Hysten stod og gjekk vekselvis. Normal vassføring ved drift i Hysten var rundt 90 m<sup>3</sup>/s. Tabell 2.1 syner middelvassføringa i Hysten for aktuelle driftsperiodar juli - medio oktober 1996.

**Tabell. 2.1.** Middelvassføring og varighet for driftsperiodane for Hysten kraftverk sommaren/hausten 1996, i følge tal frå Statkraft/NVE.

Periode ->	1/7-15/7	3/8 - 6/8	14/8 - 21/8	9/9 - 19/9	27/9 - 17/10
Antal døgn	15	4	8	11	21
Middel vassføring, m <sup>3</sup> /s	86,5	98,5	79,6	79,4	121,1

	HYLEN	LARVIKA
	KR.V.	NVE
DATO	m3/s	m3/s



Figur 2.2. Vassføringsdata frå Hylene og Larvika juni-november 1996. Kjelde: Statkraft/NVE.

## 3. Resultat for strøm og hydrografimålingar

### 3.1 Hydrografi

Måleresultat for salinitet og temperatur i ulike djup, 0 - ca 20 m, er synt i figur 3.1 og 3.2. I kvar ramme er målingane for kvar tidspunkt (kvar dag) framstilt. Målingane dekkjer ikkje heile Sandsfjordsystemet, men i alle fall sentrale deler og ytterendane av Sandsfjorden.

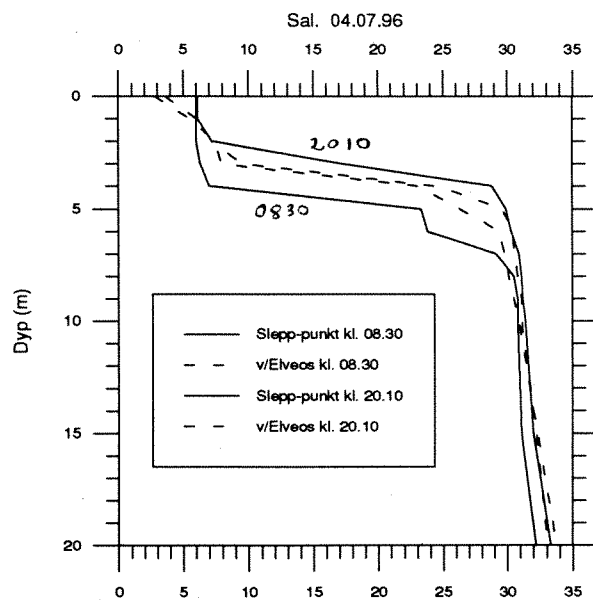
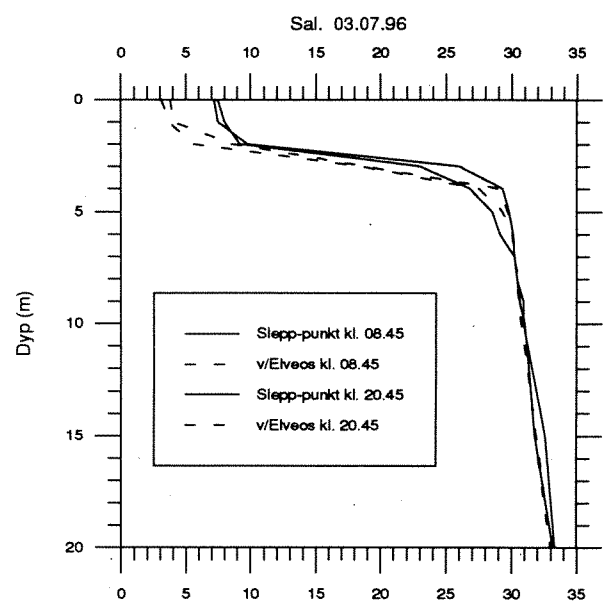
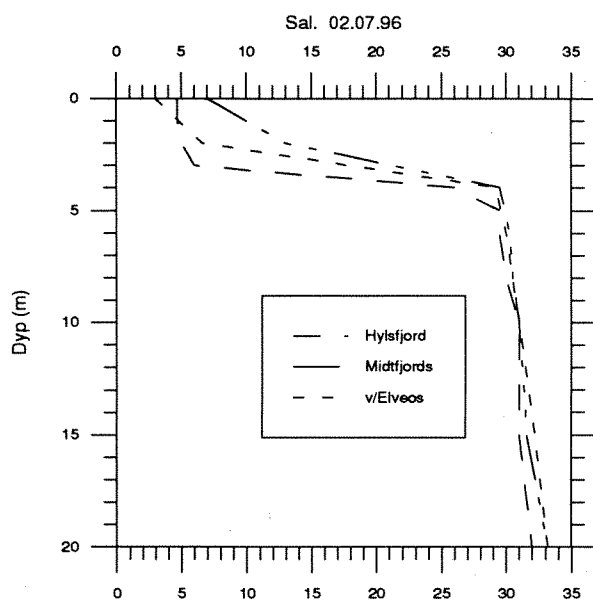
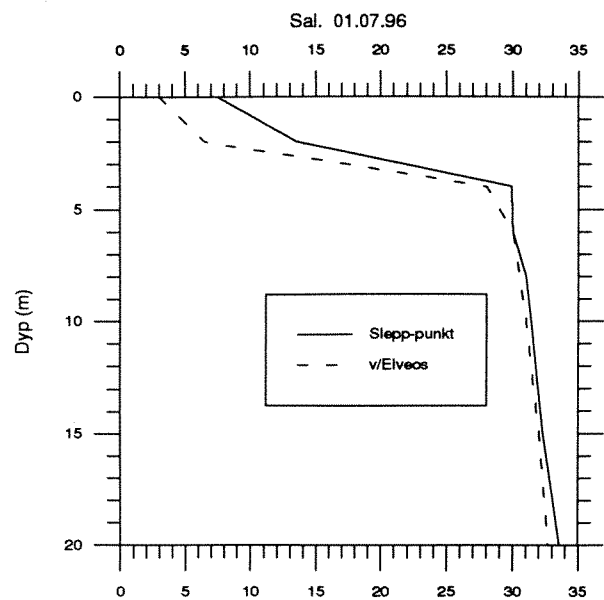
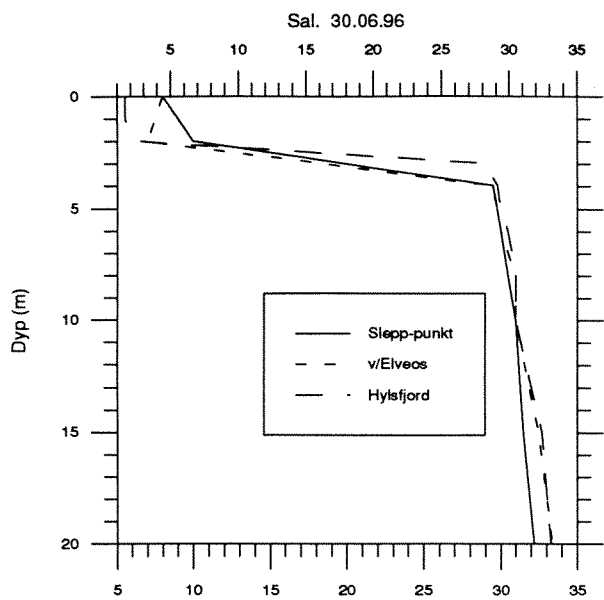
2-3 veker før målingane starta var det høg vassføring i Suldalslågen (over 200 m<sup>3</sup>/s. Men effektar av desse ekstra tilførsleane var sannsynlegvis borte når hydrografimålingane starta. Hysten starta opp med moderate tilførsler 1. juli, og la seg så på rundt 90 m<sup>3</sup>/s resten av denne driftsperioden (fig. 2.2). Det var ingen markerte forskjellar i hydrografi mellom før- og etter oppstart av Hysten, men sprangsjiktet synes å gå litt djupare mot slutten (ned til 4-5 meter).

Saliniteten i overflatelaget varierte mellom 1 og ca 10 ppt. Det var ingen tydelege eller systematiske skiljer mellom dei ulike måleposisjonane, sjølv om det kvar gong var visse forskjellar.

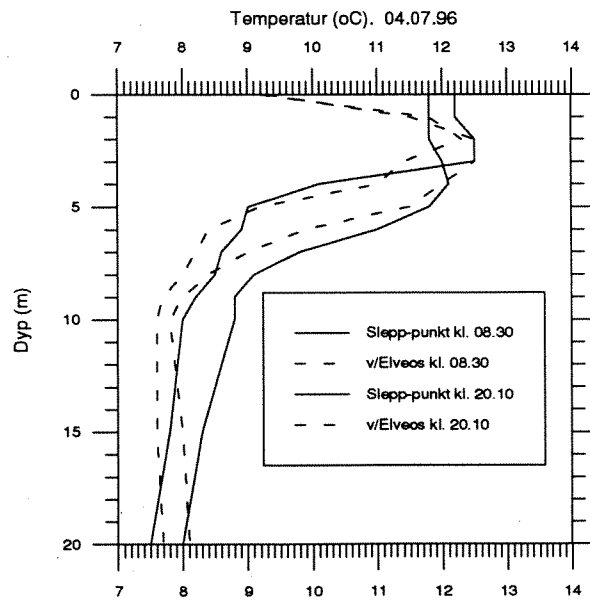
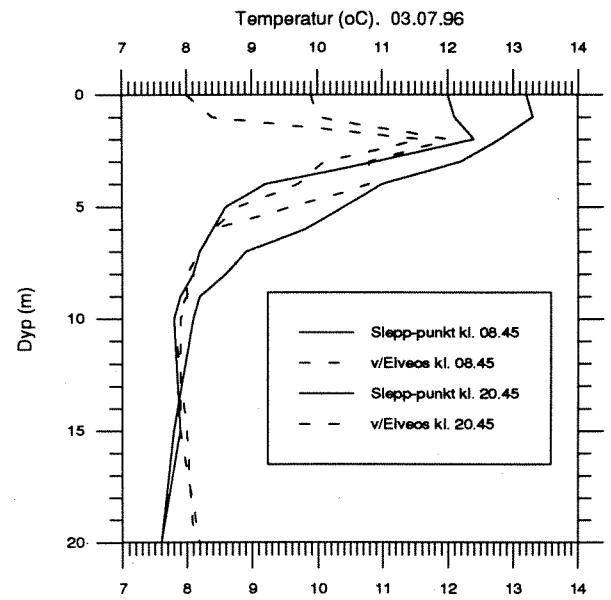
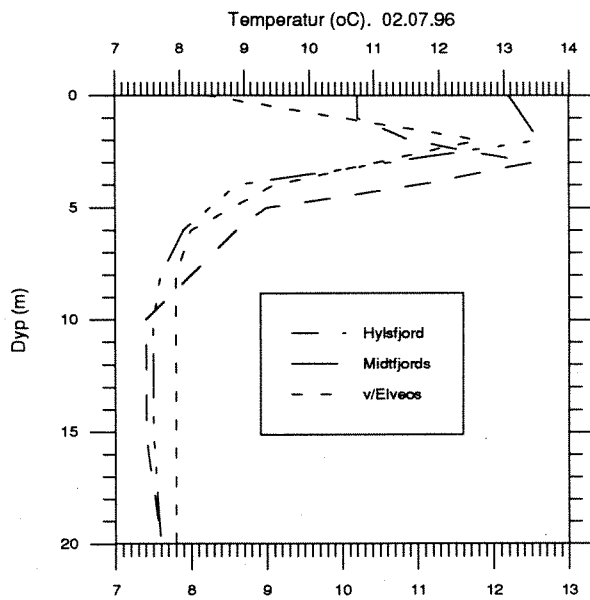
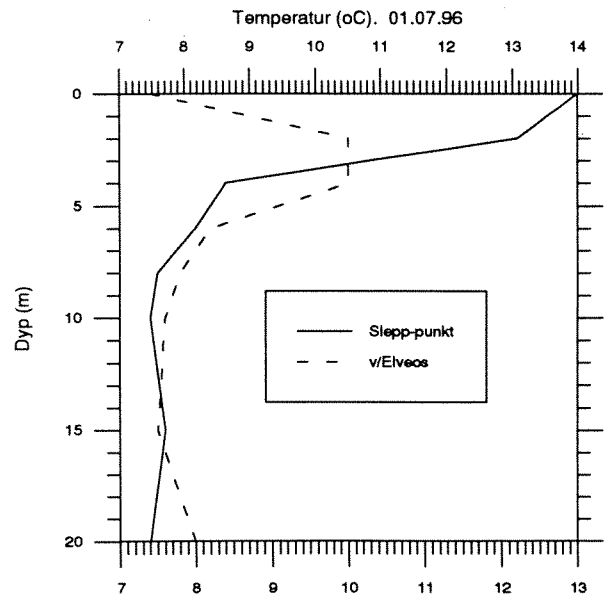
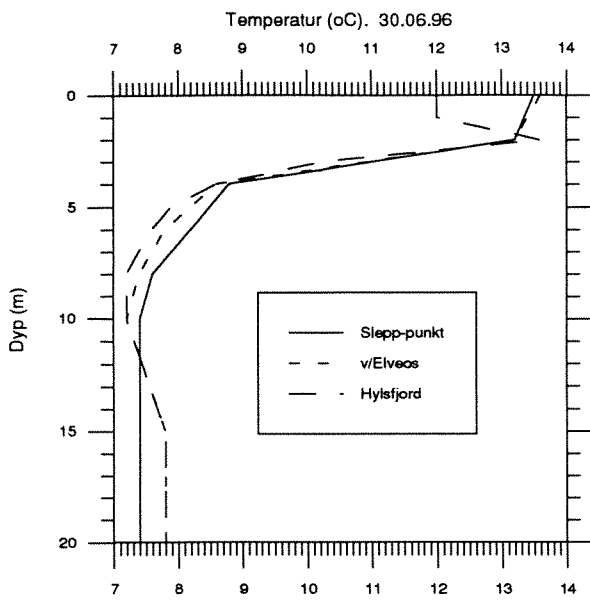
Saliniteten (fig. 3.1) er den parameteren som best korresponderer med sjøvatnets densitet, og som dermed best definerer sprangsjiktet. Sjøtemperaturen influerer i mindre grad på densiteten innafor dei T-S intervalla som råder i fjorden. Sprangsjiktet heldt seg kring 2-4 m djup.

Ein kan merke seg målingane morgon og kveld den 4. juli. Desse syner relativt markert djupneforskjell for sprangsjiktet (ca 2 m variasjon). Det var sannsynlegvis ingen markerte endringar i ferskvasstilførlser denne dagen, slik at variasjonen må skuldast andre pådrivskrefter slik som vind som kan ha generert progressive indre bølger på sprangsjiktet, evt. lange ståande bølger (seiches).

Temperaturmålingane (fig. 3.2) syner at Suldalslågen har ein effekt med sine kalde tilførsler. Temperaturmaksimumet i 2-4 m djup, som var hyppig observert ved elveosen, kan skuldast varme frigjort ved blanding mellom sjøvatn og ferskvatn. Denne "blandingsvarmen" er av storleiksorden 1 kcal/mol salt. Den har ikkje vore påakta i litteraturen, men kan forklare eksistensen av det ofte observerte intermediære temperaturmaksimumet i fjordane som gjerne vedvarer langt utover vinteren, trass i kraftig overflateavkjøling.



**Figur 3.1.** Salinitetsmålingar i Sandsfjorden og ytre del av Hylsfjorden i perioden 30. juni - 4 juli 1996.



**Figur 3.2.** Temperaturmålinger i Sandsfjorden og ytre del av Hylsfjorden i perioden 30. juni - 4 juli 1996.

## 3.2 Strøm

Strømmålingane var meint å skulle gje tilleggsinformasjon i forhold til fisk som blei fanga. Vi har ikkje hatt tilgang på opplysningar om dette, og vil derfor kun foreta ei kortfatta oppsummering av målingane.

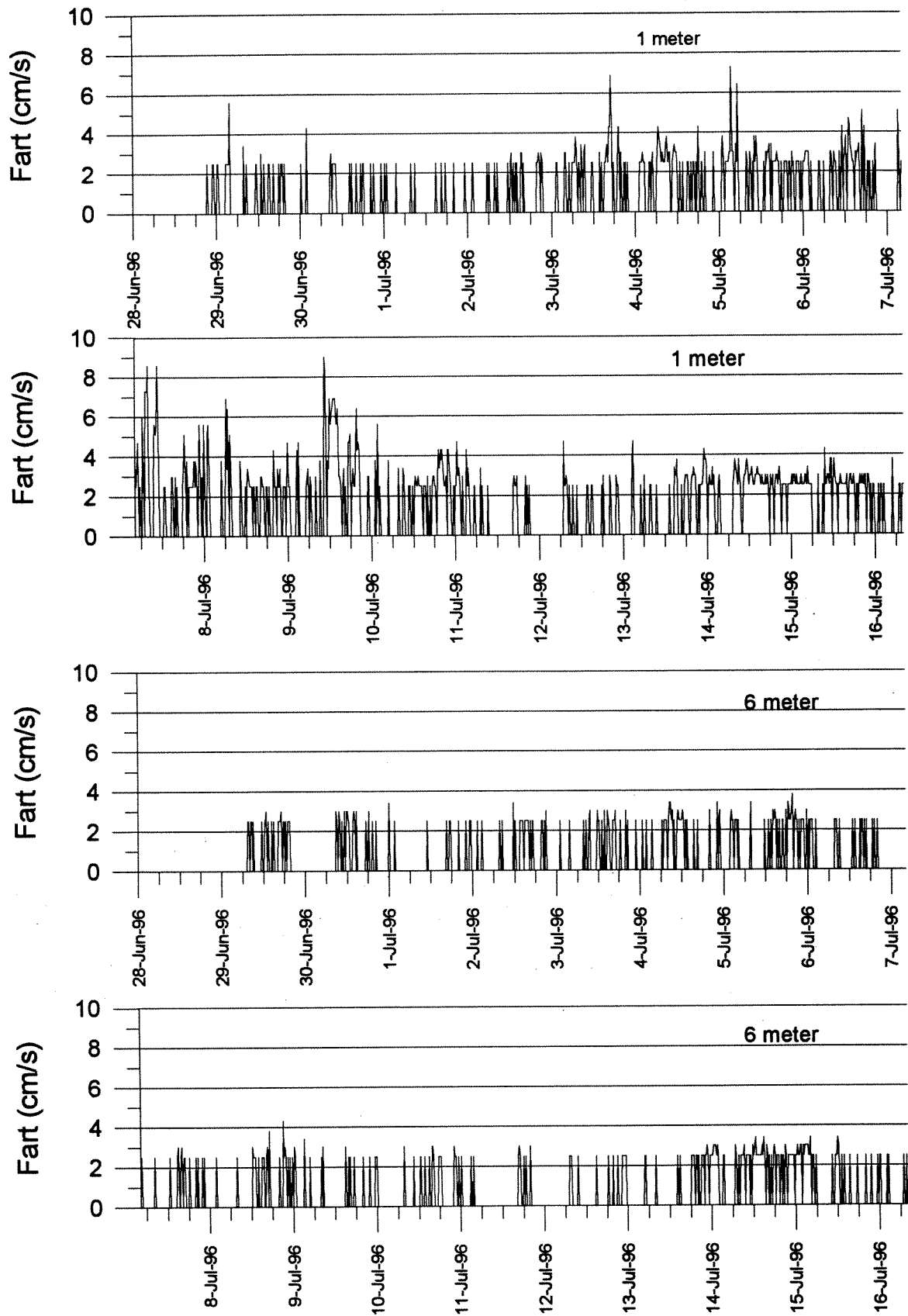
Måleresultata er synt grafisk i figurane 3.3- 3.6. I tillegg syner fig. 3.7 temperaturkurver for dei to måledjupa i h.h.t. registreringane frå dei to strømmålarinstrumenta. Merk at strømmålarane blei flytta etter ca 1 døgn (tidspunktet ikkje eksakt klarlagt).

Strømstyrken (strømfarten) var moderat i begge måledjupa, slik det framgår av fig. 3.3. 1 m djup hadde relativt sett den sterkaste strømmen. Strømmen auka litt den 3. juli. Dette kan vere ein målbar effekt av at Hylen starta opp gradvis 1. juli og gjekk for fullt 2. juli. Strømmen blei m.a.o. endra (auka) ute ved ytre fangstnota 1-2 døgn etter at Hylen starta. Det same kan ein sjå av temperaturkurvene (fig. 3.7), som syner ein auke frå den 3. juli.

Vi kan ikkje utelukke at dei registrerte endringane rundt 3. juli skuldast lokal oppvarming (pent vêr), men mistanken går mot at det er Hylen som er årsaka, sidan dette representerer om lag ein dobling av ferskvasstilførslene til fjordsystemet i høve til tida før 1. juli.

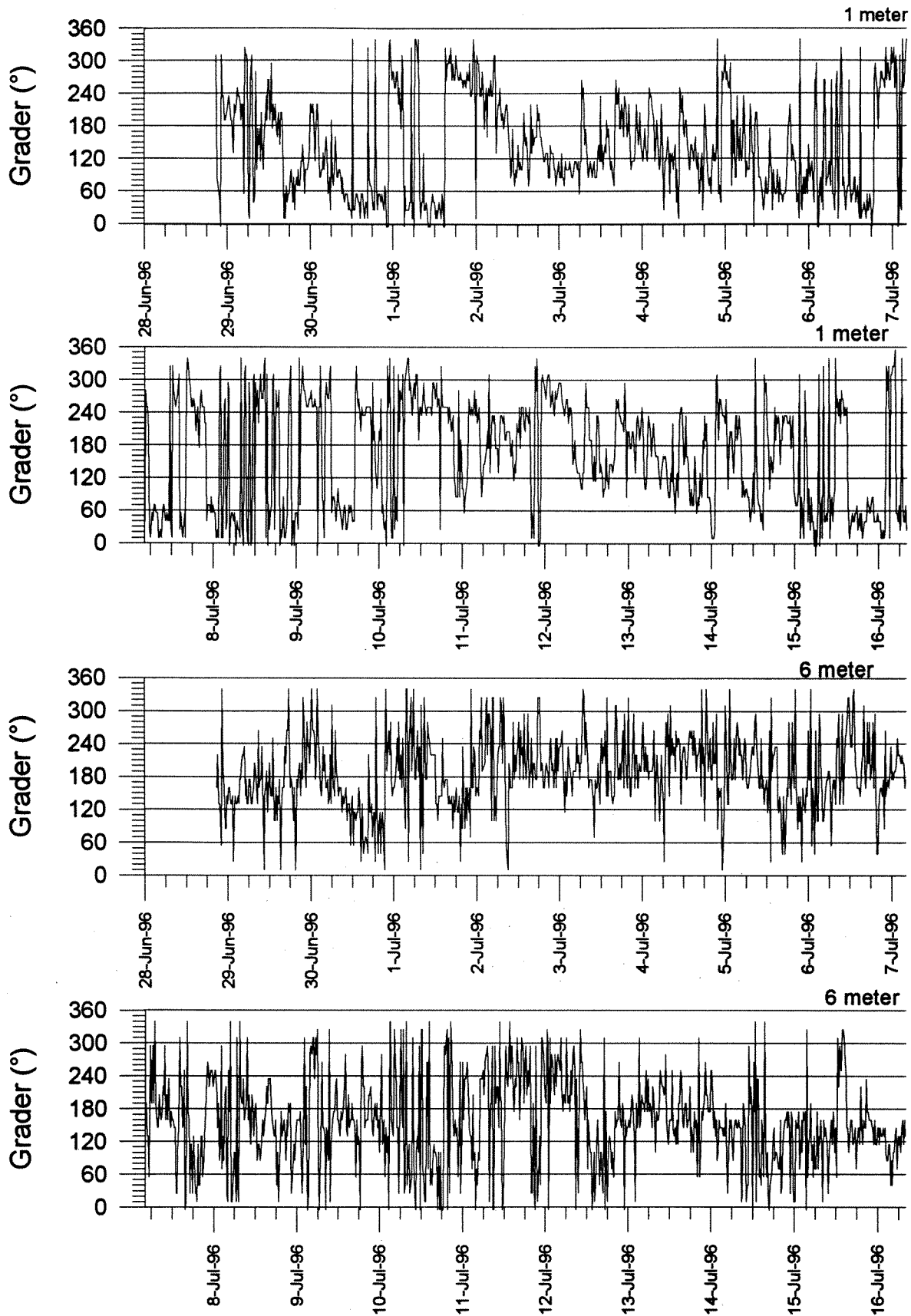
I. h.h.t. avtalen med Statkraft Engineering skulle strømmålarane stå ute i 14 dagar. Dataminnet til strømmålarane gjekk fullt den 16. juli, slik at vi diverre ikkje fekk dokumentasjon på evt. endringar som skjedde når Hylen blei tatt ned den 15. juli. Resultata frå perioden rundt oppstart kan tyde på at målarane kan gi signifikante resultat når det gjeld å registrere tidspunkt for respons i fjordsystemet på auka ferskvasstilrenning.

Figurane 3.5 og 3.6 syner statistisk fordeling av strømbobservasjonane ved fangstnota. I 1 m djup var dominerande transportretning (fluks) retta langs aksene NE-SW, med ein viss overvekt mot NE. I 6 m djup var dominerande retning mot SØ.



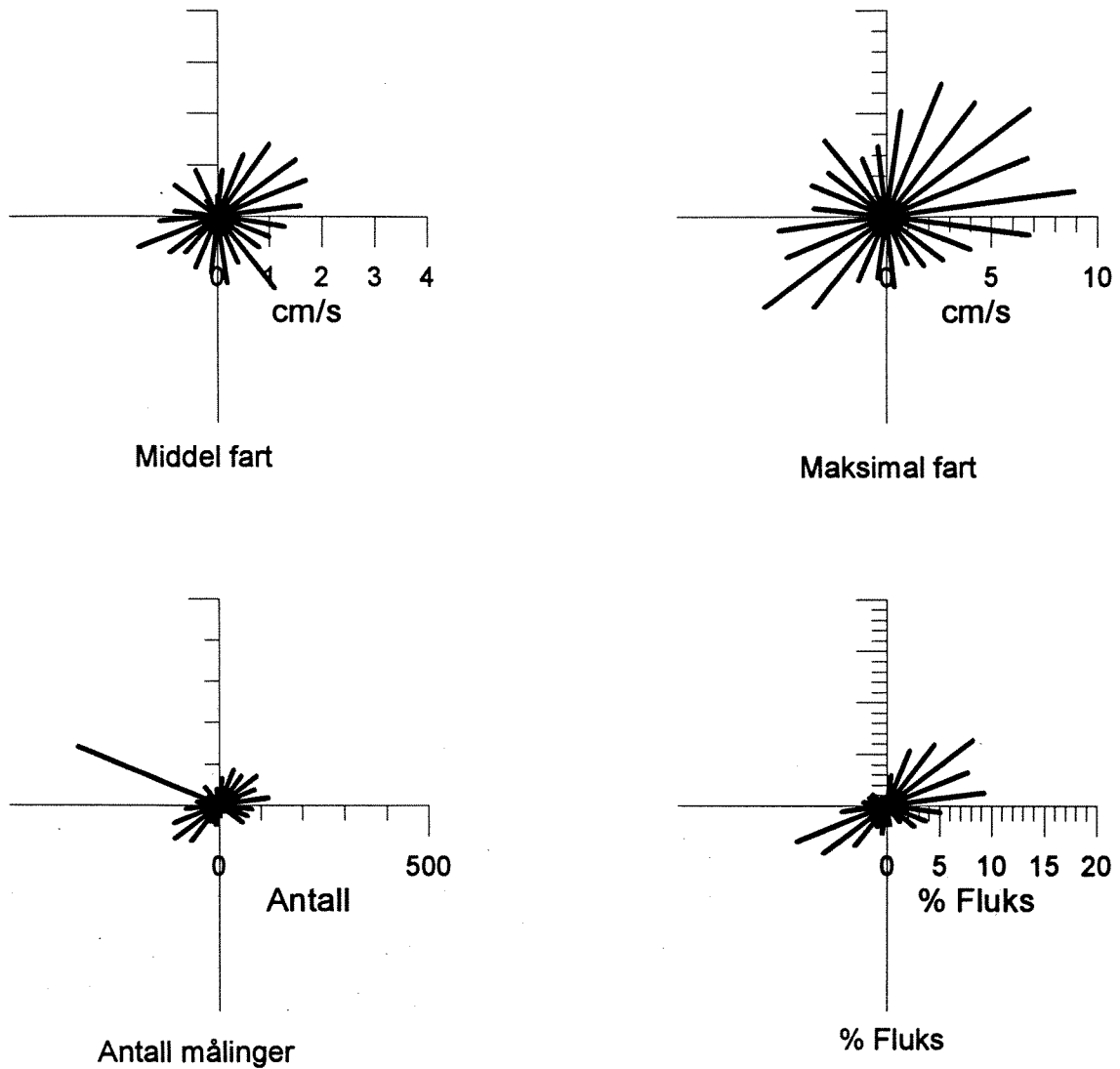
Figur 3.3. Målt strømstyrke ved den ytre fangstnota i 1 m og 6 m djup i perioden 28. juni - 16. juli 1996.





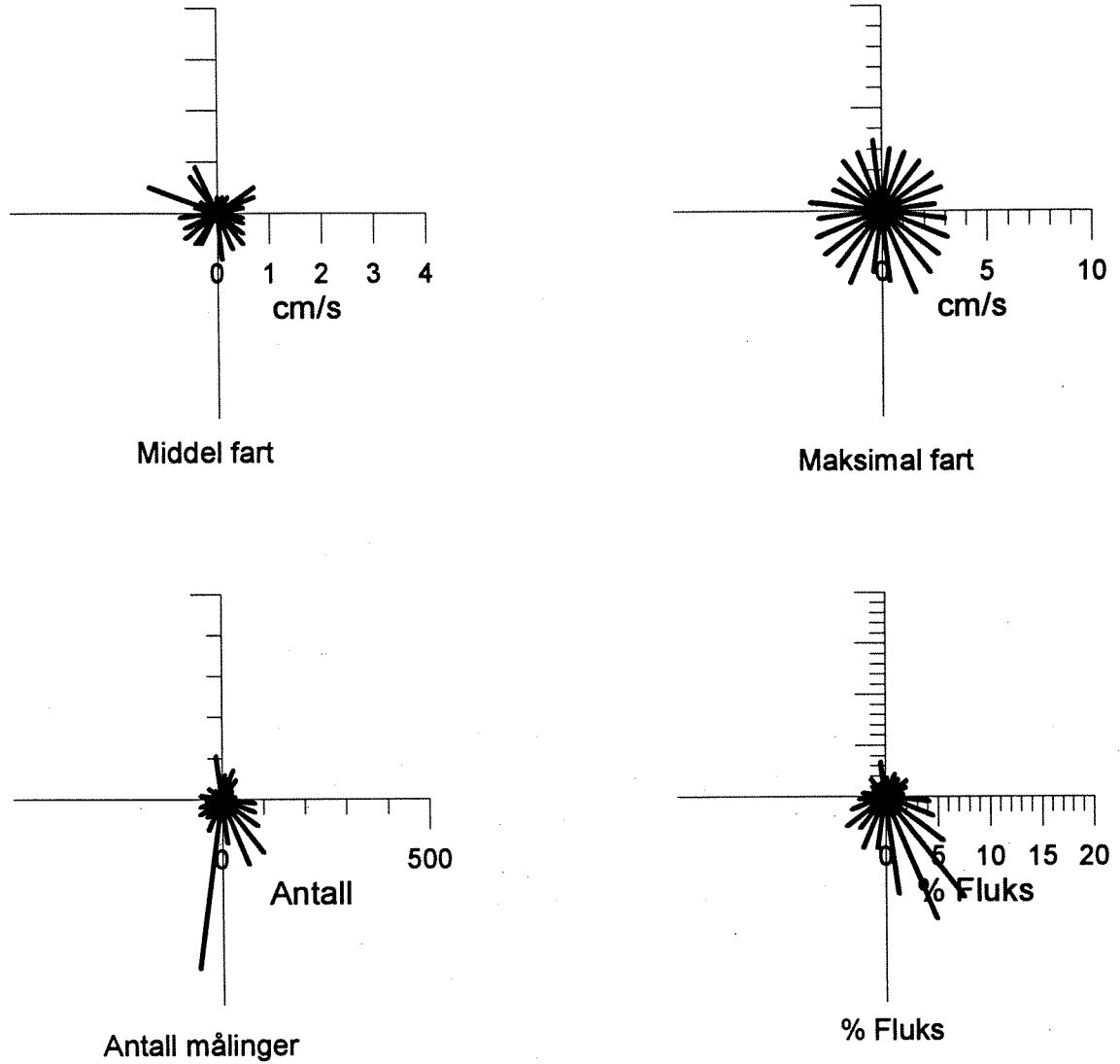
Figur 3.4. Målt strømretning ved den ytre fangstnota i 1 m og 6 m djup i perioden 28. juni - 16. juli 1996.

Strømmåling i 1 m dyp

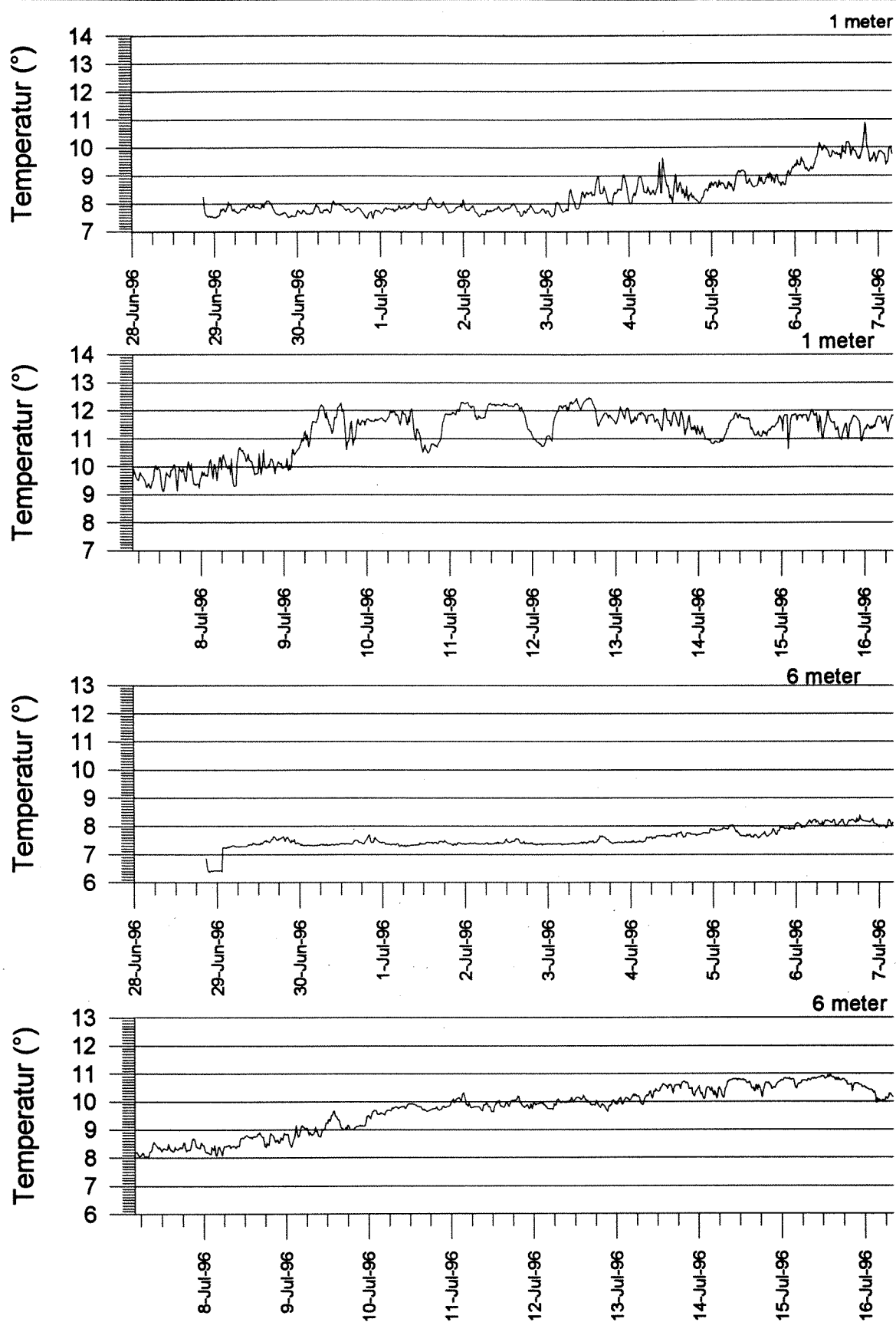


Figur 3.5. Statistisk fordeling av strømobservasjonane i 1 m djup.

Strømmåling i 6 m dyp



Figur 3.6. Statistisk fordeling av strømobservasjonane i 1 m djup.



Figur 3.7. Målt sjøtemperatur ved den ytre fangstnota i 1 m og 6 m dyp i perioden 28. juni - 16. juli 1996.

## 4. Sirkulasjonsmodellering

### 4.1 Modellen SMS/RMA-2

Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modeling System", og er eit interfaceprogram til blant anna den numeriske modellen RMA-2. Programmet SMS er laga ved Brigham Young University, - Engineering Computer Graphics Laboratory i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, og U.S. Federal Highway Administration (ECGL, 1994).

RMA-2 er ein dynamisk, todimensjonal, djupneintegrert numerisk modell med fri overflate. Modellen bereknar dei dynamiske løysingane i det numeriske gitteret ved hjelp av endelig-element (finite element) metoden.

Gruntvannslikningane i RMA-2 er Navier-Stokes likningar for bevaring av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\epsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\epsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

- x = Distanse i x-retning (positiv mot øst)
- y = Distanse i y-retning (positiv mot nord)
- u = Horisontal strøm i x-retning
- v = Horisontal strøm i y-retning
- t = Tid
- g = Tyngdens akselerasjon
- h = Vassdjup
- A<sub>0</sub> = Helling av botnen
- ρ = Væska (sjøen) sin tettheit
- ε<sub>xx</sub> = Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
- ε<sub>xy</sub> = Tangensiell turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
- ε<sub>yx</sub> = Tangensiell turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
- ε<sub>yy</sub> = Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
- C = Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
- f = Coriolis parameter

### **Input til modellen**

Modellen treng fleire typar data. Først må ein konstruere eit nettverk (grid) med diskrete punkt (dvs. data over posisjon og djup, som blir interpolerte til eit grid i SMS). Om det ikkje finns eit digitalt kartgrunnlag, må punkta leggest manuelt inn. Gridet er fleksibelt, det vil sei at ein kan sjølv velje størrelsen på dei enkelte elementa. På denne måten kan ein velje å gi gridet betre oppløysning i interessante område.

Modellen må vidare gis verdiar for dei turbulente utvekslingskoeffisientane, og for friksjonskoeffisienten Manning's  $n$ . Desse kan tileignast forskjellige verdiar i forskjellige deler av gridet. Koeffisientane varierer med botntilhøva, og er samtidig ein eigenskap ved sjølve bevegelsen. Dei er følgjeleg svært vanskelege å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelsar på koeffisientane varierer med fleire størrelsesordenar (ECGL, 1994).

Modellen må også gis dynamiske grensebetingelsar. Dette kan være tidevassvariasjon yttarst i ein fjord, eller (tidsvariable) elvetilførslar slik som for Hylen eller Suldalslågen.

Ein må også tileigne gridet ein dynamisk initialtilstand. Dette blir gjort ved å legge ein flat overflate over heile gridet i starten. Det vil si at systemet treng ein del tid ("spin up") på å finne representative løysningar.

Ved hjelp av topografiske data, grenseflatevilkåra og initialvilkåra bereknar RMA-2 løysingar for kvart tidssteg. Modellen bereknar verdiar for fart, retning og vannstand i kvart av punkta i gridet der det er lagt inn posisjon og djup.

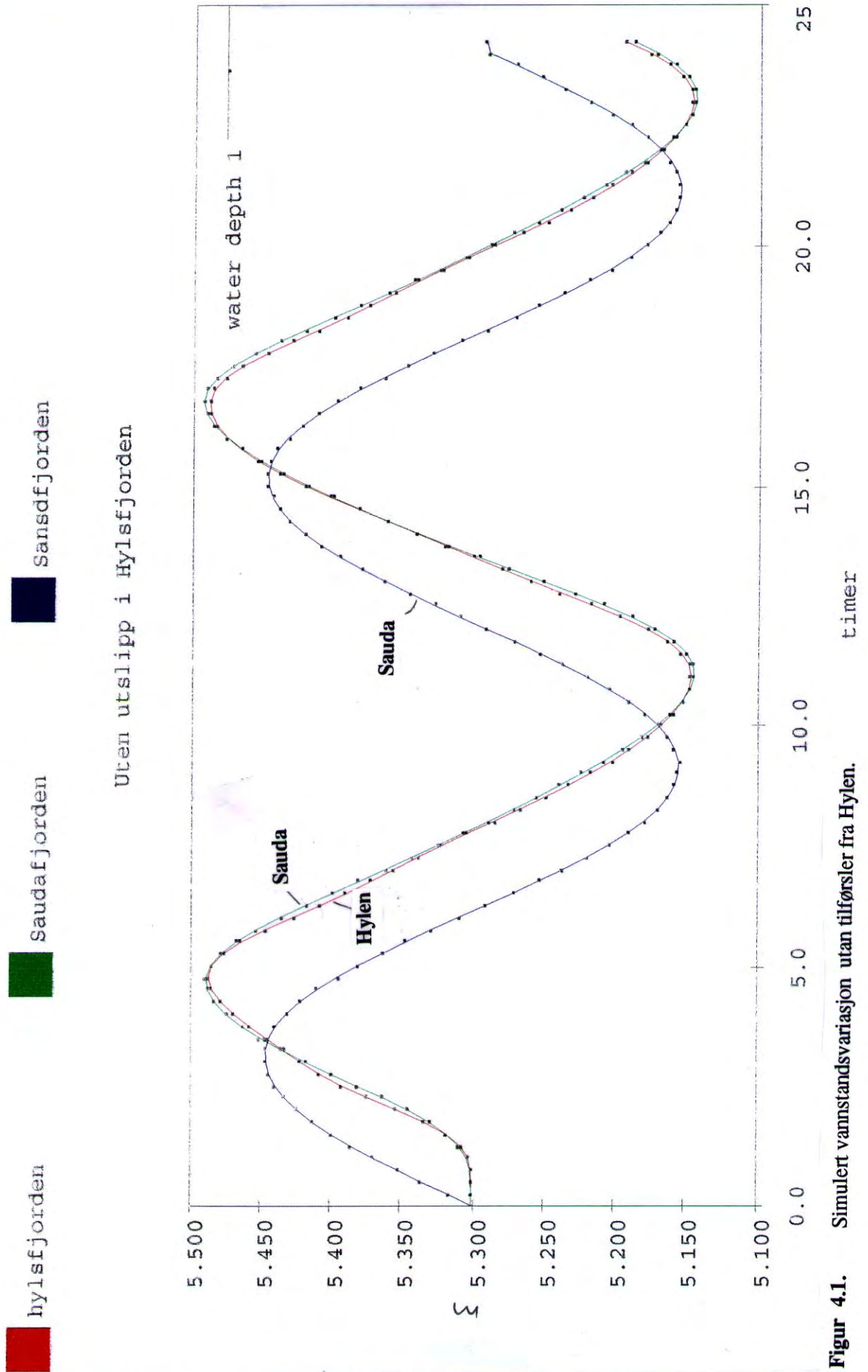
### **RMA-4 modulen**

Rma-4 modulen er spreingsdelen av modellen. Med denne kan ein simulere spreing av t.d. forureining frå elvar og ut i ein fjord eller ut i eit gruntvassområde. Denne modulen er ikkje nytta på den foreliggende problemstillinga, men ei kort orientering er likevel tatt med. Dei hydrodynamiske løysingane frå RMA-2 blir brukt til å definere eit tidsvariabelt hastighetsfelt for eit gitt nettverk. Modellen må også gis opplysningar om kor mykje stoff og kvar dette blir tilført i nettverket. Modellen bereknar så spreing av stoffet for kvart tidssteg.

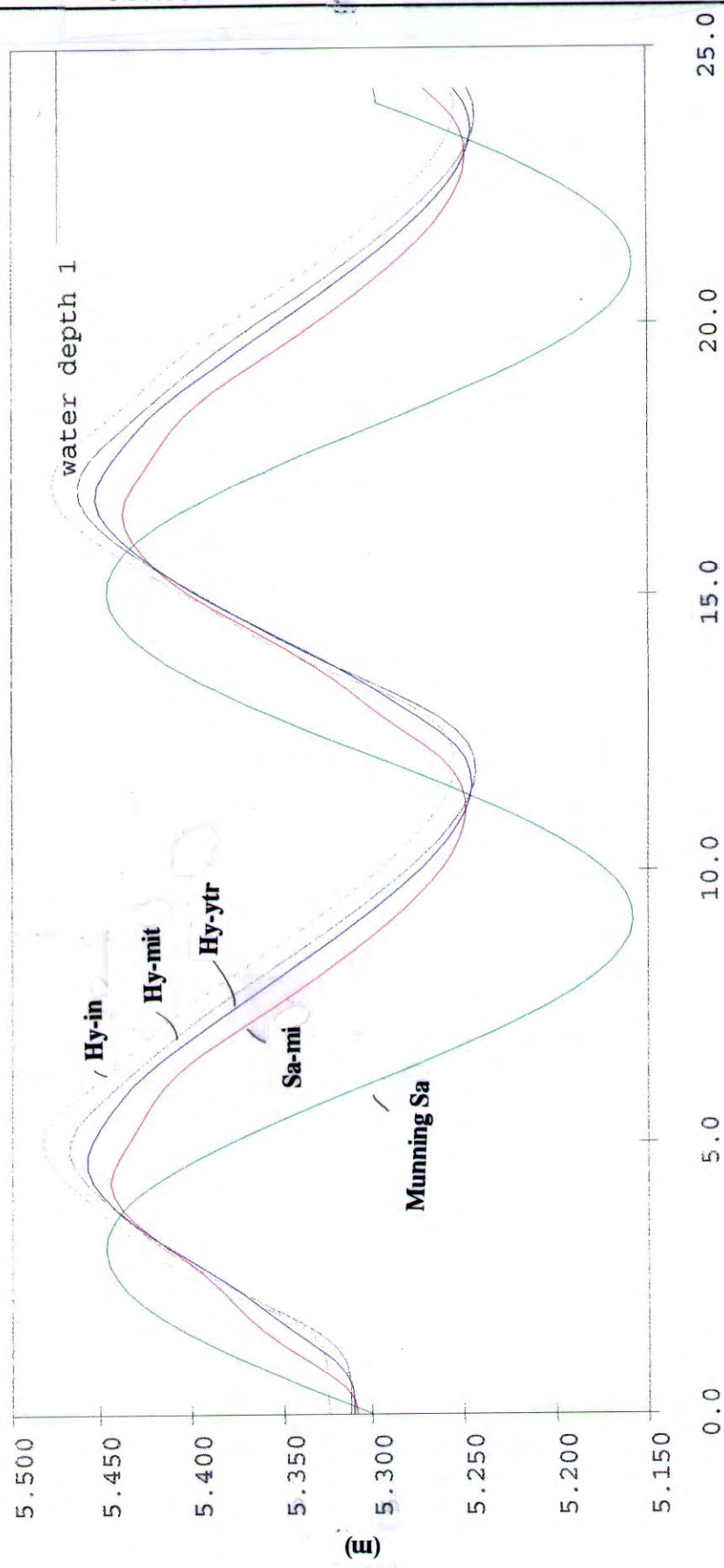
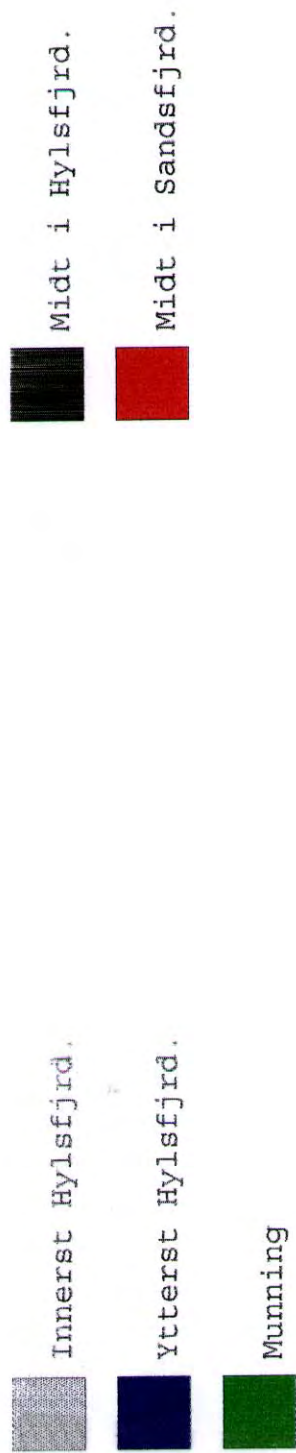
## **4.2 Nokre resultat**

Eit par simuleringar viser resultat for vannstands nivået inne i fjordsystemet. Ei køyring kun med normale tilførsler frå Sauda ( $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og Suldalslågen ( $70 \text{ m}^3/\text{s}$ ), (fig. 4.1), og ei køyring der det i tillegg er lagt inn tilførsel frå Hylen tilsvarande  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , som vist i fig. 4.2. I sistnemde simulering er vassfluksen ut frå nærsona av utsleppet i Hylen dobla (til  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ), for å simulere innblandinga av saltare vatn som skjer i nærsona, og som er av storleiksordenen 1:1.

Utan tilførsler frå Hylen står fortsatt vannstanden i Saudafjorden og Hylsfjorden gjennomgåande høgre enn i Sandsfjorden. Dette kjem dels av faseforskyving i tidevatnet for Hylsfjordens vedkomande, og av ferskvasstilførselen lokalt for Saudafjordens vedkomande. Det kan ikkje utelukkast at noko av ferskvatnet frå Sauda også går inn i Hylsfjorden.



Figur 4.1. Simulert vannstandsvariasjon utan tilførsler fra Hylen.



Figur 4.2. Simulert vannstandsvariasjon med store tilførsler (200 m<sup>3</sup>/s) frå Hylen.



Når Hylen går (fig. 4.2) med mykje vassføring, skjer det ein generell oppstuvning av vatn i fjordsystemet, og nivået inne i Sandsfjorden ligg opptil 15 cm høgare enn utanfor munningen. Dei modellerte forskjellane harmonerer med dei faktiske variasjonane som blei målt av UiB ved etterundersøkelsane (UiB, upubl. materiale). I ein viss del av tidevannsfasen (på stigande vatn) ligg Sandsfjordmunningen høgare enn fjordane innafor, slik at der i løpet av 3-4 timar 2 g. pr døgn vil vere ein inn-transport av vatn til tross for store ferskvasstilførsler. Mykje av dette vatnet vil imidlertid vere resirkulert vatn frå området utanfor munningen.

Fig. 4.3 viser simulert strømningsmønster midt i ei tidevannsperiode (fallande sjø) i Sandsfjordsystemet. Strømstyrken det er tale om i sentrale deler av Hylsfjorden, er ca 30 cm/s. Dette tilsvarer ei tid tilsvarande det som det tar frå vatnet går ut ved Hylen til det når munningen av Hylsfjorden på ca 19 timar.

Det var tendens til at det utafor neset like nord for Sand danna seg ei strømssterk sone. I visse fasar av tidevatnet strøymer vatn frå Suldalslågen rundt dette neset og inn i Hylsfjorden.

Fig. 4.4 syner resultat for simulering av strøm h.h.v. ved munningen av Hylsfjorden og Sandsfjorden, før/etter oppstart av utslepp frå Hylen ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Her har vi ikkje lagt inn tidevatn eller vind, for å forenkle simulering og tolking. Det framgår at strømmen responderer nesten momentant etter oppstart. Dette må vere ein trykk-effekt, i det trykksignalet vil forplante seg raskt utover. Strømstyrken i utløpet av Hylsfjorden er ca 6 cm/s.

Eksempelet i fig. 4.4 viser at ein må skilje mellom trykk-impulsen som er rask (bølgefart på 100 km/t eller meir) og sjølve fluksen av vatn, som er langsam, og av storleiksorden 5-30 cm/s (180 - 1000 m/time). Trykkimpulsen vil gje rask respons på strømmen ute i munningen av Hylsfjorden, mens det nye ferskvatnet frå Hylen først vil melde seg etter antydningvis 19 timar (jmfør diskusjonen omkring fig. 4.3).

### 4.3 Supplerande modellresultat frå UiB

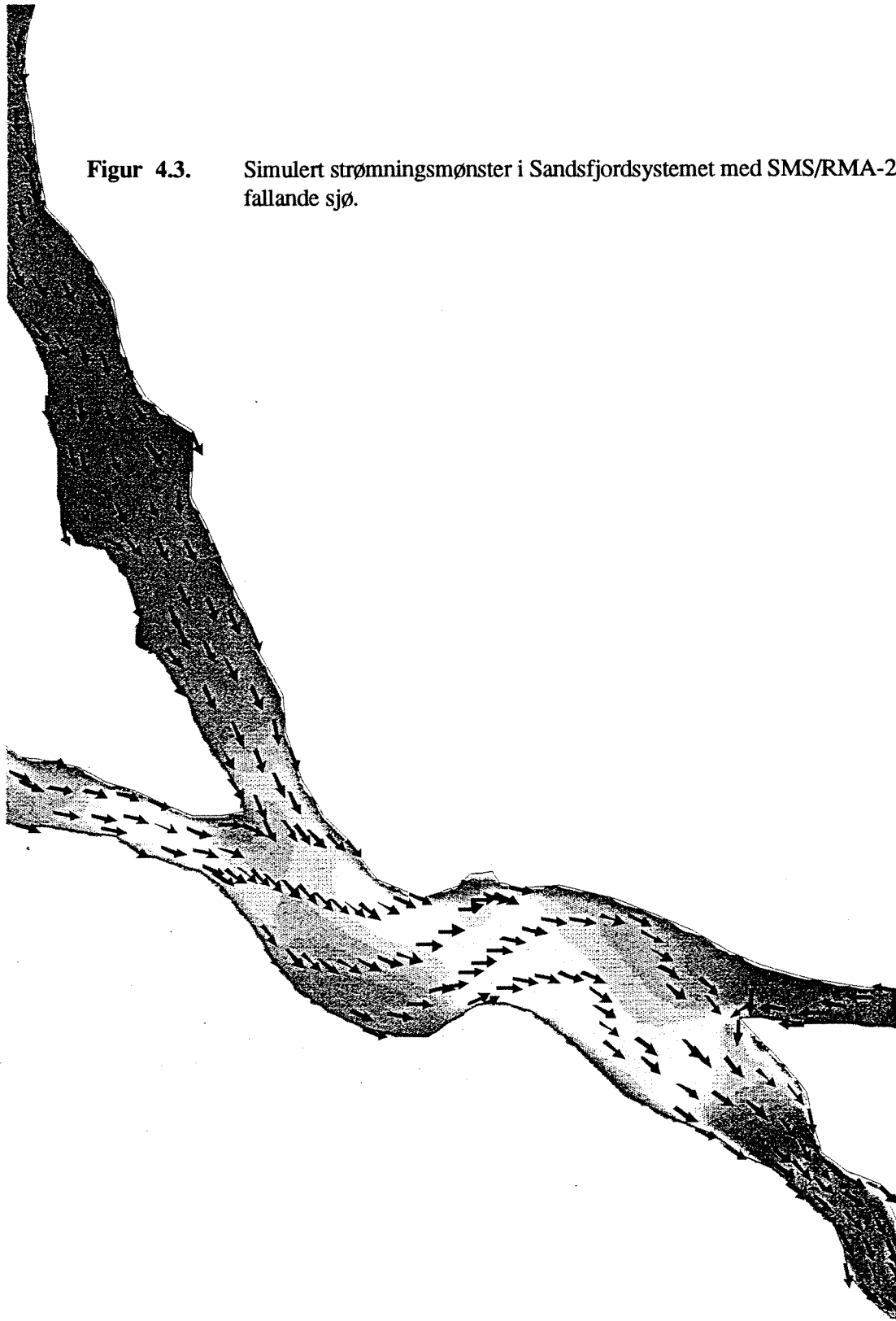
UiB v/L. Asplin har stilt til rådvelde nokre resultat frå modellkøyringar med ein 3D havmodell (ECOM3D) som er tilpassa Sandsfjordsystemet. Modellen er benytta i simuleringar angående algeoppblomstringane i 1989 (Asplin og Aksnes 1995). Ulempa med denne modellen er som nemnt tidlegare den relativt grove oppløysinga horisontalt ( $500 \times 500 \text{ m}$ , seinare redusert til  $250 \times 250 \text{ m}$ ). Som i NIVAs køyringar er det benytta "flat botn", men ECOM3D modellen har til gjengjeld vertikal oppløysing (lagdeling).

Fig. 4.5 viser resultat av køyringar ca 1 døgn etter oppstart i Hylen ( $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Den utgåande strømmen har etter 24 timar nådd til 2-3 km frå munningen av Hylsfjorden. Tilsynelatande blir det der danna ein strømfrent i dette området, der innstrøymande vatn frå Suldalslågen også gjer seg gjeldande. Dette er også observert (målt) tidlegare (Golmen et al. 1989).

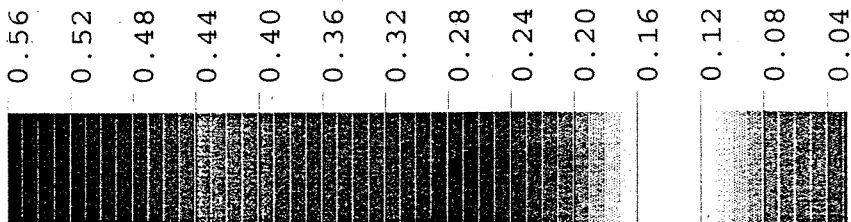
Ved svært store utslepp i Hylen ( $4-600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) har ein tidlegare observert at den utgåande strømmen ikkje går i overflata, men følgjer eit sjikt frå 2-3 m og ned til 6-8 m djup (Johnsen et al., 1989).  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  utslepp som er simulert av UiB, er neppe tilstrekkeleg til at denne spesielle effekten oppstår.

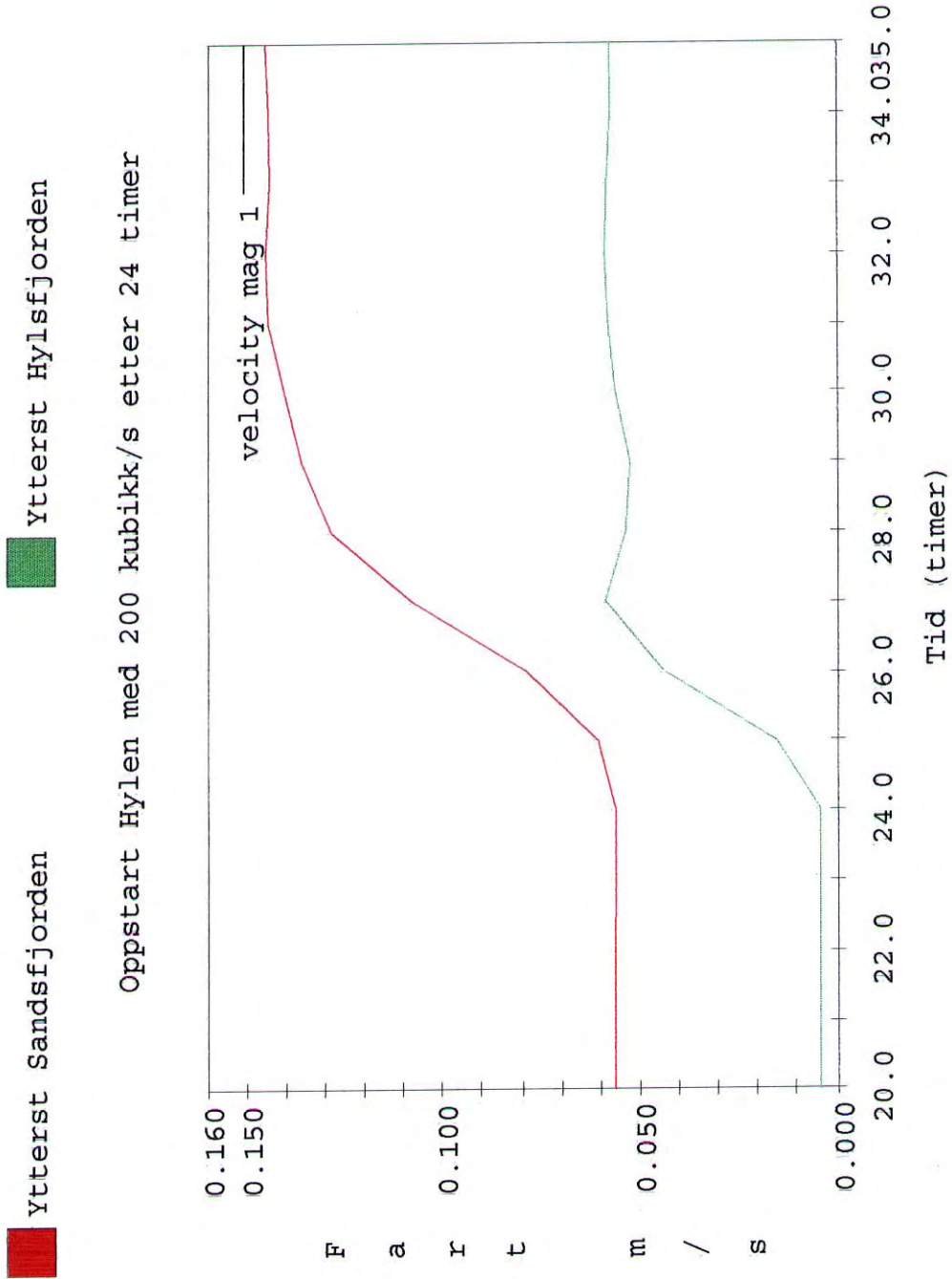
Fig. 4.6 viser tilsvarande resultat for overflatestrøm 4 døgn etter oppstart i Hylen. Eit generelt sett utoverretta strømningsmønster i Hylsfjorden er nå etablert, men fortsatt kan ein sjå noko vatn frå Suldalslågen som "lurer" seg forbi og eit stykke innover langs vestsida av Hylsfjorden.

**Figur 4.3.** Simulert strømningsmønster i Sandsfjordsystemet med SMS/RMA-2 modellen ved fallande sjø.

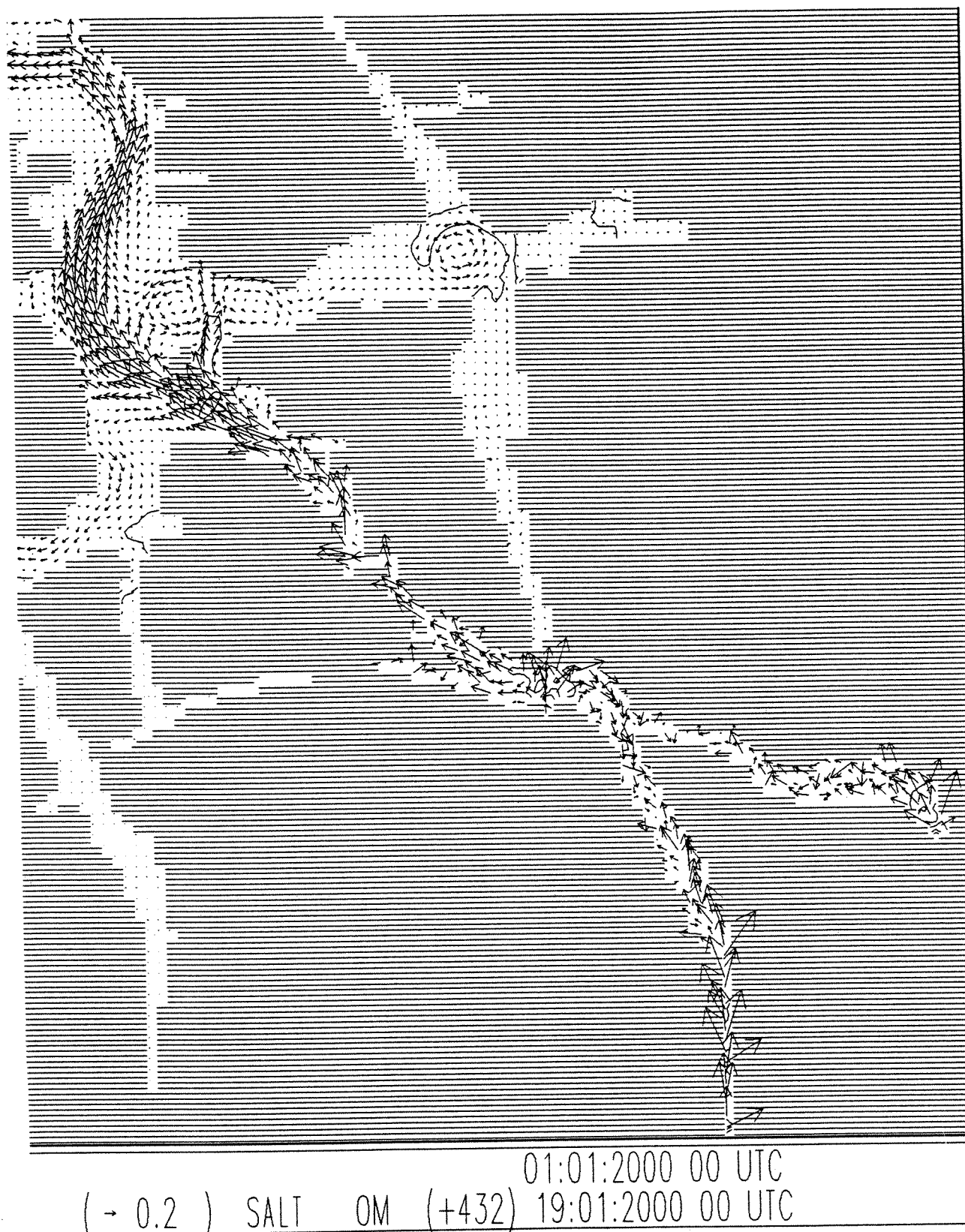


Hast, m/s

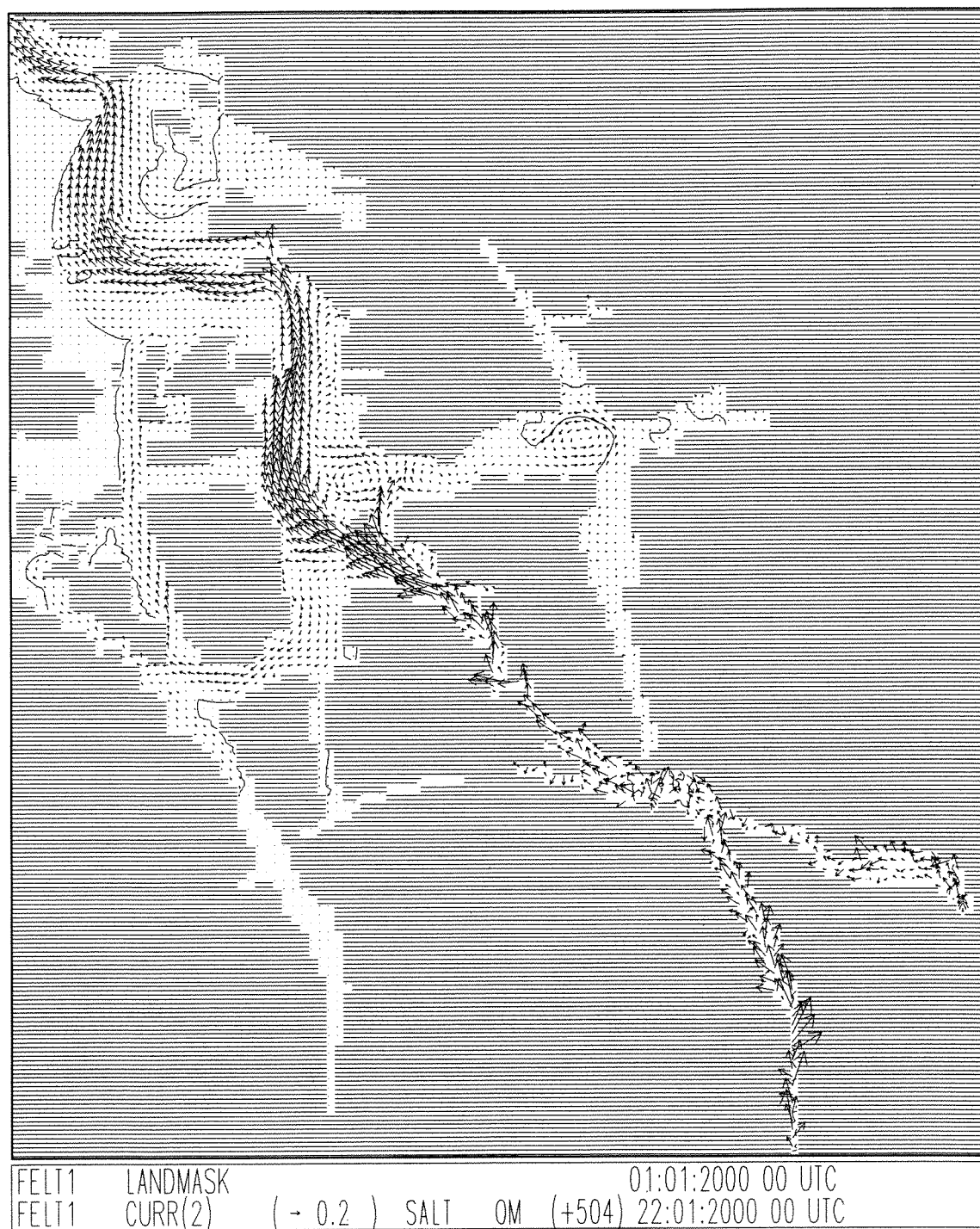




**Fig. 4.4.** Simulert strømfart med SMS/RMA-2 modellen ved munning av Hylsfjorden og Sandsfjorden, utan vind og tidevam. Hylen blir starta etter 24 timar.



**Figur 4.5.** Simulert overflatestrøm med ECOM3D modellen 1 døgn etter oppstart Hylen.  
Kjelde: L. Asplin, UiB.



**Figur 4.6.** Simulert strømningsmønster med ECOM3D modellen 4 døgn etter oppstart Hylen.  
Kjelde: L. Asplin, UiB.

## 5. Satellittdata

Satellittscenene basert på SAR data og som er bearbeida av Nansensenteret, blir her presentert summarisk. Nansensenteret har sendt separat rapport til Statkraft ang. metodikk og resultat. Det er ikkje foretatt inngående korrelasjonsanalyser i forhold til vind og annan meteorologi.

Fig. 4.7 viser resultat for overflatestrukturen som målt 6. juli 1996 kl 12.40 lokal tid. Dette var midt i ein periode med kjøring av Hylen. Denne dagen var det i Sauda vindstille om dagen, og litt vestavind på kvelden vindstille i følgje opplysningar frå Statkraft Engineering. Vindobservasjonar frå Hylsfjorden/Sandsfjorden har vi imidlertid ikkje.

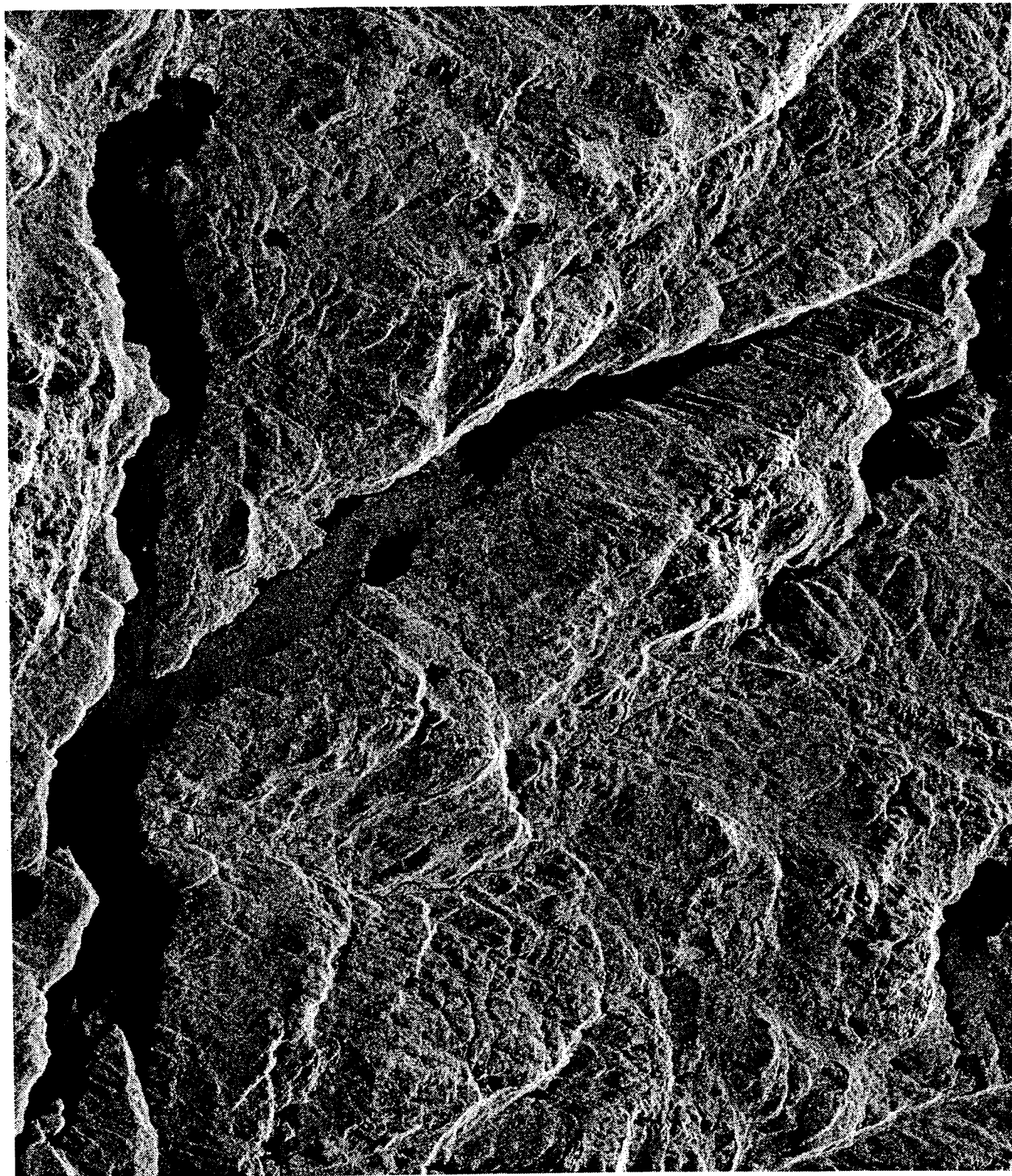
Det framtrer i fig. 4.7 ei sone frå munningen av Hylsfjorden og innover til ca midtvegs der bølgiene er meir merkbare (lyse felt). Sjølv svak vind vil kunne danne små bølger som viser seg i SAR-biletet. Slik bølgedanning vil også avhenge av strømfeltet (vind medstrøms/motstrøms) og evt. av strømskjær og sjikting nær overflata. Den observerte overgangssona i ytre del av Hylsfjorden stemmer godt overeins med strøm-simuleringane, og antyder dermed ei reell kopling mellom strømfeltet og det som satellittbildet viser, sjølv om mekanismene bak satellittsignala er uklare.

Fig 4.8 viser data frå samme tidspunkt som over, men for munningsområdet til Sandsfjorden og utover mot Boknafjorden. Overgangssona frå mørkt til lyst i Sandsfjordmunningen ligg der ein ofte observerer brakkvannsfronten (Svendsen et al. 1991). Vinden ute i Boknafjorden gir tydeleg signal i bølgerrefleksen. I Vindafjord f.eks. framtrer tydelege vind-striper og overgangar til soner utan vind-effekt. Slike striper og soner framtrer ofte i SAR bilete (Forget og Broche 1996, Romano 1996).

Fig. 4.9 viser SAR bilete frå 3. oktober 1996, kl 10.44 UTC (11.44 lokal/norsk tid). Dette var også midt i ein periode med kjøring av Hylen (ca 100 m<sup>3</sup>/s). I Sauda var det denne dagen vindstille i følgje opplysningar frå Statkraft Engineering. I Sandsfjorden ser ein nå meir refleksjonar enn 6. juli.

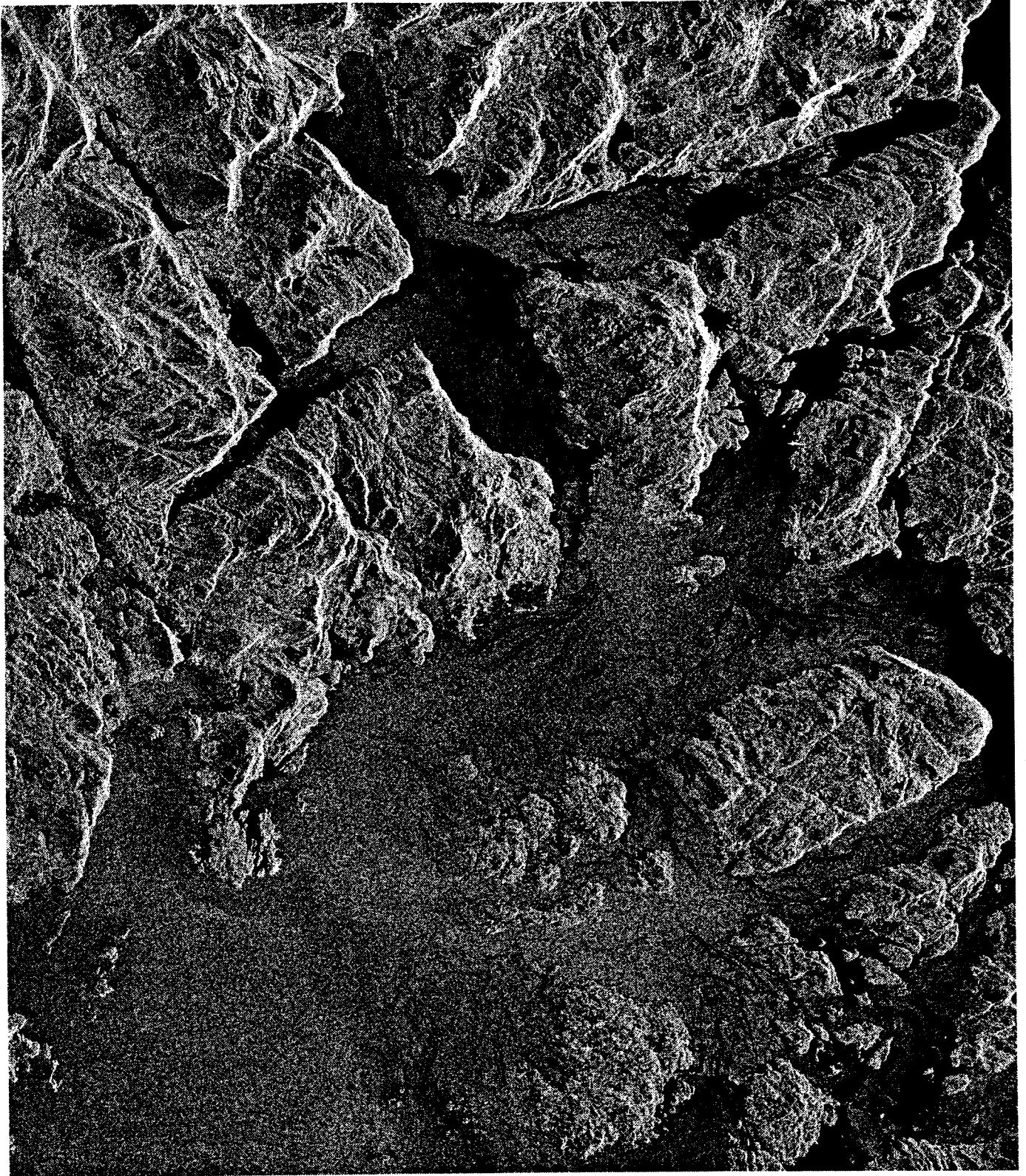
Dersom ein forutset at vindtilhøva har ein avgjerande innverknad på observert struktur i bileta, antyder dette ulike tilhøve 3. oktober i høve til 6. juli. Uansett tolking av dette, opptrer det også 3. oktober ein overgangssone i munningen av Hylsfjorden, som kan skuldast strømkonvergens og skarp endring i strømbiletet der.

## Utsnitt 2. Sandsfjorden, Saudafjorden og Hylsfjorden



**Figur 4.7.** SAR-bilete frå 6. juli 1996, kl 10.40 UTC (12.40 lokal tid).

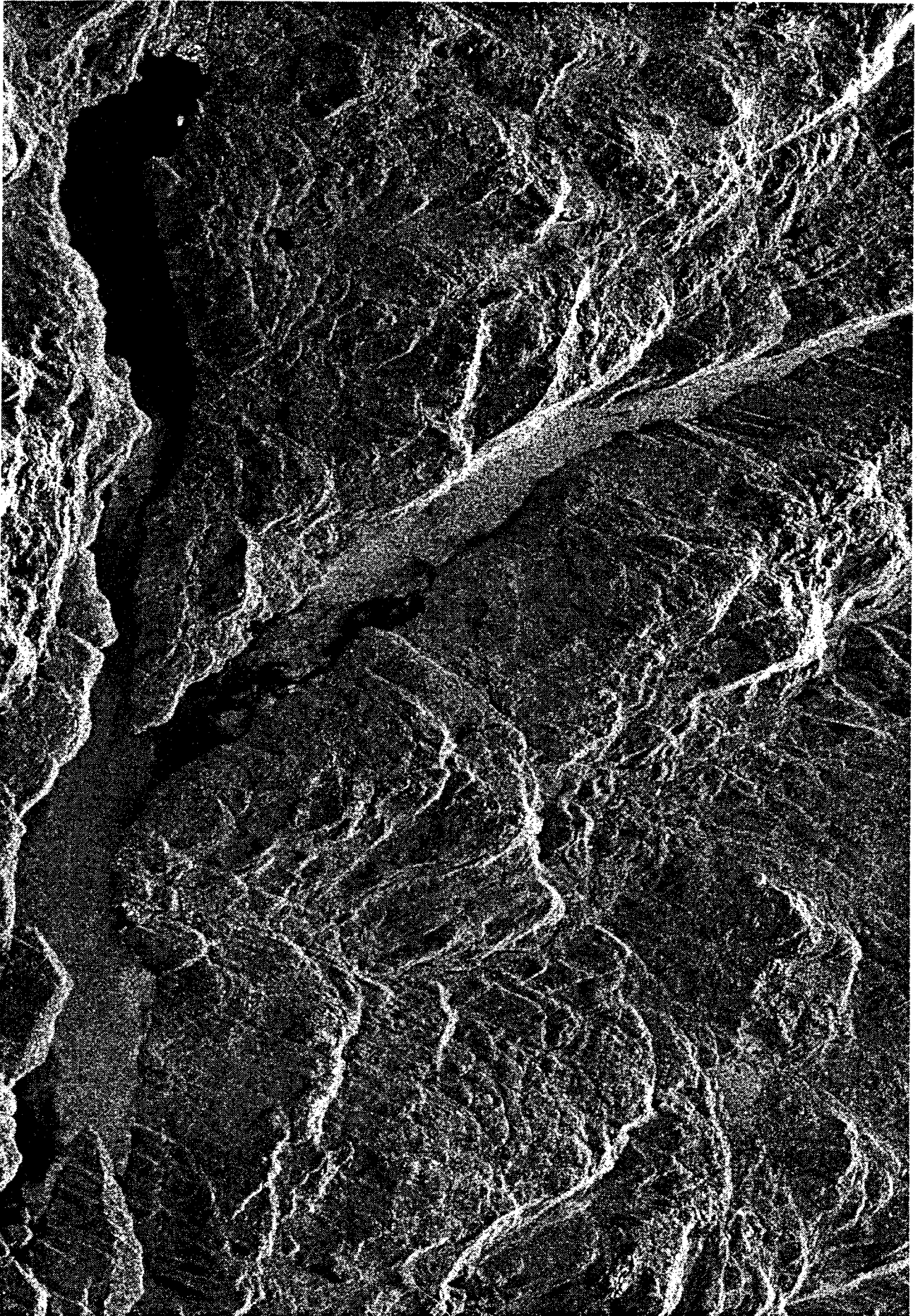
## Utsnitt 1. Vindafjorden, Sandsfjorden og Boknafjorden



**Figur 4.8.** Satellittdata frå 6. juli 1996.



7. Sandsfjorden, Hylsfjorden 3. okt. 96.



## 6. Diskusjon

NIVAs prosjekt saman med Nansensenterets leveransar var meint som eit supplement til dei biologiske forsøka til Statkraft/NINA sommaren 1996. For å få utnytta all innsamla informasjon fullt ut er det i den samanheng behov for å få kopla resultata frå dei biologiske forsøka med foreliggende materiale. Vi har heller ikkje gått særleg langt når det gjeld tolking av måleresultata. Mellom anna bør ein ved vidare analyse av satellittbileta få korrelert spesielt mot vinddata.

Satellittbileta syner interessante strukturar, i soner i Hylsfjorden der ein tidlegare har observert linseforma strukturar og andre fenomen i øvre lag. Saman med data frå andre sensorar/satellittar (TM sensoren) som gir farge, overflatetemperatur etc, ville ein ha eit betre utgangspunkt for å dokumentere strømningsmønsteret på dei aktuelle dagane. Ulempa med SAR er den lange repetisjonstida (ca 17 døgn). Ein burde ha fått utført særskilde eksperiment spesielt for SAR instrumentet og bruk av dette i fjordar spesielt. Ein grundigare litteraturgjennomgang ville også kunne gitt vurderingane meir substans.

Strømmålingane i ytre del av Sandsfjorden ga tilsynelatande god respons på oppstart i Hylen, og nyttig informasjon på responstida i systemet. På grunn av det kortvarige eksperimentet med desse instrumenta fekk ein imidlertid ikkje dekt meir enn ein oppstartsperiode. Målingane indikerer ein responstid på ca 2 døgn i forhold til oppstart Hylen. Dette harmonerer bra med tidlegare modellresultat utført av UiB (Lie et al. 1992) som synte ei responstid på 1,5 døgn. Igjen vil det vere variasjon i forhold til faktiske tilrenningstal, og vind, vannstand og andre faktorar vil også spele inn.

I prinsippet kunne ein ved framtidige laksevandringsforsøk plassere strømmålarar ved utløpet av Hylsfjorden også, for å få verifisert responstida der i forhold til oppstart i Hylen. Ved UiB sine etterundersøkjingar blei det målt strøm ca 2/3-dels veg utover i Hylsfjorden, og ein fann då ei responstid på anslagsvis 10 timar der. Om ein samanliknar dette med NIVAs modell-resultat for munningen av Hylsfjorden (18-19 timar), er det eit rimeleg godt samsvar når en tar i betraktning forskjellane i tilførselsdata og den usikkerhet som modellberegningar trass alt gir.

Simuleringane av strøm peikar imidlertid på at ein etter oppstart av Hylen må skilje mellom trykkindusert strømsignal i fjordmunningen, som kjem raskt (1-2 time etter), og eit transport-relatert signal, som gjerne kjem 10-20 timar seinare, avhengig av tilførsler.

Ved framtidige forsøk vil også bruk av drivbøyer inne i Hylsfjorden, evt. også i Sandsfjorden kunne gi nyttig kunnskap om strøm og responstider, bakevjer etc. Slike drivbøyer kan forsynast med radiosendar og dataloggar på land (evt. GPS mottakar m/logging på bøya), slik at ein ikkje treng konstant påpassing frå folk.

## 7. REFERANSAR

Asplin, L. og D. Aksnes (1995): Simulering av ferskvannsavrenning og primærproduksjon i juli-august 1989 i Hylsfjord-Sandsfjord systemet. Foreløpig notat, IFM/UiB, 5s.

ECGL 1994: SMS Surface Water Modeling System. RMA2/RMA4 Hydrodynamic modelling primer. Brigham Young University, Utah, USA.

Forget, P. og P. Broche 1996: Slicks, waves and fronts observed in a sea coastal area by an X-band airborne Synthetic Aperture radar. *Remot. Sents. Environ.* Vol. 57, 1-12.

Golmen, L. G., H. Svendsen og S. Mikki (1989): Straumtilhøve og vassutskifting i Sandsfjorden og Hylsfjorden i Ryfylke. *Norsk Fiskeoppdrett* (14), Nr 11, 58-60.

Johnsen, T. M., S. Kaartvedt og D. Aksnes (1989): Identifikasjon og tidlige observasjoner av Prymnesium Parvum blomstringen i Ryfylkefjordene juli-august 1989. Rapp nr. 15/1989, IFM, UiB, 19 s.

Lie, U. et al. 1992: Vannkraft og fjorder. Fysiske og biologiske konsekvenser av Ulla-Førre utbyggingen. SMR-rapport 4/92.

Romano, J.C. 1996: Sea-surface slick occurrence in the open sea in relation to wind speed. *Deep Sea Res.*, Vol. 43, No. 4, 411-423.

Svendsen, H., S. Mikki og L. G. Golmen 1991: Frontal dynamics and circulation of the upper layer of a fjord system with complicated topography. *Proceedings, ASCE Int. conference, Tampa, Florida Nov. 1991*, 252-267.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3628-97

ISBN 82-577-3186-2