

O-94188

## Sentrum nord, Eidsvåg hoved- avløps- anlegg

Vurdering av  
vannutskifting  
ved alternative  
utslippslokaliteter

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-94188	Undemr:
Løpenr.: 3 2 9 3	Begr. distrib.: Nei

<b>Hovedkontor</b> Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

<b>Rapportens tittel:</b> <b>SENTRUM NORD / EIDSVÅG HOVEDAVLØPSANLEGG. VURDERING AV VANNUTSKIFTING VED ALTERNATIVE UTSLIPPSLOKALITETER</b>	<b>Dato:</b> Juni 1995 <b>Trykket:</b> NIVA 1995
<b>Forfatter(e):</b> Lars G. Golmen, NIVA-Vest Jarle Molvær, NIVA-Oslo Kai Sørensen, NIVA-Oslo	<b>Faggruppe:</b> Hydrol./oseanografiske modeller
	<b>Geografisk område:</b> Bergen, Hordaland
	<b>Antall sider:</b> ca 70 <b>Opplag:</b>

<b>Oppdragsgiver:</b> Bergen kommune, avd. Teknisk utbygging, Vann og avløpsseksjonen Postboks 805, 5002 Bergen.	<b>Oppdragsg. ref.:</b> Sverre Ottesen, Magnar Sekse
--	--

Ekstrakt: Bergen kommune skal samle alle eksisterende kommunale utslipp på strekningen Sentrum-Eidsvåg og lede disse gjennom renseanlegg ut i Byfjorden gjennom ett, eventuelt to dykkede hovedutslipp. Det foreligger tre alternative utslippslokaliteter: Sandviksflaket, Breiviken og Eidsvågsneset. Denne rapporten omhandler vurderinger som er gjort angående strømforhold og spredningsbetingelser på de tre lokalitetene. Vurderingene er gjort på grunnlag av et omfattende måleprogram for strøm og hydrografi i perioden oktober 1994-april 1995, samt eksisterende hydrografidata og Landsat-5 satellittbilder. Videre er det utført modellberegninger for innlagring og spredning med NIVAs modell JETMIX og US EPA sin modell PLUMES. Hovedkonklusjonene er at Sandviksflaket har ugunstige strømforhold med hyppig forekommende stagnasjon og bakevjer, som gjør denne lokaliteten lite egnet som resipient for et stort utslipp. Breiviken og Eidsvågsneset har begge gode strømforhold og spredningsbetingelser. Det knytter seg visse spørsmål til lokaliteten Eidsvågsneset angående mulighet for innstrømming til Eidsvåg, og til eksistensen av en observert virvel vest eller nordvest for Eidsvågsneset. På grunn av dette, vurderes Breiviken som den gunstigste lokaliteten av de tre for et framtidig utslipp, og Eidsvågsneset som nr. to.

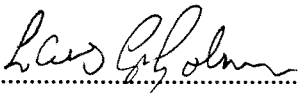
4 emneord, norske

1. Byfjorden, Bergen
2. Kommunale utslipp
3. Strømforhold
4. Modellberegninger

4 emneord, engelske

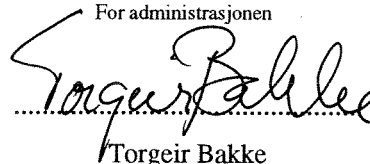
1. The Byfjord, Bergen
2. Municipal effluent discharges
3. Currents
4. Model computations

Prosjektleder



Lars G. Golmen

For administrasjonen



Torgeir Bakke

ISBN-82-577-2817-9

**O-94188**

**SENTRUM NORD / EIDSVÅG  
HOVEDAVLØPSANLEGG**

**VURDERING AV VANNUTSKIFTING  
VED ALTERNATIVE UTSLIPPSLOKALITETER**

**Bergen, juni 1995**

<b>Lars G. Golmen</b>	<b>prosjektleder/forfatter</b>
<b>Jarle Molvær</b>	<b>medforfatter</b>
<b>Kai Sørensen</b>	<b>medforfatter</b>
<b>Torbjørn M. Johnsen</b>	<b>medarbeider</b>
<b>Inger Midttun</b>	<b>medarbeider</b>
<b>Terje Hopen</b>	<b>medarbeider</b>
<b>Einar Nygaard</b>	<b>medarbeider</b>
<b>Lars H. Smedsrud</b>	<b>medarbeider</b>

# FORORD

*Bergen kommune, ved avd. teknisk utbygging, er i gang med planlegging av nytt hovedavløpsanlegg for nordre deler av Bergen Sentrum og Eidsvåg. Anlegget skal avskjære alle eksisterende kloakkutslipp på strekningen fra Nordnes til bunnen av Eidsvågen, og ledes gjennom ett, evt. to samlede utslipp til Byfjorden, via rensesanlegg.*

*Planleggingsarbeidet medførte behov for å framskaffe data angående strømforhold og vannutskifting ved de aktuelle utslippslokalitetene, samt å få utført tekniske beregninger for ulike utslippsalternativer. Etter en anbudsrunde fikk NIVA i slutten av august 1994 oppdraget med å utføre disse oppgavene. Prosjektet kom i gang i september 1994, med forstudier og planlegging.*

*I løpet av prosjektperioden har det vært løpende kontakt med Kommunalavdeling teknisk utbygging, Vann- og avløpsseksjonen, ved Sverre Ottesen, Magnar Sekse og Hogne Hjelle. Takk til disse for all informasjon som er gitt underveis, inkludert de eksisterende hydrografidataene som blei stilt til disposisjon, med velvillig bistand fra Helge Botnen ved IFM, Universitetet i Bergen. En del foreløpige resultater fra prosjektet har forøvrig blitt framlagt på møter undervegs.*

*Leon Pedersen fra Askøy med M/B "Solvik" stod for utmerket innsats og service under de forskjellige toktene. På NIVA har mange personer deltatt å prosjektet. Spesiell takk til Jarle Molvær og Kai Sørensen for faglige bidrag, samt til Terje Hopen og Inger Midtun for bidrag med EDB og rapport-sammensying.*

*NIVA-Vest, mai/juni 1995*

*Lars G. Golmen  
prosjektleder*

# INNHold

<b>FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>RAPPORTSAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>5</b>
1.1. BAKGRUNN OG FORMÅL .....	5
1.2. PROBLEMSTILLINGER .....	5
1.3. UTSLIPPSALTERNATIVENE .....	8
1.4. BESKRIVELSE AV BYFJORDEN .....	8
1.5. EKSISTERENDE DATA FRA BYFJORDEN.....	8
<b>2. MÅLEPROGRAMMET</b> .....	<b>11</b>
2.1. STRØMMÅLINGER, FASTE RIGGER .....	11
2.2. ADCP MÅLING .....	11
2.3. HYDROGRAFI.....	11
2.4. SATELLITT-BILDER.....	12
2.5. ANDRE MÅLINGER.....	13
<b>3. MÅLERESULTAT</b> .....	<b>14</b>
3.1. METEOROLOGI.....	14
3.2. HYDROGRAFI.....	14
3.2.1. Vertikal-profiler.....	14
3.2.2. Tidsserier .....	14
3.3. STRØM .....	21
3.3.1. Målingene i 10 m og 20 m dyp .....	21
3.3.2. ADCP-målinger .....	21
3.3.3. Strømkorsmålinger .....	22
3.3.4. Oppsummerende kommentarer for strøm.....	22
3.4. SATELLITT-BILDER.....	26
<b>4. MODELLBEREGNINGER</b> .....	<b>33</b>
4.1. FORMÅL .....	33
4.2. METODIKK.....	33
4.3. DATA .....	34
4.4. RESULTATER.....	35
<b>5. SAMMENFATTENDE KONKLUSJONER</b> .....	<b>39</b>
5.1. PROSJEKTSTRATEGI.....	39
5.2. GENERELT OM RESIPIENTEN.....	39
5.3. MODELLBEREGNINGENE.....	40
5.4. STRØM OG VANNUTSKIFTING .....	40
<b>LITTERATUR</b> .....	<b>43</b>
<b>VEDLEGG 1. DATOER FOR VERTIKALPROFILER BRUKT I MODELLBEREGNINGENE</b> ....	<b>44</b>
<b>VEDLEGG 2. RESULTATER FRA STRØMMÅLINGENE</b> .....	<b>45</b>

# RAPPORTSAMMENDRAG

Bergen kommune skal innen år 2000 samle eksisterende kommunale utslipp på strekningen Bergensen-  
sentrum til Eidsvåg til ett eller eventuelt to utslipp gjennom renseanlegg til Byfjorden. Det foreligger tre  
alternative lokaliteter for framtidig utslipp i ca 40 m dyp: Sandviksflaket, Breiviken og Eidsvågneset.

På oppdrag fra kommunen har NIVA foretatt vurderinger av strømforholdene og utført modellberegninger  
for spredningsbetingelsene for avløpsvann på de tre lokalitetene. Disse vurderingene og beregningene er  
basert på et relativt omfattende måleprogram fra oktober 1994 til april 1995.

Måleprogrammet omfattet kontinuerlige strømmålinger i 10 m og 20 m dyp i to tre-ukers perioder høst og  
vinter på hver lokalitet. Videre blei det tatt hydrografiske profiler på de tre lokalitetene med 1-2 ukers  
mellomrom, og utført strømkorsundersøkelser ved flere ulike tidspunkt. Eksisterende data er også benyttet,  
blant annet hydrografiske data fra Byfjorden innsamlet i regi av Universitetet i Bergen, og  
fjernmålingsdata for Byfjorden fra Landsat-5 satellitten.

US EPA sin PLUMES modell og NIVAs JETMIX modell er benyttet for å beregne innlagingsdyp og  
spredning/fortynning i resipienten, på basis av 46 ulike hydrografiske profiler, og utslipp i 40 m dyp,  
bestående av inntil tre utslippsledninger med samlet vannfluks på inntil 1200 l/s. Resultatene synte at  
innlagring skjer i 20-25 m dyp i de aller fleste tilfeller, men med en viss risiko for opptrenging til nær  
overflaten ved enkelte situasjoner med svak sjikting og svak strøm om vinteren.

Strømmålingene viste at Sandviksflaket hadde relativt svak middelstrøm, med vekslende strømretning og  
hyppig forekommende bakevjer. Ved Breiviken og Eidsvågneset var det gode strømforhold.  
Hovedstrømretningen var mot nord eller nordvest, med få innslag av sørgående strøm. Dette gir gunstige  
betingelser for spredning og fortynning av avløpsvann for begge disse lokalitetene.

For alternativet Eidsvågneset knytter det seg visse ubesvarte spørsmål til mulighet for en innstrømming  
av framtidig innlagret utslippsvann til Eidsvågen, og til eksistensen av en mot-urs virvel vest- og nord for  
Eidsvågneset som satellittbildene viser. Disse faktorene, samt litt større innslag av sørgående strøm der  
enn ved Breiviken, gjør at Breiviken vurderes om gunstigste lokalitet for et framtidig utslipp, og  
Eidsvågneset som nr. 2. Sandviksflaket ansees som minst gunstige alternativ på grunn av  
strømforholdene.



# 1. INNLEDNING

I dette kapittelet gis det en kortfattet redegjørelse om aktuelle problemstillinger og om bakgrunnen for de undersøkelserne som NIVA har gjennomført i samband med planleggingen av det nye hovedavløpet for Sentrum Nord/Eidsvåg i Bergen.

## 1.1. Bakgrunn og formål

Eksisterende kloakkutslipp på strekningen Nordnes til Eidsvåg i Bergen skal avskjæres og via renseanlegg samles i ett eller evt. to hovedutslipp. Saneringen skal være ferdig innen år 2000. I gjeldende rammeplan for avløpsdisponering fra 1988 er det lagt opp til bygging av separate renseanlegg og utslipp fra Sentrum Nord og Eidsvåg, med mekanisk rensing.

I SFTs utslippstillatelse er kravene til rensing uttrykt slik at pålegg om kjemisk rensing kan bli gitt i framtida. Derfor må nye renseanlegg tilrettelegges for slik rensing, noe som bl.a. medfører ekstra rom/plass-behov.

Det foreligger tre aktuelle utslippssteder: Sandviksflaket, Breiviken og Eidsvågsneset (fig. 1.1 og 1.2). Endelig valg av utslippssted skal foretas i løpet av 1995.

Grunnlaget for valg av utslippssted vil bl.a. være kunnskap om resipientforholdene på de aktuelle utslippsstedene. Bergen kommune ba i den sammenheng om konsulentbistand for å få undersøkt strøm og spredningsforhold på de tre stedene. Hovedmålsettingen med undersøkelsene var å få grunnlag for å bestemme gunstigste sted for utslipp. D.v.s. både sted og dyp. Stedsvalget er en viktig beslutning, som påvirker kommunens videre planarbeid, utbyggingsarbeid og budsjett i tida fram mot år 2000.

## 1.2. Problemstillinger

Kommunale utslipp fører med seg bl.a. fin-partikulært organisk materiale, næringssalter og bakterier i større eller mindre grad, selv om vannet har vært gjenstand for mekanisk rensing. Disse substansene kan medføre miljømessige problemer slik som uønsket algevekst, lukt og estetiske plager, dersom de spres i eller nær overflaten.

For å unngå negative effekter i resipienten, er det først og fremst ønskelig med best mulig rensing før utslipp. Rensekravene vurderes i forhold til utslippets størrelse og resipient-kapasiteten. Det er ikke aktuelt med kjemisk rensing av utslippene til Byfjorden i denne omgang.

Et utslipp vil uansett føre med seg en del forurensing. Derfor søkes det å optimalisere utslippsarrangementet slik at avløpsvannet spres best mulig i resipienten. Selve avløpet kan bestå av en diffusor, som bidrar til mer effektiv spredning og fortynning i resipienten enn en enkel rør-åpning.

Siden ferskvannet i utslippet er lettere en sjøvannet, vil det stige oppover i vannsøylen et stykke, før det innlagres (se kapittel 4). Siden det er lite gunstig å få avløpsvannet opp i overflaten, bør utslippet legges på så stort dyp at det ikke influerer på det øvre laget.

Gode strømforhold er neste viktige faktor for å oppnå god fortynning og spredning i resipienten. Med god strøm unngås opphoping av fortynnet avløpsvann nær utslippet, som i stedet kan spres og fortynnes videre utover i resipienten.

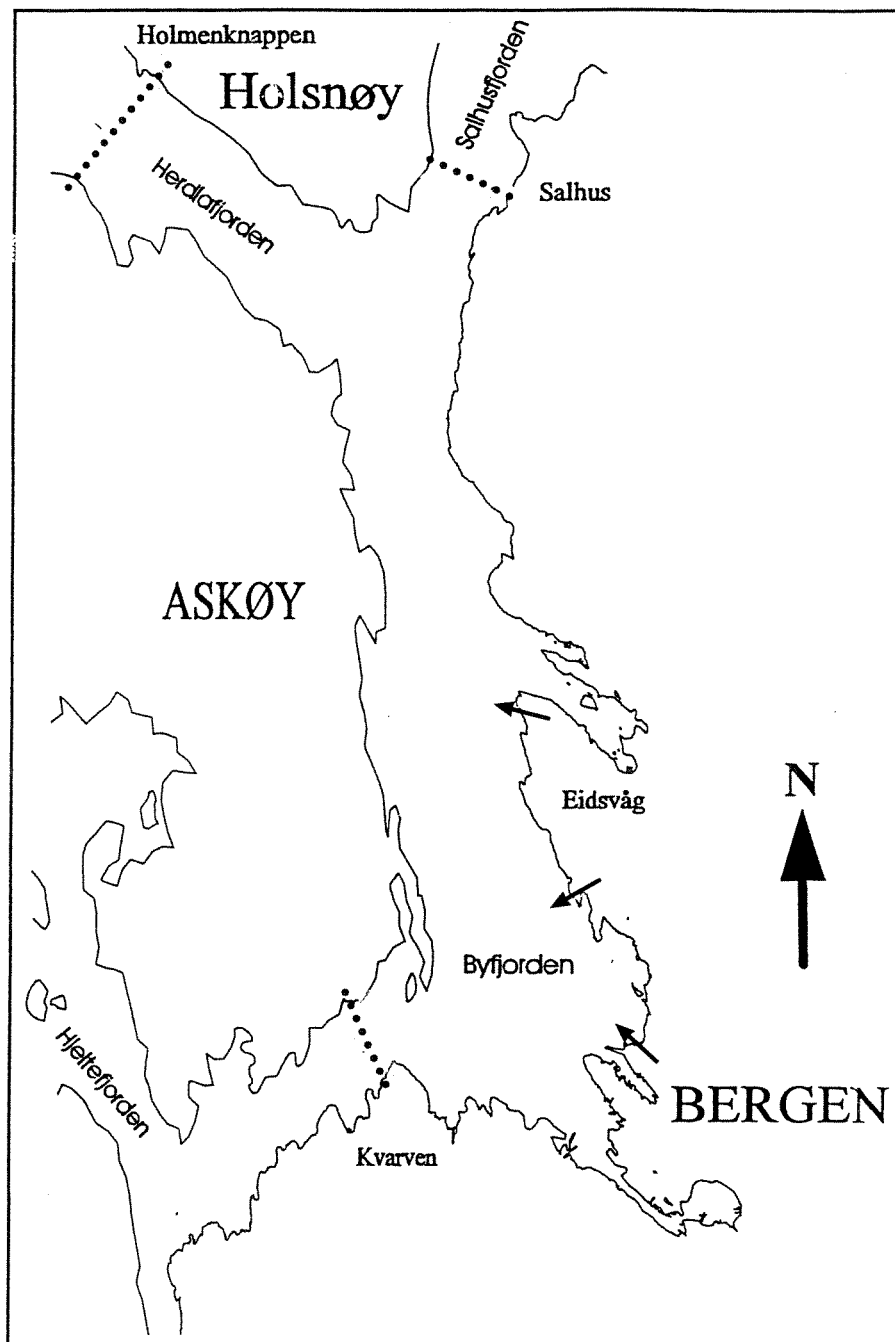


Fig. 1.1. Kartskisse over Byfjorden med tilstøtende områder, med angivelse av de tre utslippsstedene samt geografisk avgrensning av Byfjorden (omarbeidet etter Lilletvedt 1994).



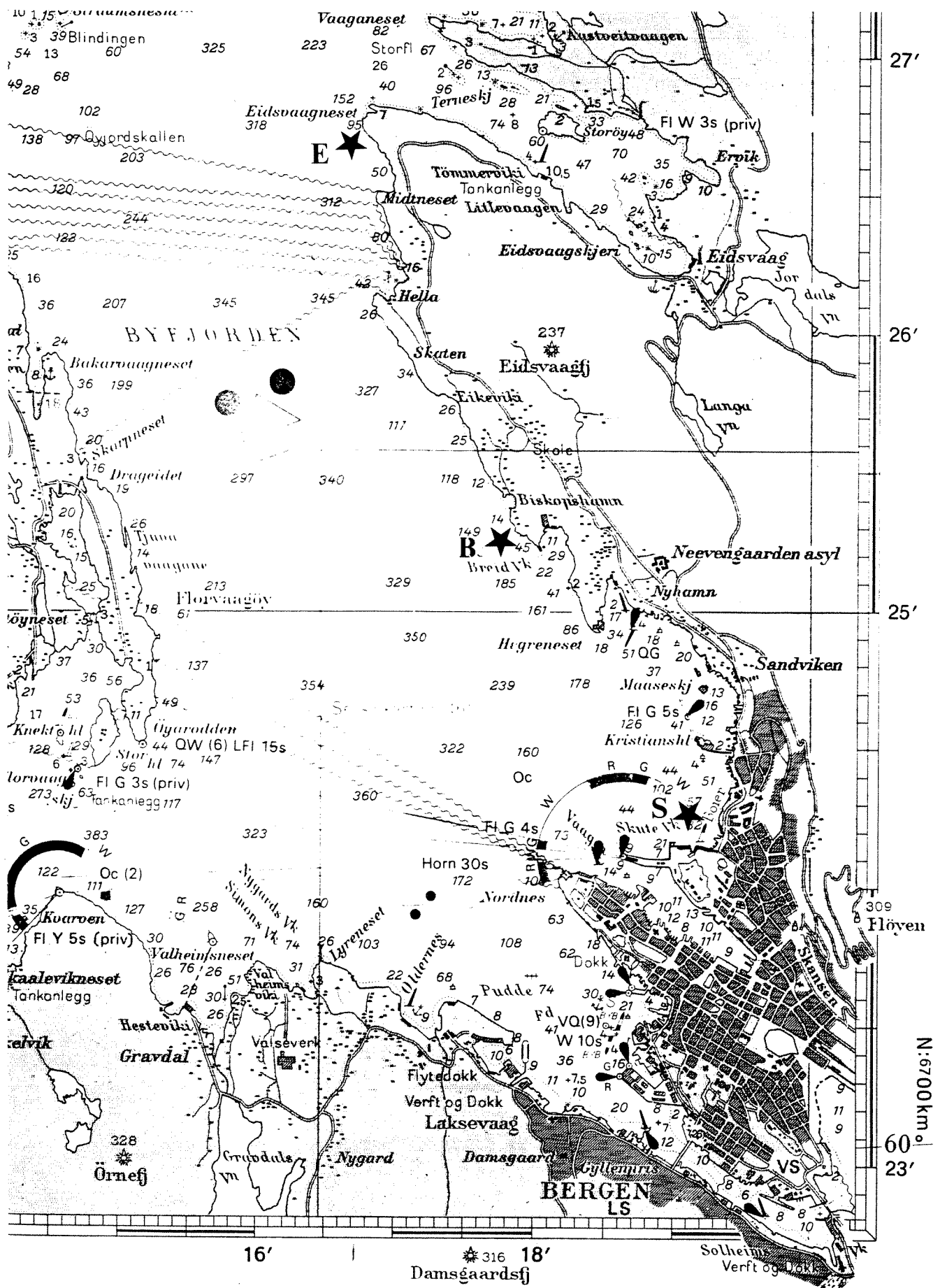


Fig. 1.2. Forstørret utsnitt over Byfjorden fra sjøkart nr 23, med de tre alternative utslippslokalitetene, der også strømmålerrieggene var plassert, avmerket med stjerne.

### 1.3. Utslippsalternativene

De tre hovedlokalitetene for utslipp er Sandviksflaket, Breiviken og Eidsvågsneset (fig. 1.1). Den endelige løsningen vil bestå i maksimalt to utslipp, slik at en av de tre foreslåtte lokalitetene vil være uaktuell.

Nær det aktuelle utslippsstedet vil det måtte bygges renseanlegg, fortrinnsvis i fjellet innenfor. Det må lages tilførselstunneler og avløpstunneler til sjø. Dette medfører plassbehov og vesentlig anleggsvirksomhet på land, noe som også vil telle med når utslippssted skal velges.

Utslipet/utslippene skal dimensjoneres for totalt 45,000 pe. Dette innebærer en viss overkapasitet i forhold til dagens bosetning:

Nordnes-Bryggen:	11,500 pe
Bontelabo-Sandviken:	11,300 pe
Ytre Sandviken:	5,300 pe
Eidsvåg:	3,200 pe
Sum, 1995:	31,300 pe

I tillegg vil det være bidrag fra enkelte bedrifter, bl.a. slakteriet i Eidsvåg, og sannsynligvis enkelte andre spredte kilder.

Vannmengdene dette representerer, er ca 64 l/s i middel. I tillegg vil det komme bidrag fra nedbør inn på nettet. Denne mengden er anslått til minimum 175 l/s. I praksis vil det være store døgnvariasjoner i vannføringen fra bosetningene. For utslippet/utslippene er det beregnet en middel vannføring på 800 l/s, og en max. vannføring på 1200 l/s.

Bidraget fra nedbøren vil også variere. Anlegg og avløp må derfor overdimensjoneres for å kunne ta unna store vannmengder over kortere perioder. Det er lagt opp til en dimensjonerende vannføring ( $Q_{dim}$ ) på 1200 l/s. Fosforkonsentrasjonen ved slike episoder er anslått til  $0.6 \text{ g/m}^3$  ( $0.6 \text{ mg/l}$ ).

### 1.4. Beskrivelse av Byfjorden

Byfjorden er åpen og dyp. Vannet i og nær overflaten kan strømme relativt uhindret gjennom fjorden, uten å møte større topografiske hindringer. Største dyp er 360 meter, i følge sjøkartet (fig. 1.2).

Overflatearealet er ca  $40 \text{ km}^2$ , og vannvolumet ca  $9.4 \text{ km}^3$  (Lillevtedt 1994), basert på areal-inndelingen som er markert med streker i fig. 1.1.

Vannutskiftingen over den ca 170 m dype terskelen ved Hjelteskjæret er relativt god. Helle (1975) kalkulerte at vannet i øvre lag (0-7.5 m dyp) i Byfjorden blir utskifta 60-70 ganger i løpet av et år. Dypvannet antas også å gjennomgå minst en større utskifting pr år, i flg. Helle.

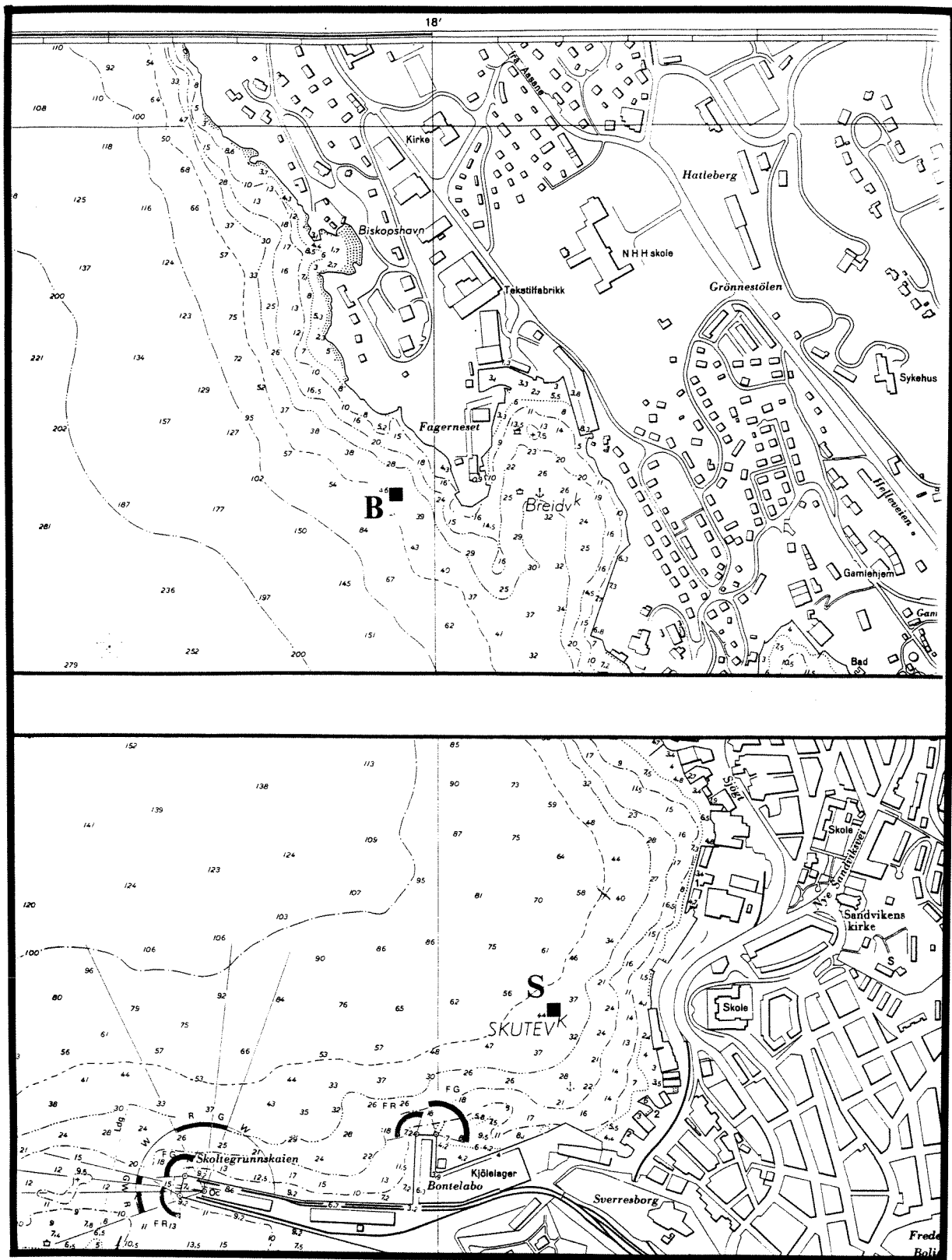
### 1.5. Eksisterende data fra Byfjorden

Siden tidsplanen for den foreliggende undersøkelsen strakte seg over kun ca 1/2 år, var det nødvendig å basere seg på en del eksisterende data for hydrografi m.m., spesielt for sommerhalvåret som ikke blei dekket av prosjektperioden.

Det foreligger hydrografiske målinger fra Byfjorden fra før århundreskiftet, foretatt av Universitetet i Bergen og andre (Linde 1970). Universitetet har seinere også gjennomført flere undersøkelser i Byfjorden, med måling av hydrografi, næringsalter m.m i faste tidsintervaller. Første undersøkelse av nyere dato var i 1973-74. Siden kom en lang periode 1979-84 med jevnlig målinger. Siste periode var 1990-1994, hvor det gjennom to år blei lagt spesiell vekt på måling av næringsalter (Risheim og Johannessen 1993). Vi har valgt å benytte data for de to sistnevnte periodene i våre beregninger.

Strømmålinger i Byfjorden har vært utført ved Laksevåg, i samband med undersøkelser omkring utslipp fra nytt rensanlegg for Bergen Syd (NHL 1991). Disse er av mindre interesse for den foreliggende undersøkelsen. Det er også utført målinger i innseilingen sør for Askøy, i Hjeltesundet (Helle 1975). Tidligere målinger i sentrale deler av Byfjord-basenet og fra Sandviken og nordover mangler.

Satellittbilder som inkluderer Byfjorden finnes for flere typer sensorer og satellitter. Vi har hentet inn noen LANDSAT scener for tolking av overflatestrukturer. Det er også gjort innledende modellberegninger for sirkulasjonen i Byfjorden (BFS 1992), som vi har benyttet noen resultater fra.



**Fig. 1.3.** Utsnitt av havnekartet for Bergen havn, med de to tilhørende alternative utslippsposisjonene Sandviksflaket og Breviksen markert. Strømmålingene i 1994-1995 foregikk også i disse posisjonene.

## 2. MÅLEPROGRAMMET

### 2.1. Strømmålinger, faste rigger

Strømmåling i de tre faste posisjonene som indikert i fig. 1.2 og 1.3, foregikk i to perioder:

7. oktober - 29. oktober 1994,  
17. februar - 13. mars 1995.

Det blei målt i 10 m og 20 m dyp, med selvregistrerende instrumenter av type Aanderaa RCM. Måleintervallet var 10 minutter.

Instrumentene var opphengt i bunnforankrede rigger med overflatebøye. Riggeren ved Eidsvågneset måtte sikres til land ved hjelp av et bunntau som gikk fra ankeret og opp i en bolt i flomålet. Ved Breiviken lyktes det å finne en liten hylle eller renne flat nok til å sikre riggeren fra å gli utfor og ned i dypet. På Sandviksflaket var bunnen relativt flat og problemfri, forankringsmessig sett.

Strømmålerene har innebygget kompass, som sammen med et stort ror festet til det fritt svingende instrumentet sørger for at retning kan avleses med gitte tidsintervaller. I tillegg måles strømstyrke, salinitet og sjøens temperatur. Måledata lagres internt i et elektronisk minne, for seinere avlesing og bearbeiding på PC.

Alle instrumentene fungerte tilfredsstillende unntatt øverste instrument (i 10 m dyp) på Sandviksflaket i 2. måleperiode, februar-mars 1995, da en vannlekkasje medførte tap av data. Riggeren i Breiviken i andre måleperiode blei av sikkerhetsmessige grunner tatt opp den 9. mars, 4 dager før de to andre, p.g.a. at den like før hadde flyttet seg litt ut av posisjon.

### 2.2. ADCP måling

I en posisjon ca 30 m NØ for riggeren på Sandviksflaket blei det målt med en bunnmontert doppler strømmåler (ADCP). Måleperioden var 9. mars kl 11.21 til 13. mars kl 09.51.

Denne måleren registrerer strømmen i 5-6 sjikt over måleren ved hjelp av reflekterte akustiske signal fra partikler i vannet. Bevegelsen av disse p.g.a strømmen medfører et dopplerskifte i det reflekterte lydsignalet. Dette kan nyttes til å beregne strømstyrken i de aktuelle sjiktene (dybdesjiktene). Fig. 2.1 viser prinsippet for hvordan disse ulike dybdesjiktene defineres.

### 2.3. Hydrografi

10 ganger gjennom prosjektperioden blei det tatt hydrografiske profiler i nærheten av de tre alternative utslippsposisjonene. Noen profiler blei tatt ved utsetting og opptak av riggerne, og noen mens målingene pågikk. Andre til tider da strømmålinger ikke foregikk.

Hydrografimålingene var først og fremst ment som et supplement til eksisterende data, som stort sett stammet fra UiBs stasjon 4 og 16 et stykke fra de aktuelle utslippstedene. Et spørsmål som de nye profilene kunne avklare, var om det var forskjeller i sjiktningen mellom Sandviken og Eidsvåg. I så fall

måtte en ta omsyn til dette ved modellberegningene, og gjøre individuelle beregninger for innlagring for hver lokalitet.

Målingene blei tatt med enten en Seabird SBE19 sonde, en Sensordata SD200 sonde eller en UCM40 strømmåler med temperatur, trykk og salinitetssensor i tillegg. Disse måler fortløpende med korte tidsintervaller, og lagrer resultatene internt, eller sende de via kabel til båten (UCM-40).

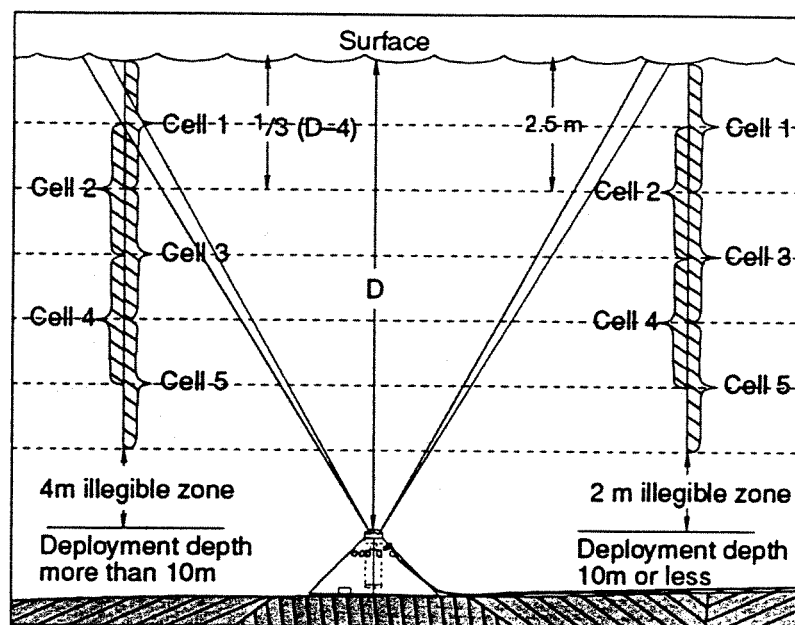


Fig 2.1. Skisse som viser måleprinsippet for den bunnmonterte ADCP strømmåleren som blei benytta på Sandviksflaket.

## 2.4. Satellitt-bilder

Satellitdata kan gi nyttig informasjon omkring vannmassekarakteristika, stønmingsmønster og fronter eller grenselinjer mellom ulike vannmasser. Lokalt stagnerende vann eller bakevjer med mye partikler kan avtegnes i bildene. Opplysningene kan nyttes til å gradere områder med hensyn til vannkvalitet og resipient-forhold.

Jordressurssatellitten Landsat-5 er benyttet for 3 situasjoner fra Byfjorden. Denne satellitten går i en høyde av ca 700 km og måler jordas og vannets utstråling i flere deler av det elektromagnetiske spekteret. Vi har benyttet data fra Thematic Mapper (TM) sensoren som måler på 7 ulike deler av spekteret.

Vi har tatt ut data fra TM-kanal 6 og 1, hvor TM6 måler utstrålingen i den termiske delen av spekteret og TM1 i den synlige delen av spekteret. Dette benyttes til å produsere henholdsvis temperatur- kart og et kart for partikkelinnholdet i de øvre vannmasser.

Den termiske kanalen har en minste oppløsning på bakken tilsvarende 120 m, mens den optiske kanalen har 30 m oppløsning. På grunn av dette får de termiske bildene en liten stripeeffekt. Kanal 4

er benyttet for å maske ut land, som normalt lages som en grå maske som legges over landområdene. Deretter kan verdiene (satellittsignalet) fra vannet bearbeides og fargelegges for å få fram gradienter i enten temperatur eller partikler (turbiditet).

På grunn av små kontraster i vannets farge og derigjennom i det målte satellittsignalet er det ikke alltid mulig å kalibrere dataene til absolutte verdier. Man benytter i stedet en relativ skala får å få fram detaljer. Får å få til en god kalibrering til absolutte verdier fra lite partikkelpåvirkede vannmasser kreves en del simultant målte felldata, og det er heller ikke med denne sensoren enkelt å skille mellom om signalet skyldes planktonalger eller andre partikler utelukkende fra satellittdatene. Her må man foreta en vurdering ut fra kunnskaper om området eller fra reelle felldata.

## **2.5. Andre målinger**

Til ulike tidspunkt blei det foretatt strømkorsmålinger på de tre lokalitetene. Disse bli utført ved å utplassere strømkorsene på en tilnærmet rett linje fra båt, og så følge med og notere posisjon/tid undervegs. Driv-tiden var typisk 1-2 timer. Resultatene brukes først og fremst til kvalitative vurderinger omkring strømningsmønster og evt. bakevjer.

Selve strømkorsene består av to 100cm x 60cm stålplater som låses fast i en stilling vinkelrett på hverandre. Dette gir godt strømfang. Strømkorsene var forbundet med overflatemarkøren med en 5 m lang snor. Posisjoner blei avlest med 10-20 minutters mellomrom ved hjelp av en portabel GPS mottaker, med 10-20 m absolutt nøyaktighet, og enda bedre relativ nøyaktighet, slik at feilmarginene ved målingene var relativt små.

Det er også innhentet vær-data fra Vervarslinga på Vestlandet (Florida) i Bergen for de to periodene da strømmålingene pågikk, for å kunne avdekke årsaker til evt. spesielle strømnings situasjoner.



## 3. MÅLERESULTAT

### 3.1. Meteorologi

Oktober 1994 var preget av høytrykk første del av måneden, og relativt lite nedbør. Vind fra sør eller sørøst (150-180 grader) dominerte, med noen få innslag av vind fra nordvest eller nord (fig. 3.1).

Perioden 15. februar - 15. mars 1995 (fig. 3.2) var preget av lavtrykksaktivitet, med typisk 3-5 dagers repetisjonsrate. Sørlige vinder dominerte. Det var flere dager med krafivere vind enn i oktober 1994.

### 3.2. Hydrografi

#### 3.2.1. Vertikal-profiler

To eksempler på vertikalfordeling av salinitet og temperatur på de tre stasjonene er synt i fig. 3.3 og 3.4, for oktober 1994 og februar 1995. De to situasjonene gjenspeiler en normal forskjell mellom høst og sein vinter. Vannsøylen var som ventet noe mer stabil (sjiktet) i oktober enn i februar. Forskjellene mellom stasjonene for hvert tidspunkt når det gjelder brakkvannsinnslag og sprangsjiktsdyp var liten. Brakkvannslaget og hovedsprangsjiktet strakte seg ned til ca 5 m ved begge situasjonene, med salinitet på 20-22 ppt nær overflaten.

Brakkvannslaget og det markerte sprangsjiktet (pyknoklin) er gunstig m.h.p. å forhindre at vann fra et dykket utslipp trenger gjennom til overflaten. De avbildede profilene representerer en typisk situasjon ut fra de profilene som blei tatt i perioden oktober 1994 - april 1995. Situasjoner med lite eller nesten fraværende brakkvannslag kan nok forekomme en sjelden gang, uten at vi har grunnlag for å beregne sannsynligheten for dette ut fra foreliggende data.

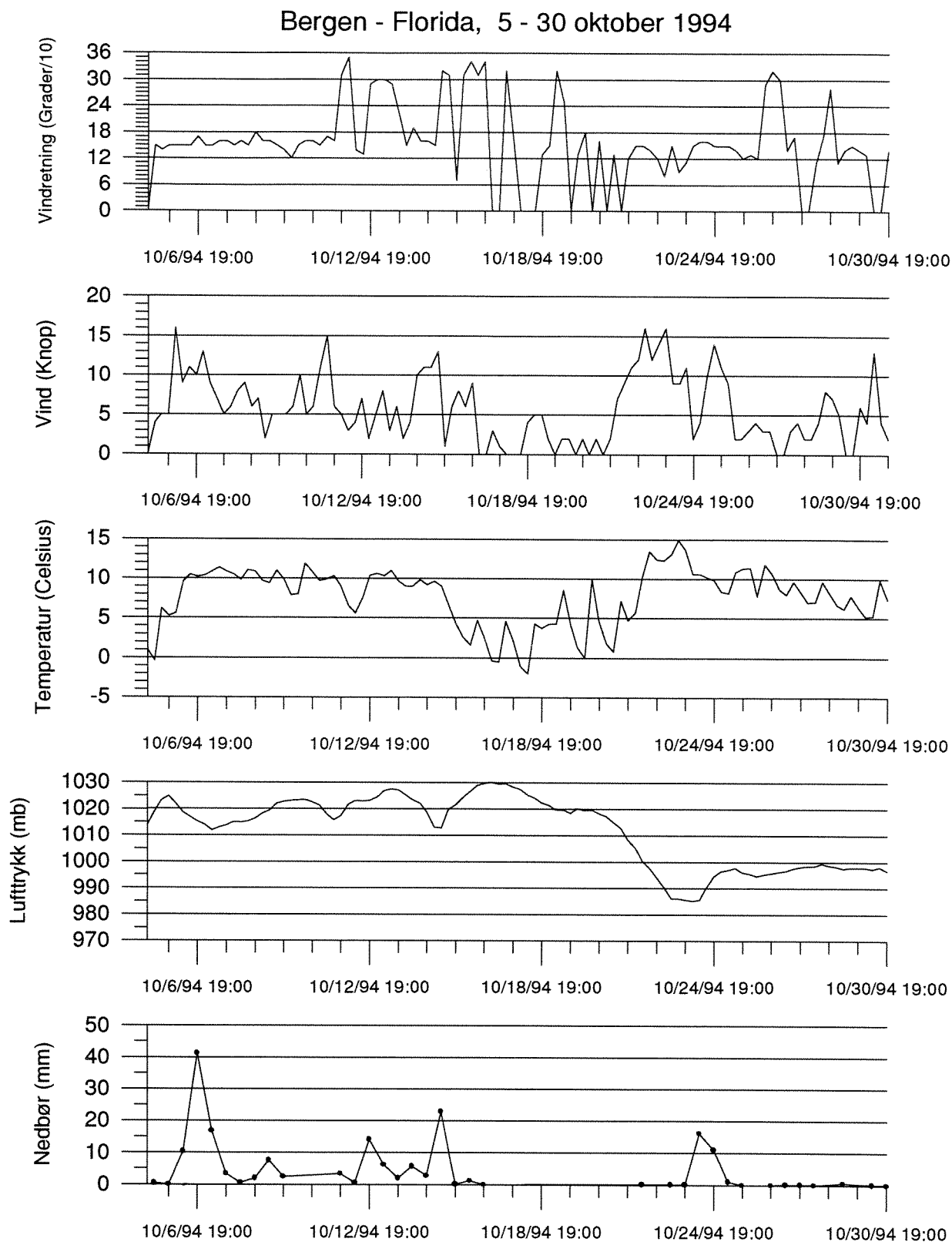
Likheten mellom stasjonene når det gjelder hydrografiske forhold, innebærer at modellberegningene basert på en stasjon med all sannsynlighet er representative for alle tre utslipps-lokalitetene.

#### 3.2.2. Tidsserier

Strømmålerne registrerte også salinitet og temperatur med samme tidsintervall som strømstyrke og retning, d.v.s. hvert 10. minutt. Variasjonene var som ventet større i 10 m dyp enn i 20 m. Vi presenterer derfor målingene fra 10 m dyp i Breiviken i de to måleperiodene i oktober 1994 og i februar-mars 1995 i fig. 3.5 og 3.6.

Middelverdi for salinitet lå rundt 31.2 og 32.7 for hver av de to periodene. Variasjonen i salinitet var mest markert i oktober. I februar-mars var tidsserien influert av en viss periodisitet på 3-5 døgn, sannsynligvis på grunn av den før nevnte lavtrykksaktiviteten i denne perioden. Det framgår variasjoner innafor et døgn på inntil 1-2 ppt i salinitet i 10 m dyp. Om en sammenlikner med profilene i fig. 3.3 og 3.4, kan dette indikere at variasjoner i sprangsjiktsdyp på ca 5 m forekommer mer eller mindre regelmessig.

Temperatur-utviklingen synte gradvis avkjøling utover i måleperioden i oktober (fig. 3.5), mens i februar-mars holdt temperaturen seg relativt stabil mellom 6 og 7 grader, som sannsynligvis representerer nær årsminimumet for dette dypet. De tidligere målingene ved UiB synte et minimum på 4.1 grader i 10 m dyp, altså noe lavere enn det som blei målt vinteren 1995.



**Fig. 3.1.** Meteorologiske observasjoner for Bergen (Florida) i oktober 1994. Kilde: Vervarslinga på Vestlandet/DNMI.

Bergen - Florida, 15 feb. - 13 mar. 1995.

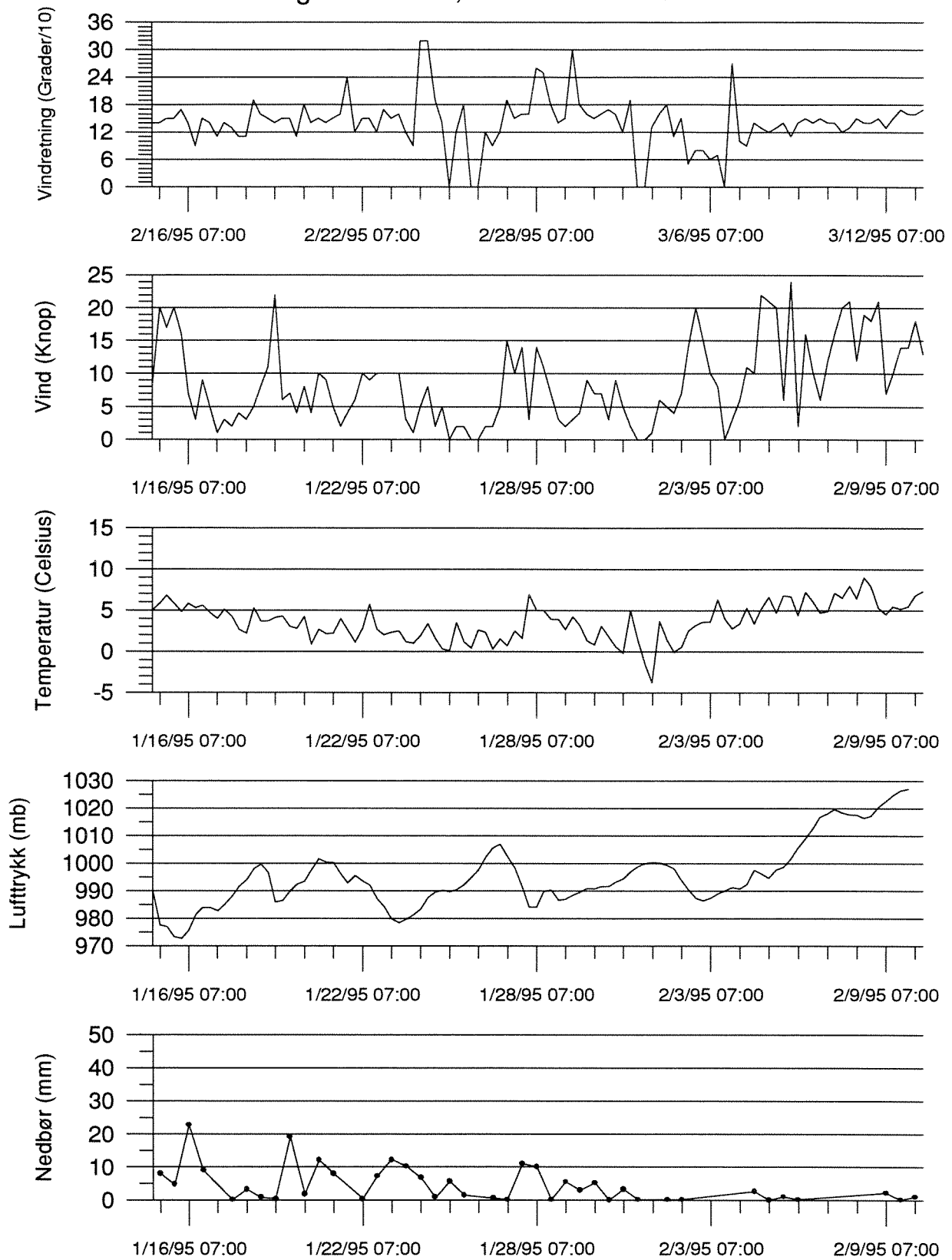
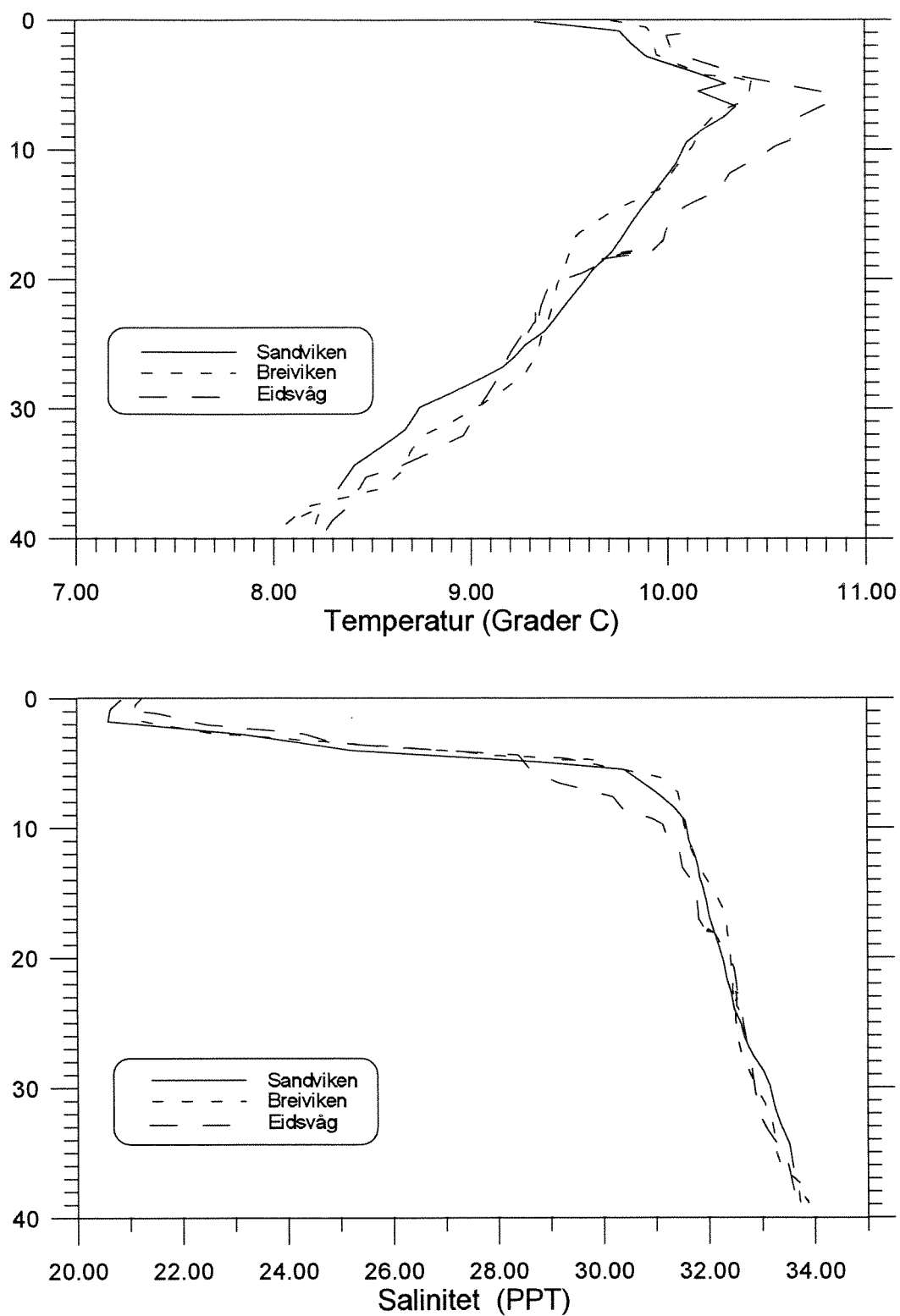


Fig. 3.2. Meteorologiske observasjoner for Bergen (Florida) i perioden 15. februar - 15. mars 1995. Kilde: Vervarslinga på Vestlandet/DNMI.

### Sandviken, Breiviken og Eidsvåg 13/10-94



**Fig. 3.3.** Vertikalfordeling av temperatur og salinitet ved Eidsvåg, Breiviken og Sandviken, målt med sonde i oktober 1994.

### Sandviken, Breiviken og Eidsvåg 26/2-95

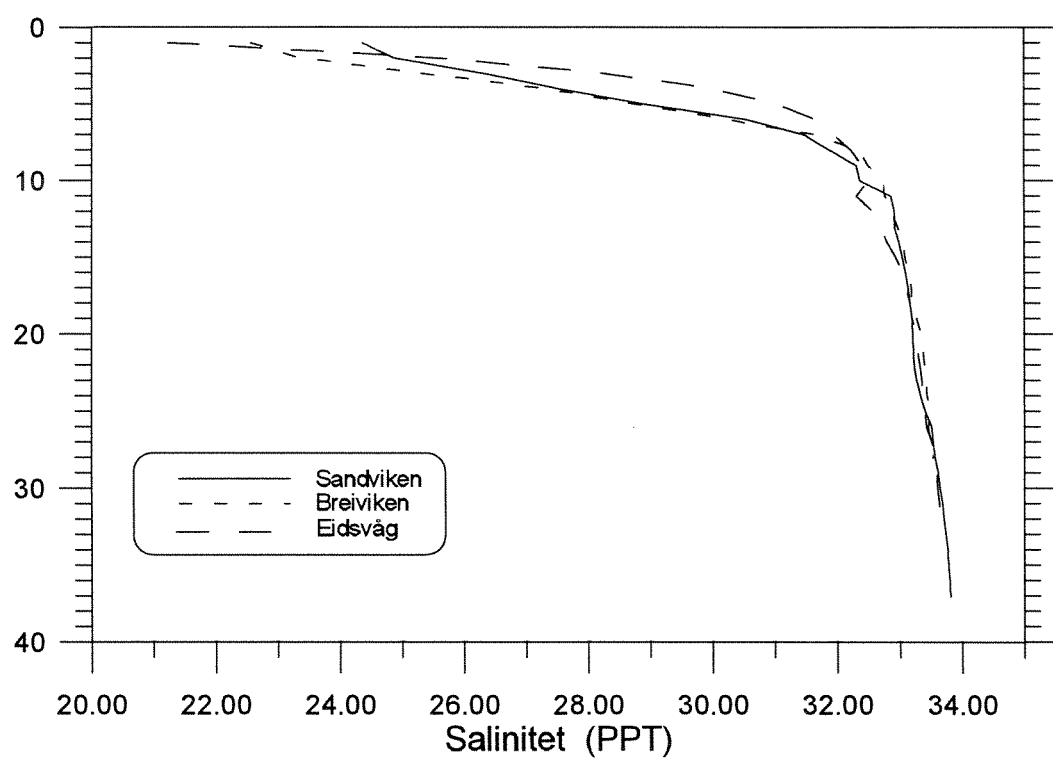
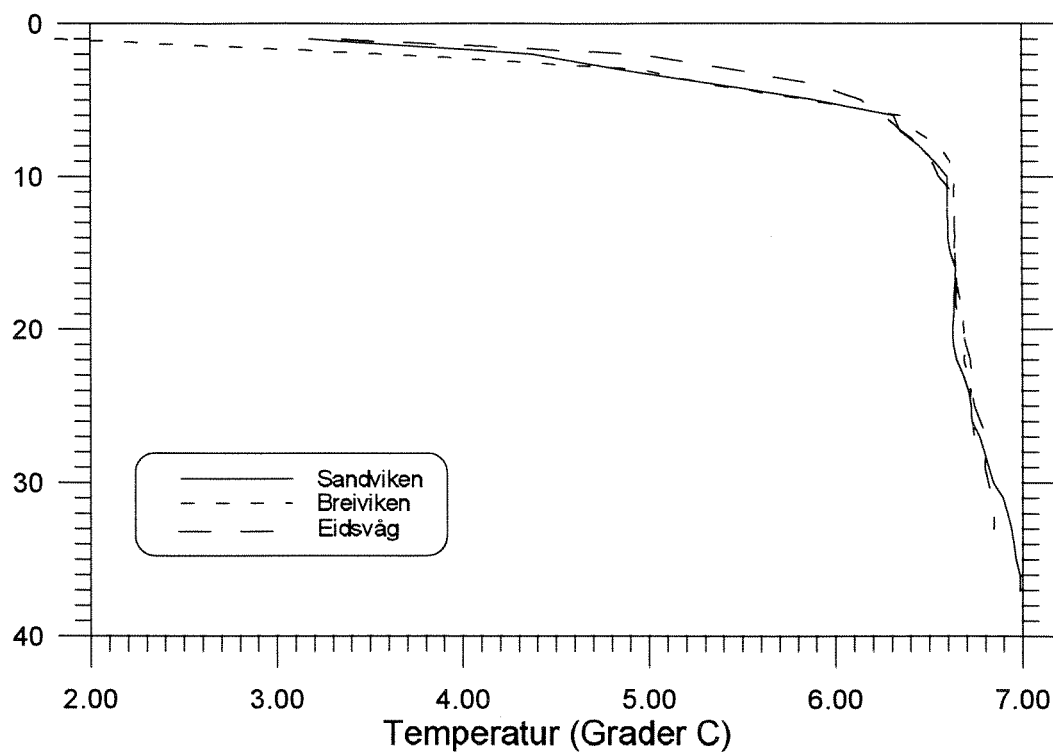


Fig. 3.4. Vertikalfordeling av temperatur og salinitet ved Eidsvåg, Breiviken og Sandviken, målt med sonde i februar 1995.

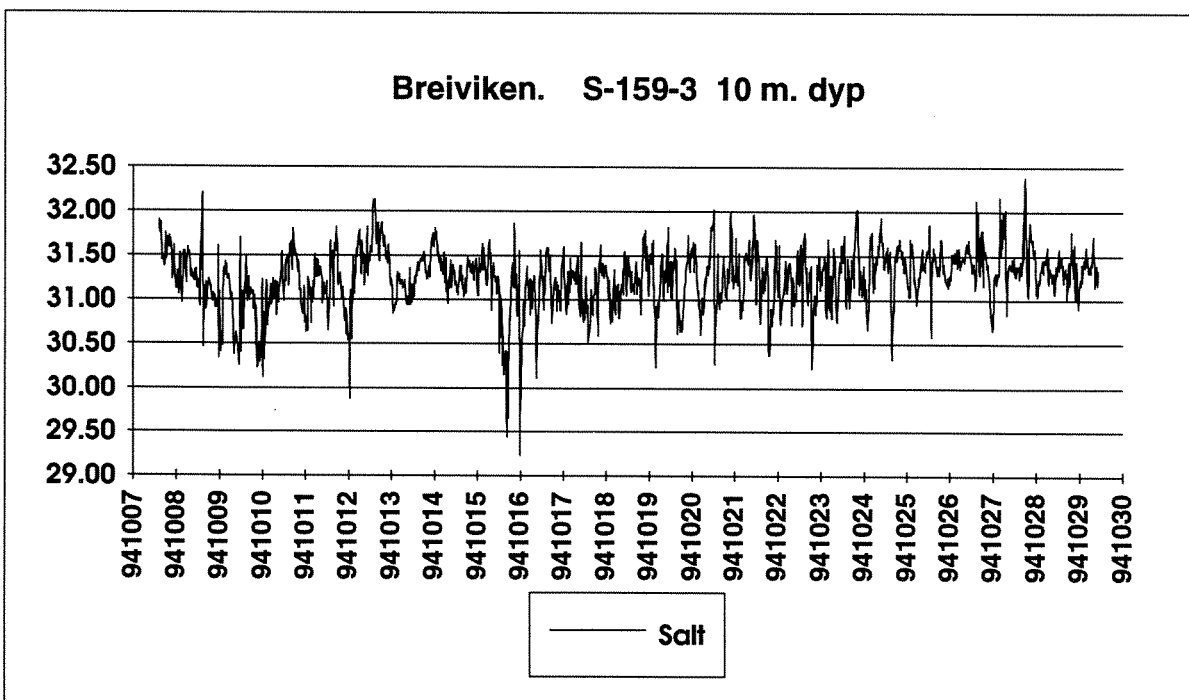
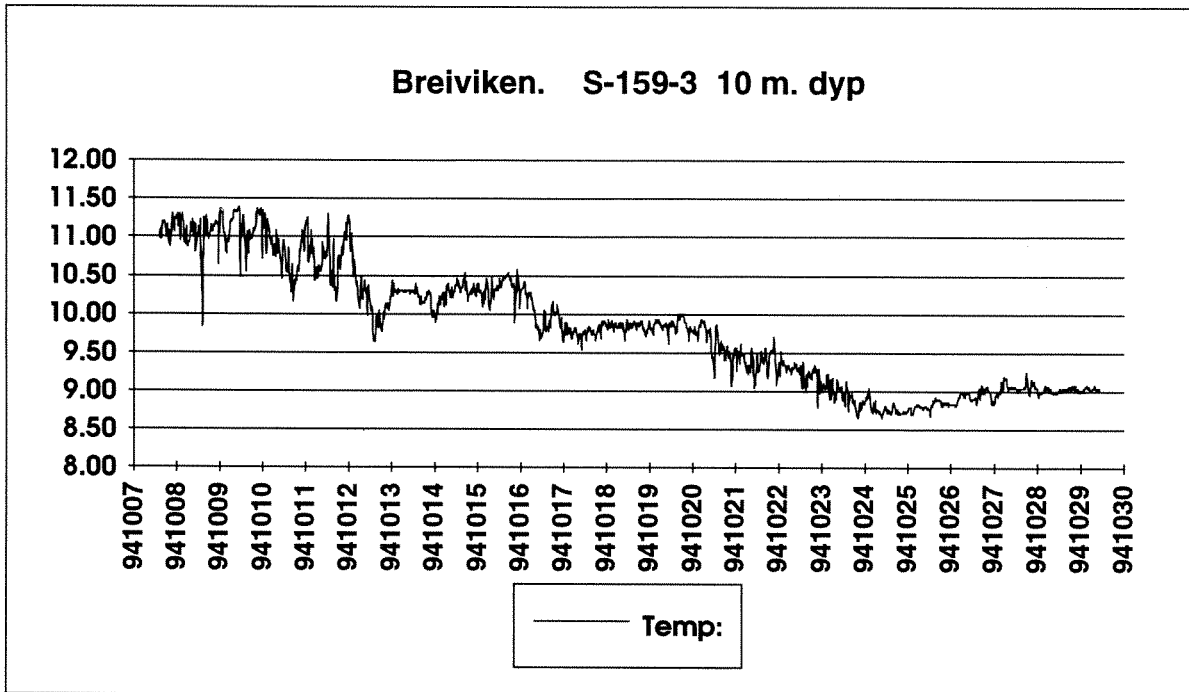
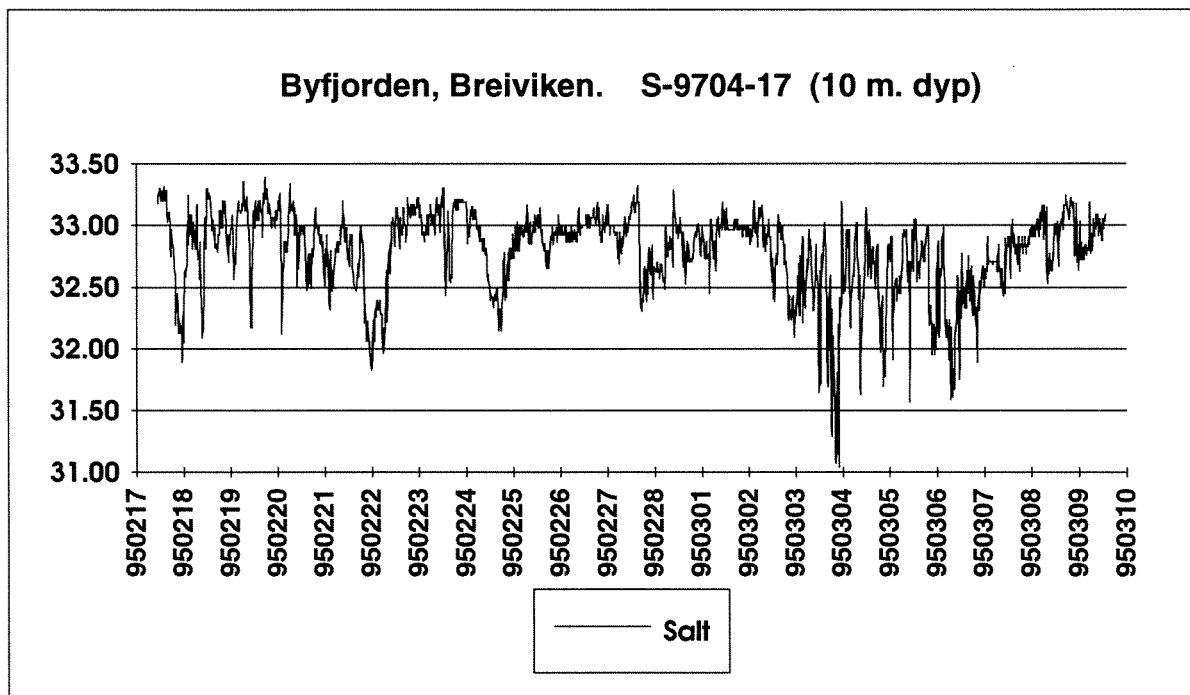
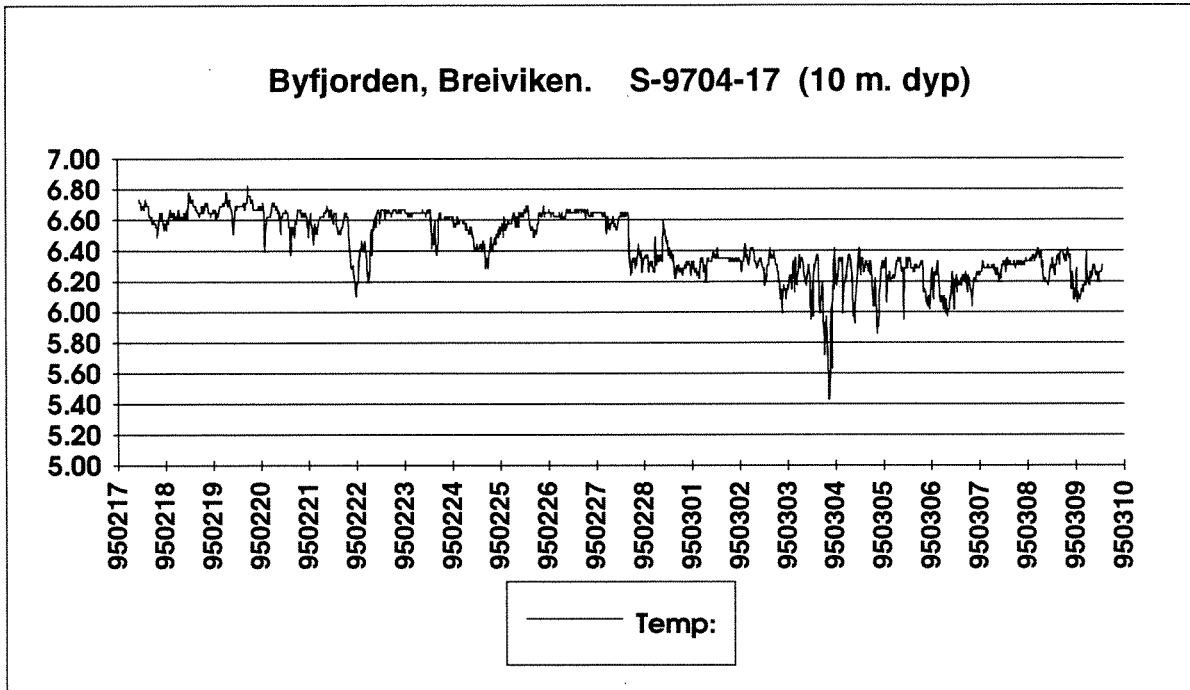


Fig. 3.5. Målt temperatur (°C) og salinitet (ppt) i 10 m dyp ved Breiviken i perioden 7.-30. oktober 1994, i samband med strømmålingene.



**Fig. 3.6.** Målt temperatur (°C) og salinitet (ppt) i 10 m dyp ved Breiviken i perioden 17. februar - 9. mars 1995.



### 3.3. Strøm

Resultater i form av grafiske framstillinger fra de omfattende strømmålingene i de faste posisjonene er presentert i vedlegg, figurene A1-A24. I dette kapittelet presenteres et lite utdrag av resultatene i grafisk form, med fokus på Breiviken siden denne lokaliteten ligger mellom de to andre.

#### 3.3.1. Målingene i 10 m og 20 m dyp

Det var noe høyere strømstyrker i 10 m dyp ved Breiviken (fig. 3.7) under høst-målingene enn i måleperioden februar-mars (tabell 3.1). Det var sjelden helt strømstille (jmfør med videre analyser i kapittel 4). Nettostrømmen (hovefluksretningen) var mot nordvest i 10 m dyp ved Breiviken i begge måleperiodene (fig. 3.8).

Det halvdaglige tidevannet hadde en tydelig påvirkning på strømmen. Dette er illustrert i energispekteret for målt strømstyrke i 10 m dyp ved Eidsvågneset, oktober 1994 (fig. 3.9). Det er tydelige topper i spekteret ved ca 12.5 timer og 6.5 timer. Også frekvenser tilsvarende 4.3 timer og 3 timer hadde signifikant energi. Det er uklart om dette er høyere harmoniske komponenter av tidevannet, eller om det dreier seg om topografisk betingete egensvingninger i Byfjorden, evt. sammen med tilstøtende fjorder.

Statistiske resultater for alle tre måleposisjonene er angitt i tabell 3.1. Sandviksflaket skiller seg ut med de laveste strøm-verdiene, mens de to andre posisjonene hadde verdier på om lag det doble av Sandviksflaket, begge måledyp sett under ett. Generelt sett var det svakere strøm i 2. måleperiode enn i første.

**Tabell 3.1.** Middelerverdier og maksimalverdier (cm/s) for strømmålingene i første og andre måleperiode. Data for 2. periode i 10 m dyp på Sandviksflaket mangler p.g.a. feil på måler.

Dyp	Sandviksflaket		Breiviken		Eidsvågneset	
	Middel, cm/s	Max, cm/s	Middel, cm/s	Max, cm/s	Middel, cm/s	Max, cm/s
10 m	2.4 / --	12.1 / --	14.0 / 4.7	51.1 / 21.7	6.4 / 12.8	33.7 / 26.7
20 m	7.7 / 2.5	23.6 / 11.0	6.7 / 2.6	29.3 / 12.3	13.9 / 4.2	32.0 / 13.9

#### 3.3.2. ADCP-målinger

Det var ca 40 m vanddyb der den bunnmonterte ADCP strømmåleren var plassert på Sandviksflaket. Måleren definerer selv ut fra vanddybet tykkelsen og nivået (dypet) for de forskjellige cellene som den måler i (fig. 2.1). For dette tilfellet lå senter av cellene i 31 m, 25 m, 19 m, 13 m, 6 m dyp. I tillegg blei også overflatestrømmen målt.

Resultatene for målt strømstyrke gjennom den fire dager lange måleperioden er synt i vedlegg, fig. A23a-b. Det var vesentlig sterkere strøm i overflaten og i 6 m dyp enn i de andre måledypene. Verdiene i de to øvrste dypene lå i middel rundt 30-40 cm/s, mens middelerverdiene for de dypere cellene lå rundt 1-3 cm/s.

Målingene i 20 m dyp i den faste riggen (fig. A13) som pågikk samtidig like ved, synte at det var svak strøm (1.5-4 cm/s) i dette dypet. ADCP målingene bekrefter at det var svak strøm i hele dette sjiktet fra ca 6 m dyp og til bunns.

Hovedstrømretningen gjennom den fire dager lange perioden var vedvarende mot NV fra overflaten og ned til 13 m dyp. Derfra og nedover til bunn var retningen mer variabel. Forskjellen i retningsfordeling mellom de to lagene over og under ca 13 m dyp er illustrert i fig. A24, for 6 m dyp og 31 m dyp. Den karakteristiske NV-gående strømmen i og nær overflaten skyldes sannsynligvis den vedvarende og relativt sterke SØ-lige vinden i denne perioden (fig. 3.2). Under andre og mer normale vindforhold ville nok retningsfordelingen for overflatestrømmen ha vært annerledes.

### 3.3.3. Strømkorsmålinger

Strømkorsmålingene beskrives kortfattet ut fra de visuelle observasjonene og tidspunkt/posisjoner som blei notert. Ikke alle tenkelige vær-situasjoner eller tidevanns-situasjoner er representert, men hovedtrekkene bør være rimelig representative for forholdene på lokalitetene.

#### **Sandviksflaket:**

Til tider nesten ingen bevegelse i de øvre vannmassene som strømkorsene målte i. Ofte vanskelig å registrere konsistent nettoforflytting i løpet av de 2-3 timene hvert forsøk varte. Fig. A24 viser to tilfeller da det var signifikant forflytting. Ved det ene eksperimentet 18/11 1994 var strømkorsene utplassert langs en linje mot NV ut fra land ved Skutevikstorget. Strømkorset nærmest land drev nordover, mens de andre drev relativt raskt mot vest eller sørvest. Ved det andre eksperimentet (25/11) som er illustrert i fig A24, var korsene satt ut langs en linje SV-NØ. To av de nordligste korsene drev tydelig mot nord eller nordvest, mens de andre korsene lenger sør drev sakte vekselvis mot NV og SØ, mot land.

#### **Breiviken:**

Fig. A24 viser det typiske strømningsbildet ved Breiviken. De ytterste korsene forflyttet seg raskt mot nord, parallelt med land, mens korsene nærmest land hadde en tendens til å drive inn mot land. Disse siste korsene var satt ut der vanddypet var under 20 m, mens de ytterste korsene tilsvarer området der et evt. utslipp er tenkt plassert.

#### **Eidsvågneset:**

Et av formålene med strømkorsmålingene ved Eidsvågneset var å detektere evt. innstrømming fra sør inn mot Eidsvågen. Ingen av forsøkene våre indikerte slik instrømming. Strømkorsene som blei utplassert langs ei V-Ø linje nær tiltenkt utslippssted, stakk av rett nordover med 20-40 cm/s middelfart. Kun korset som var utlagt nær land (ca 30 m fra), viste en tendens til å stagnere og dreie av inn mot neset. Dette er imidlertid nærmere land enn der utslippsvannet vil ha sitt utgangspunkt.

### 3.3.4. Oppsummerende kommentarer for strøm.

Basert på måleresultatene som er presentert i figurvedlegg (fig. A1 - A24), kan vi trekke følgende konklusjoner m.h.t. de lokale strømforholdene:

#### **Sandviksflaket:**

I snitt svakest strøm av alle tre lokaliteter. Spesielt svak i 10 m. Hyppige stagnasjonsperioder, særlig i 10 m dyp (fig. A1).

Strømmen var ikke retningsstabil, men endret hyppig retning. Jmfør med figurene A2, A4 og A14. Hovedretningskomponent for strømmen : Svakt definert sørlig retning i begge måledyp.

#### **Breiviken:**

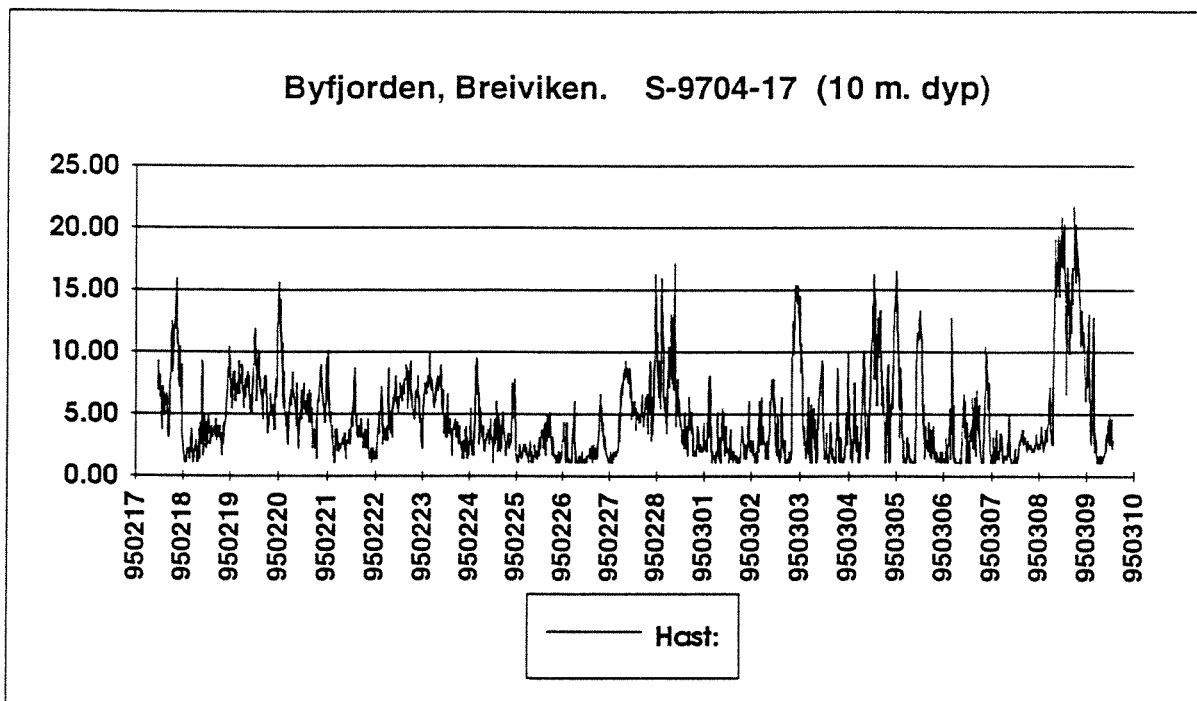
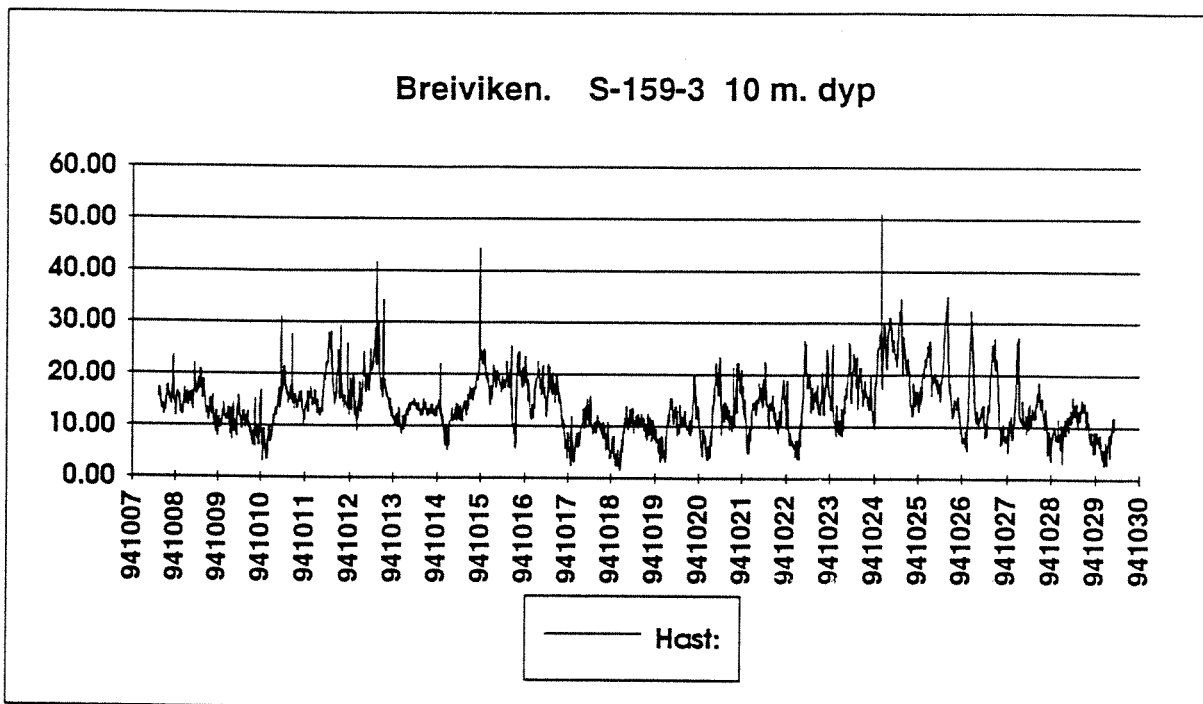
Sterk strøm. Høyeste max-verdi registrert her (tabel 3.1). Retningsstabil strøm i begge dyp. Svak eller stagnerende strøm forekom sjelden, og da bare kortvarig. (fig. A5, A7, A15 og A17).

Hovedretningskomponent: Karakteristisk mot NV i begge måledyp, med sjeldent forekommende sørgående strøm (Fig. A6, A8, A16 og A18).

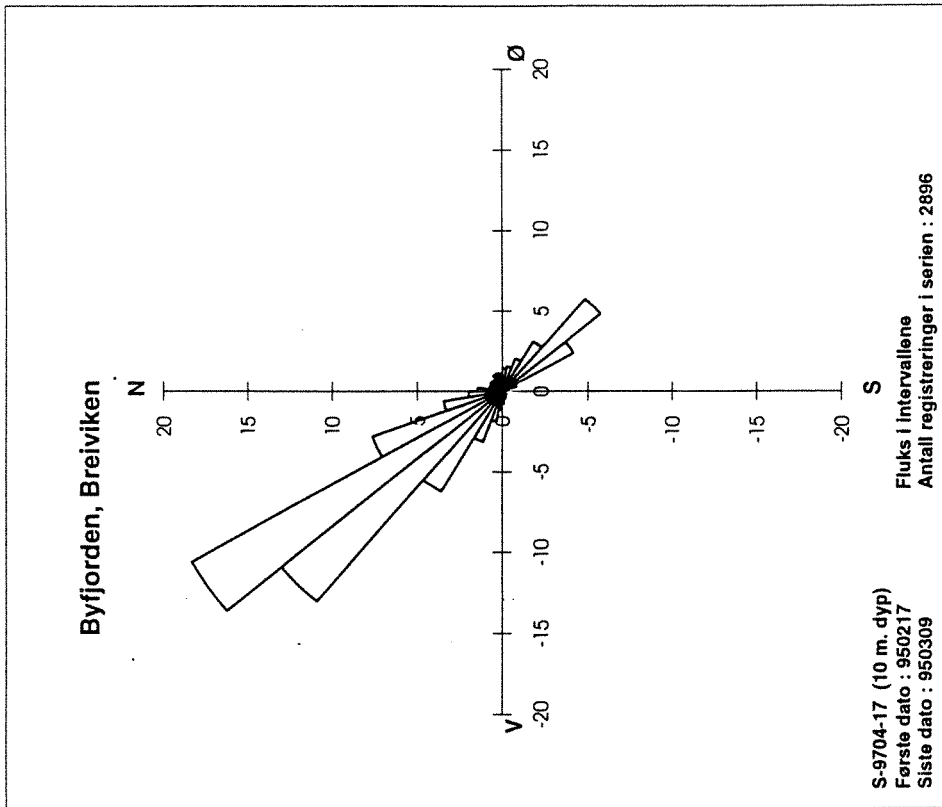
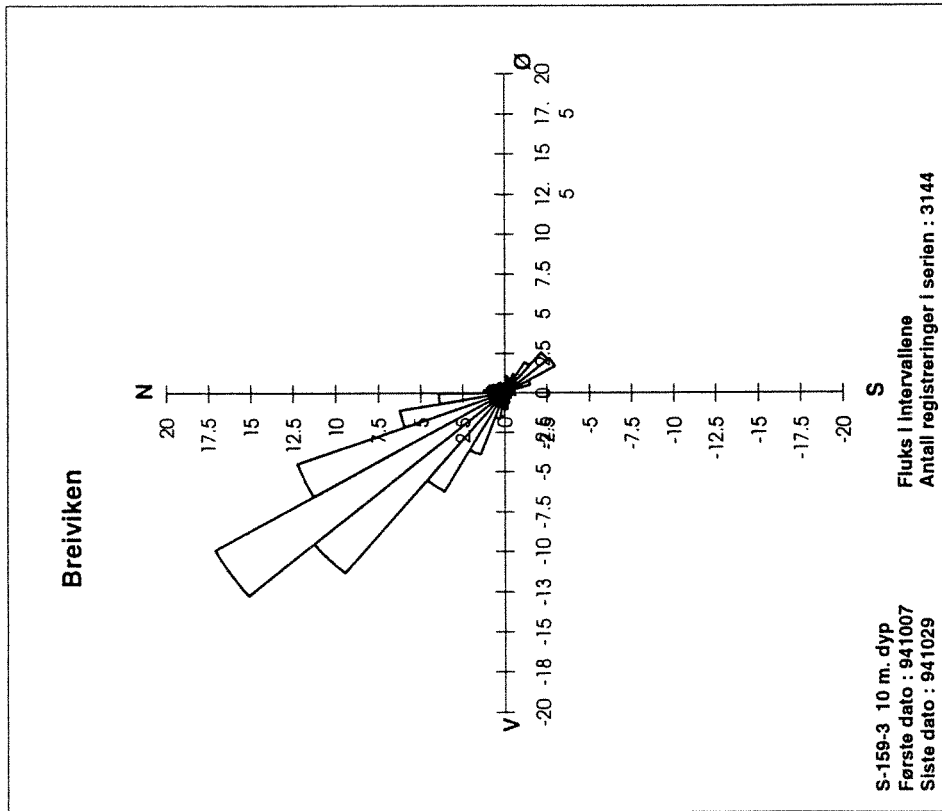
**Eidsvågneset:**

Gode strømforhold. Høy middelverdi også i 20 m dyp (fig. A9, A11, A19 og A21).

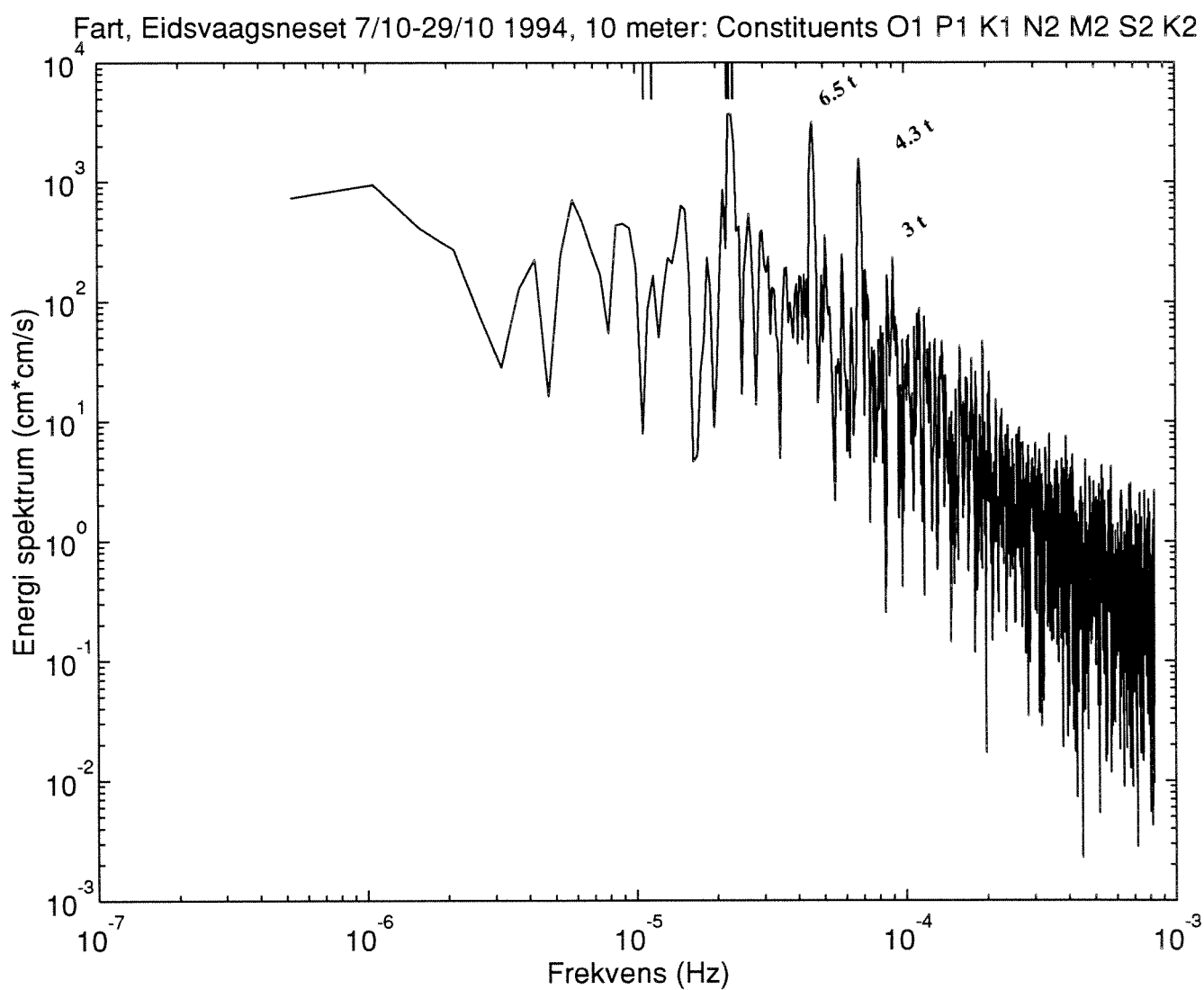
God retningsstabilitet rundt nord i 10 m dyp, noe mer innslag av sørgående strøm i 20 m i begge måleperiodene (fig. A10, A12, A20 og A22). Hovedretningskomponent: mot nord i 10 m, mot NØ i 20 m, men med markert innslag av sørgående strøm.



**Fig. 3.7.** Målt strømstyrke i 10 m dyp ved Breiviken i de to måleperiodene i oktober 1994 og i februar-mars 1995.



**Fig. 3.8.** Beregnet vannfluks (transport) i 10 m dyp ved Breiviken for de to måleperiodene. Begge perioder hadde vedvarende strøm mot nordvest.



**Fig. 3.9.** Energispekter for strømmålingene (strømstyrke) i 10 m dyp ved Eidsvågneset, oktober 1994.

### 3.4. Satellitt-bilder

Vi gir her en kort beskrivelse av hver av de utvalgte scenene, som representerer en tidlig vår situasjon samt to sommersituasjoner. Videre diskusjon og sammenstilling med andre data foretas i kapittel 5.

#### 29. mars 1993, fig. 3.10 og 3.11.

Det optiske bildet (fig. 3.10) viser høyt partikkelinnhold innover i Sørfjorden. Dette kan skrive seg fra avrening. Det var også noe høyt partikkelinnhold i vannet i Puddefjorden og ved Sandviken. Dette må skrive seg fra lokal forurensing. Vannet der hadde også høyere temperatur enn lenger ute i Byfjorden (fig. 3.11).

I Sørfjorden og tildels også i Salhusfjorden og de nordlige deler av Byfjorden lå det kalde vannmasser (fig 3.11). En ser også tydelig varmere vannmasser lenger ute, i Hjeltefjorden. Merk den tydelige temperatur (vannmasse) fronten ved Eidsvåg i fig. 3.11, med en kaldtvannskile som brer seg sørover langs Askøy på motsatt side. På strekningen Sandviksflaket-Eidsvåg var det ellers små variasjoner, med kun litt større partikkel-konsentrasjon på Sandviksflaket, sannsynligvis p.g.a. lokale tilførsler og/eller stagnasjon.

Innenfor områdene for de tre utslippsalternativene var det lite kontraster, med unntak av noe mer partikler på Sandviksflaket (fig. 3.10).

#### 6. juni 1990, fig. 3.12 og 3.13.

Denne situasjonen er annerledes enn mars-situasjonen som ble diskutert ovenfor. Det var økende partikkelmengder fra Sørfjorden og utover i Herdlafjorden og tildels i Byfjorden (fig. 3.12). Det var betydelig høyere konsentrasjoner i Hjeltefjorden enn ellers, noe som kan skyldes en våroppblomstring av alger som pågikk i det ytre fjordområdet.

Kaldere vannmasser lå i munningen til Osterfjorden/Sørfjorden og nedover mot Herdlafjorden (fig. 3.13). På østsiden av Askøy mot Byfjorden fantes de varmeste vannmassene. Som for mars-situasjonen, lå det også i juni en tversgående temperatur-front mellom Eidsvågneset og Nordre Erdal på Askøy.

Det var ingen markerte fronter i juni i området hvor de planlagte kommunale utslippene ligger. Det var faktisk en svak antydning til mindre partikler i vannet i disse områdene enn ellers i Byfjorden (fig. 3.12).

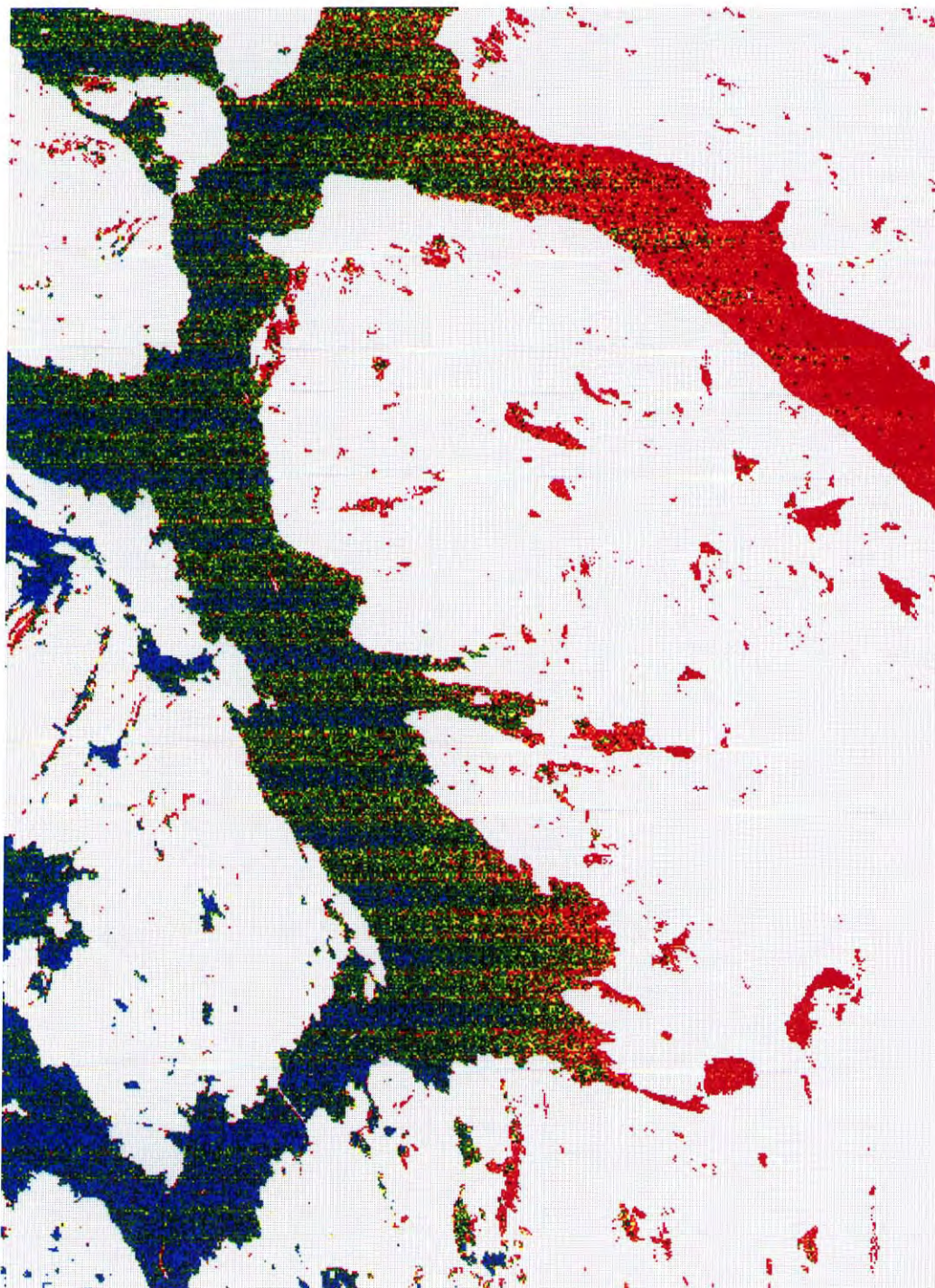
#### 31. august 1991, fig. 3.14 og fig.3.15.

I den avbildete situasjonen fra august 1991 var det partikkelholdig og kaldere vann ut mot Hjeltefjorden (fig. 3.14). Byfjorden og fjordene lenger nord hadde tilnærmet samme overflatetemperatur (fig. 3.15). Herdlafjorden og tildels vestsiden av Byfjorden (Askøysiden) hadde som Hjeltefjorden noe mer partikler enn resten av området.

Ved situasjonen i august var det ingen markerte fronter eller skiller innafor de områdene hvor utslippene er planlagt. Det var i denne situasjonen lave partikkelkonsentrasjoner i hele området.



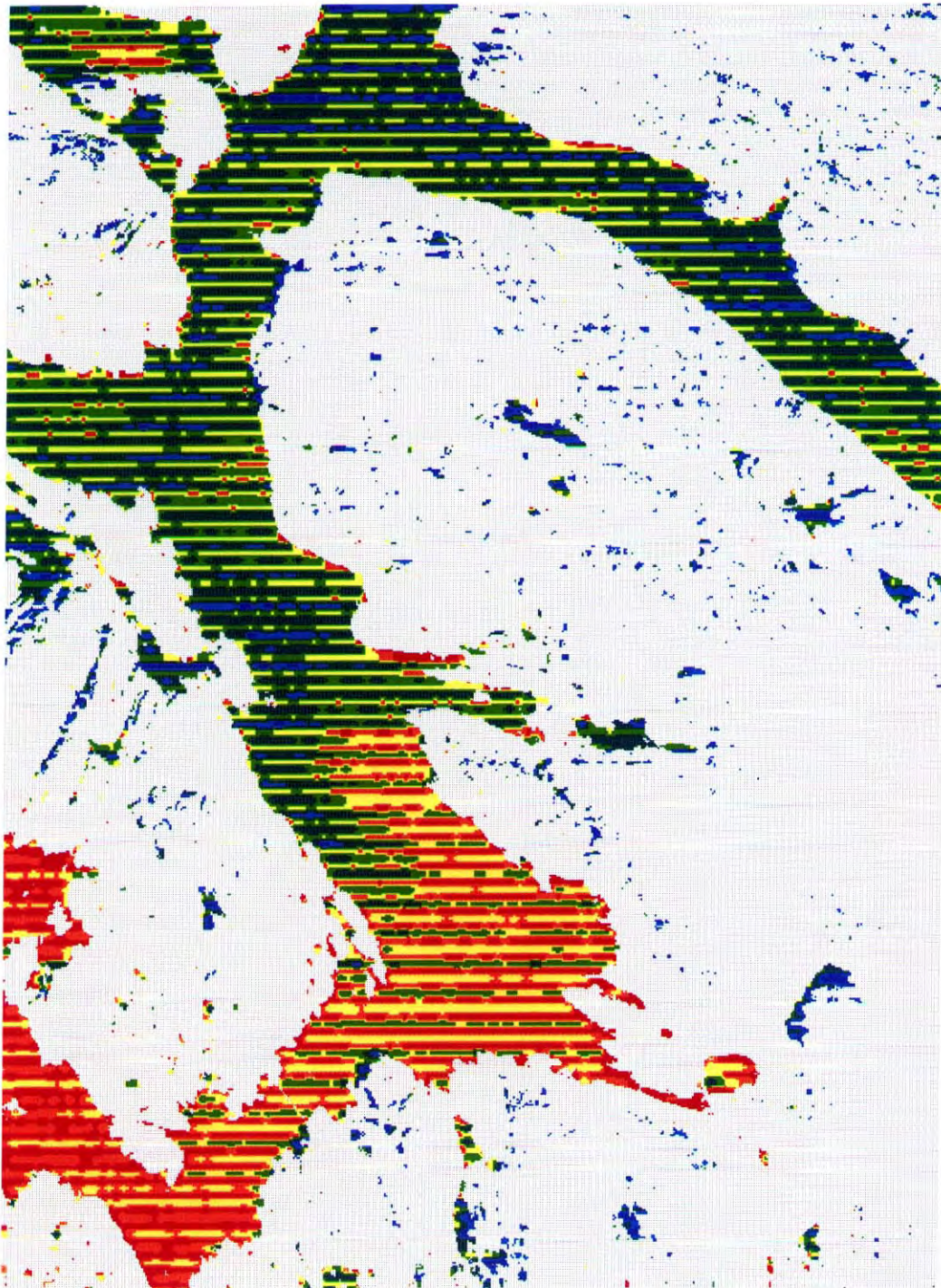
# Landsat kanal 1 29. mars 1993



**Fig. 3.10.** Satellittbilde som viser den relative partikkelfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 29. mars 1993. Satellittdataene er bearbejdet av NIVA på basis av data fra Thematic mapper sensoren TM1 ombord i jordressurs satellitten Landsat-5.



# Temperatur 29. mars 1993



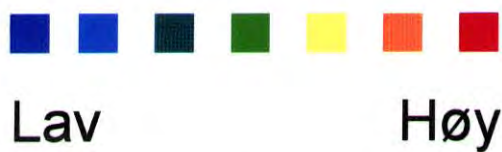
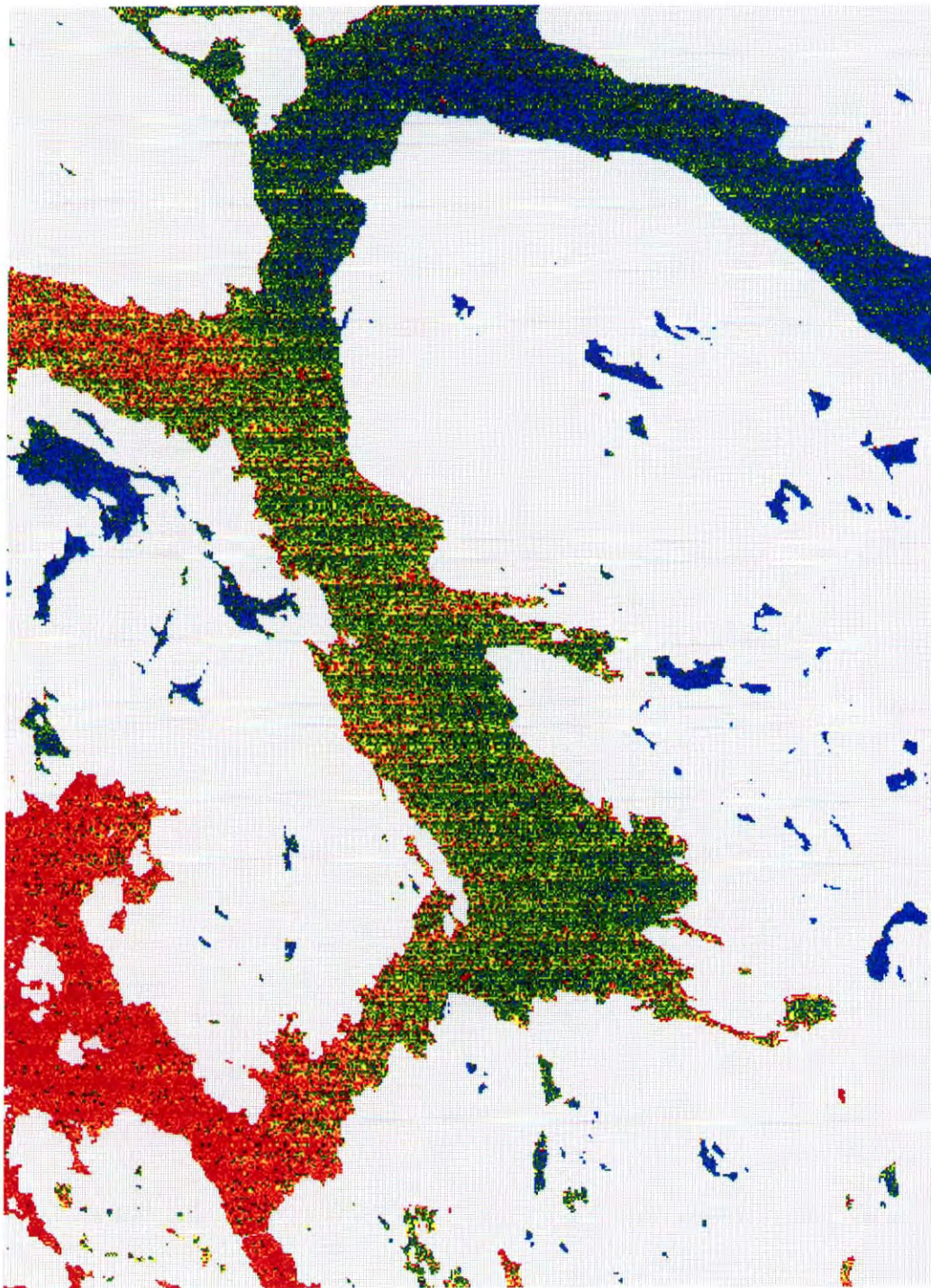
Lav

Høy

**Fig. 3.11.** Satellittbildet viser den relative temperaturfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 29. mars 1993. Satellittdataene er bearbeidet av NIVA på basis av data fra Thematic Mapper sensoren TM6 ombord i jordressurssatelitten Landsat-5.



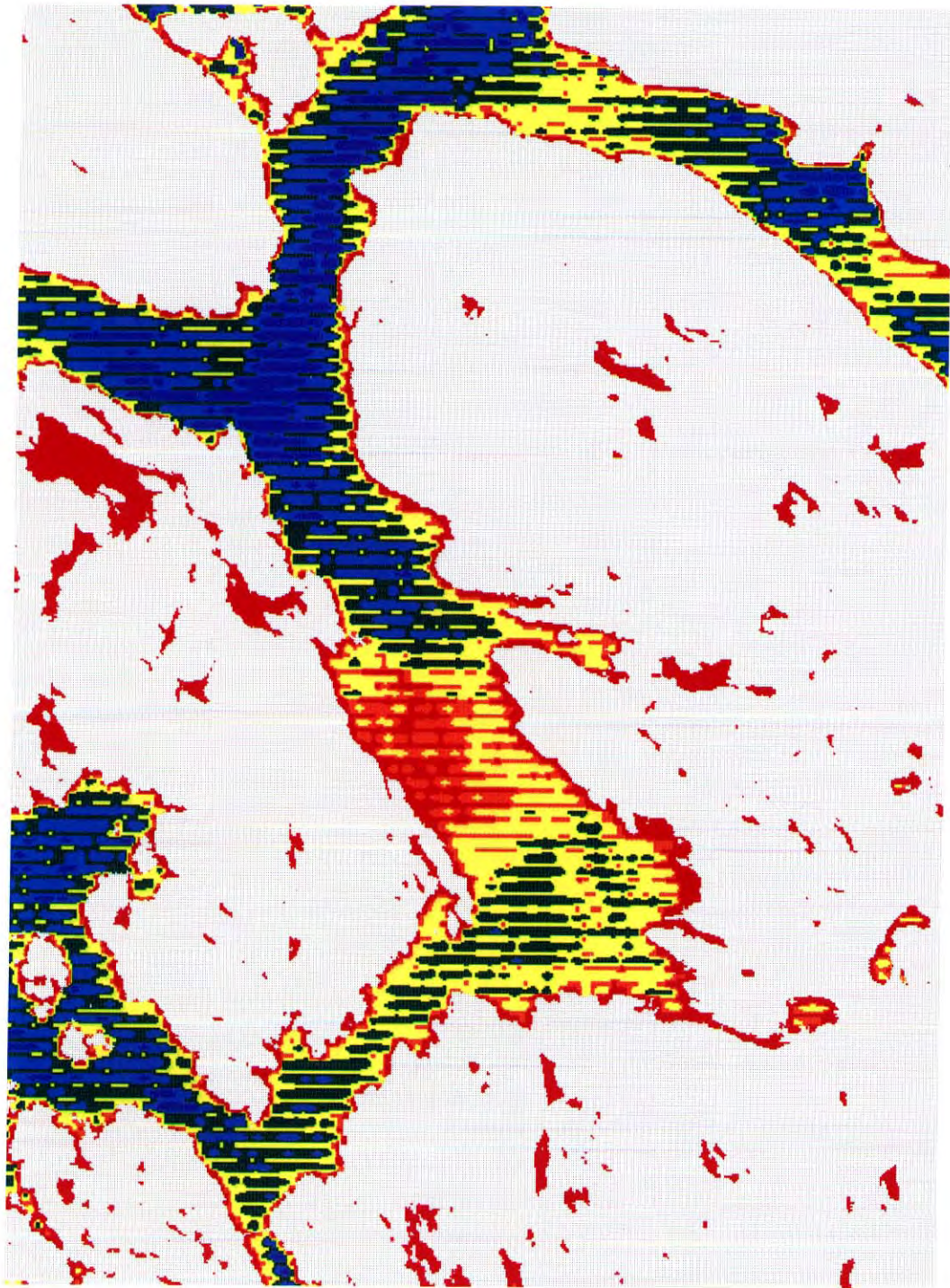
# Landsat kanal 1 6 juni 1990



**Fig. 3.12.** Satellittbilde som viser den relative partikkelfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 6. juni 1990. Satellittdataene er bearbejdet av NIVA på basis av data fra Thematic mapper sensoren TM1 ombord i jordressurs satellitten Landsat-5.

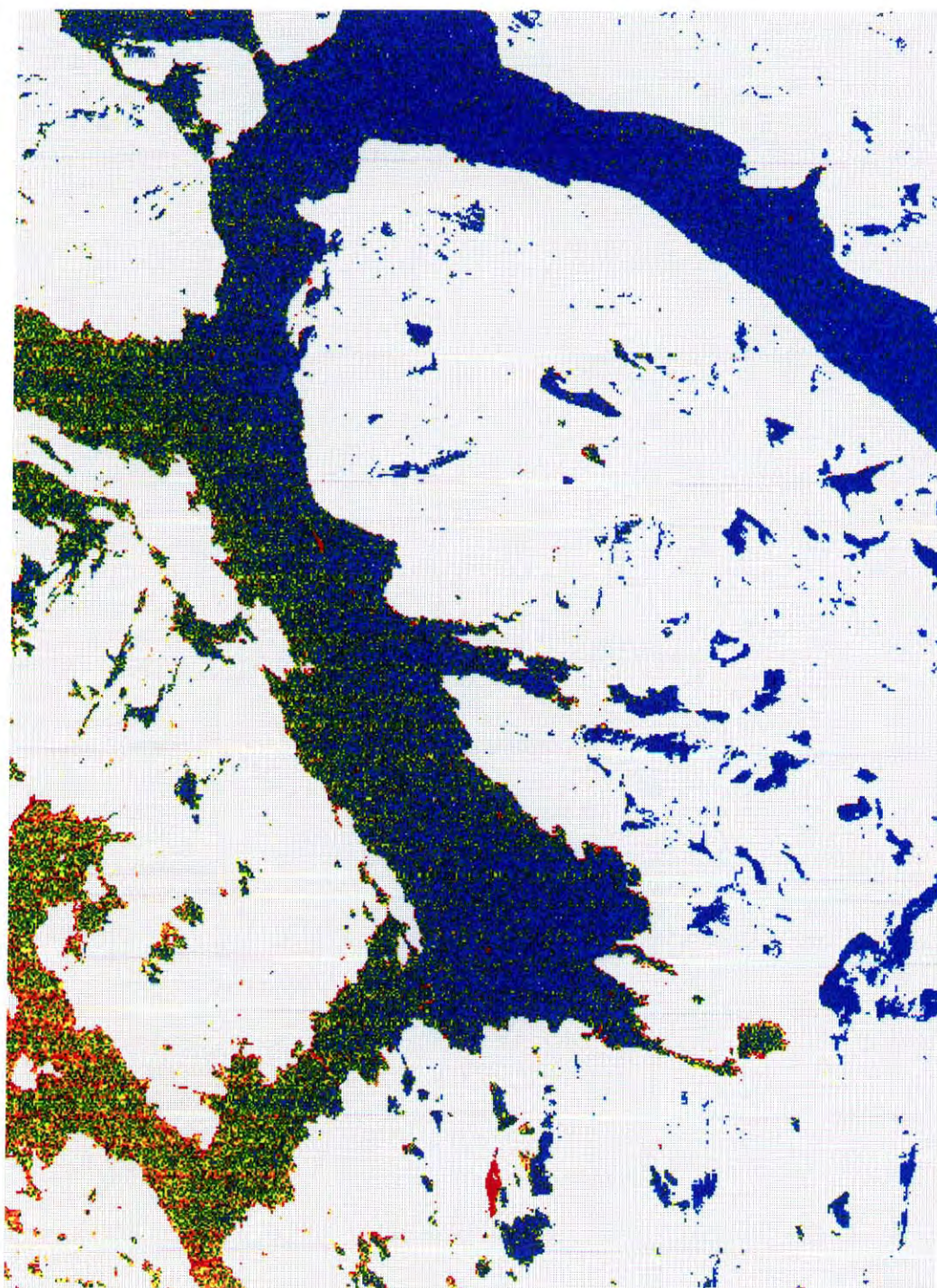


# Temperatur 6. juni 1990



**Fig. 3.13.** Satellittbildet viser den relative temperaturfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 6. juni 1990. Satellittdataene er bearbejdet av NIVA på basis av data fra Thematic Mapper sensoren TM6 ombord i jordressurssatelitten Landsat-5.

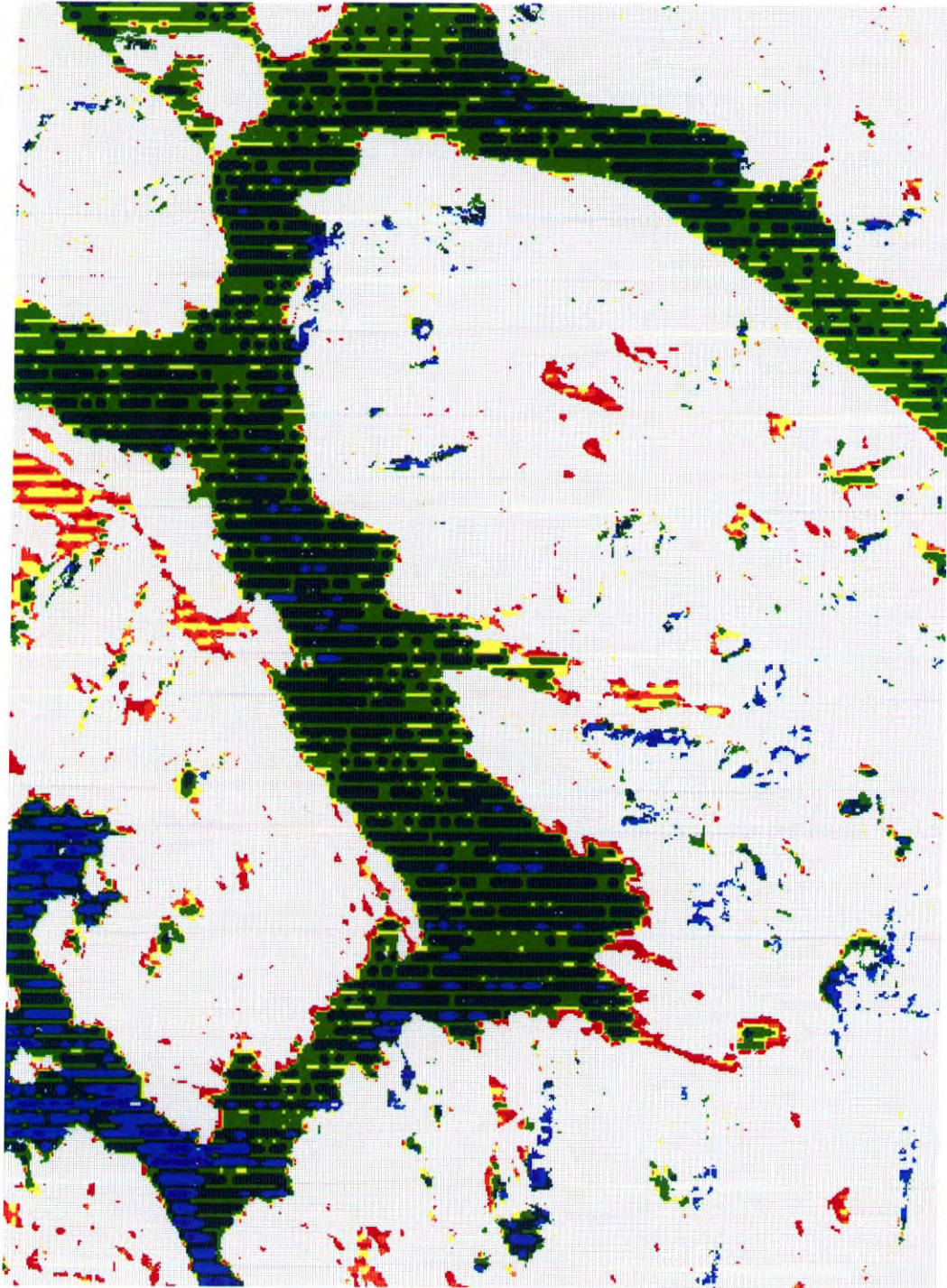




**Fig. 3.14.** Satellittbilde som viser den relative partikkelfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 31. august 1991. Satellittdataene er bearbejdet av NIVA på basis av data fra Thematic mapper sensoren TM1 ombord i jordressurs satelitten Landsat-5.



# Temperatur 31. august 1991



Lav

Høy

**Fig. 3.15.** Satellittbildet viser den relative temperaturfordelingen i de øvre vannmasser av Byfjorden og de nærmeste fjordene den 31. august 1991. Satellittdataene er bearbejdet av NIVA på basis av data fra Thematic Mapper sensoren TM6 ombord i jordressurssatellitten Landsat-5.

## 4. MODELLBEREGNINGER

### 4.1. Formål

Bergen kommune tar sikte på utslipp av avløpsvann fra Sentrum Nord og Eidsvåg på ca. 40 m dyp. For å sikre fleksibilitet mht. utslipp av svært varierende vannmengder, vurderer man å anvende flere parallelle utslippsledninger som kan tas i bruk etter behov.

Modellberegningene som beskrives her, skal gi anbefalinger mht. utslippsdyp og utslippsarrangement, basert på vurderinger av gunstig innlagringsdyp og fortynning av avløpsvannet.

### 4.2. Metodikk

Avløpsvann har i praksis samme egenvekt som ferskvann, og er dermed lettere enn sjøvann. Ved utslipp på dypt vann i en fjord vil derfor avløpsvannet straks stige opp mot overflaten mens det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Dermed øker både volumet og egenvekten av denne "blandingsvannmassen" mens den raskt beveger seg oppover i vannsøylen. Hvis fjordvannet er lagdelt, dvs. det er lettere vann over tyngre vann, vil avløpsvannet ikke nå opp til overflaten. Grunnen er at egenvekten til blandingsvannmassen (avløpsvann+sjøvann) etterhvert blir lik egenvekten til det omkringliggende sjøvannet. Da stopper den vertikale bevegelsen og skyen av fortynnet avløpsvann begynner å bre seg horisontalt utover, mens den fortynnes videre. Vi sier at avløpsvannet **innlagres**. Dette er illustrert i fig. 4.1.

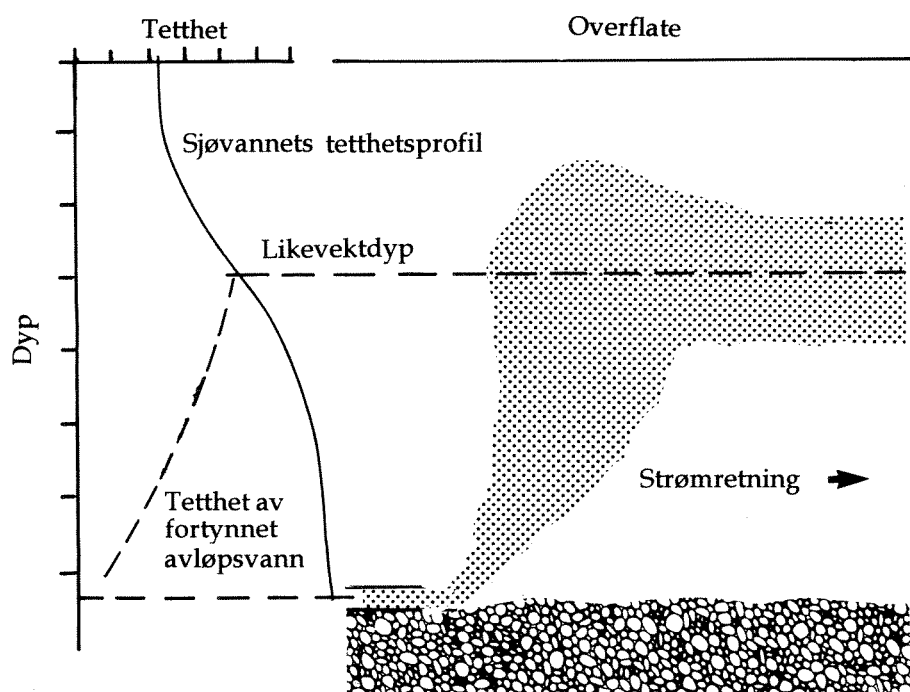


Fig. 4.1 Illustrasjon av hvordan avløpsvann innlagres i en lagdelt vannmasse.

Beregningene utføres i to trinn. Først beregnes innlagringsdyp og primærfortynning er utført med et EDB-program, NIVA\*JET.MIX utarbeidet av Bjerkeng og Lesjø (1973). Programmet beregner fortynning og innlagringsdyp for en enkelt stråle avløpsvann i en sjiktet resipient, på basis av tetthetsprofiler i resipienten og data om strålen i utløpet. Programmet beregner ikke eksakt innlagringsdyp, men gir det nivået der "blandingsvannets" egenvekt er den samme som omgivelsenes egenvekt. Blandingsvannets vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at det stiger noe forbi dette "likevektsdypet", før det synker tilbake og innlagres. I det følgende vil imidlertid innlagringsdyp være ensbetydende med likevektsdypet.

Dataprogrammet beregner imidlertid den teoretisk høyeste opptrengning på to måter:

- ved fortsatt fortynning etter at likevektsdypet er "passert" (EQS).
- uten blanding eller friksjon etter likevektsdypet er "passert" (GRAV).

Det første metoden (EQS) antas å gi mest sannsynlig resultat.

JETMIX inkluderer ikke virkningen av varierende strømhastighet, "sammensmelting" av strålene fra forskjellige diffusorhull og fortynningen videre i strømmens retning etter at avløpsvannet er innlagret. For å simulere dette anvendes modellen **PLUMES**, som det amerikanske EPA anbefaler for denne type beregninger (Baumgartner et al., 1994).

Til beregningene med PLUMES brukes den kombinasjonen av hulldiameter og antall hull som gir gunstigst innlagring og primærfortynning. Med disse størrelsene, de aktuelle vannmengdene og strømhastighet 5 og 15 cm/s gjøres beregninger for en typisk vertikalprofil og en profil med mindre gode innlagringsforhold.

### **4.3. Data**

I beregningene av innlagringsdyp og primærfortynning med NIVA\*JETMIX anvendes 46 vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet fordelt over tidsrommet 1.4 1984-1.4 1994. Målingene er utført av Universitetet i Bergen som en del av overvåkingsprogrammet for fjordområdene rundt Bergen. Tidspunktet for de enkelte profilene er gjengitt i Vedlegg 1. Antall profiler er så stort at det kan antas å dekke de vanligste meteorologiske og hydrografiske situasjoner i Byfjorden.

Den enkelte vertikalprofil inneholder vanligvis målinger av temperatur og saltholdighet i 0, 5, 10, 20, 50, 100 m dyp. For nøyaktig beregning av innlagring og fortynning hadde det vært meget ønskelig at profilene inneholdt målinger i flere dyp mellom overflaten og 40 m dyp. Spesielt gjelder det intervallet 0-20 m.

Beregningene er gjort for en rekke kombinasjoner av vannmengder, antall utslippsledninger, hulldiameter og antall hull (tabell 4.1). Bergen kommune oppgir at det er aktuelt å bruke inntil tre utslippsledninger. Vi påpeker at beregningene for 400 l/s gjennom en utslippsledning også dekker midlere vannføring (800 l/s) gjennom to ledninger og 1200 l/s (maks. vannføring) fordelt på 3 ledninger.



Utslippsdyptet er satt til 40 m og avstanden mellom diffusorhullene 4 m.

**Tabell 4.1.** Grunnlag for beregning av innlagingsdyp og primærfortynning ved utslipp i 40 m dyp.

Vannmengder	Antall ledninger	Hulldiameter	Antall hull
240 l/s	1	15, 20, 26 cm	5, 8
400 l/s	1	15, 20, 26 cm	5, 8

#### 4.4. Resultater

##### Beregninger med NIVA\*JETMIX

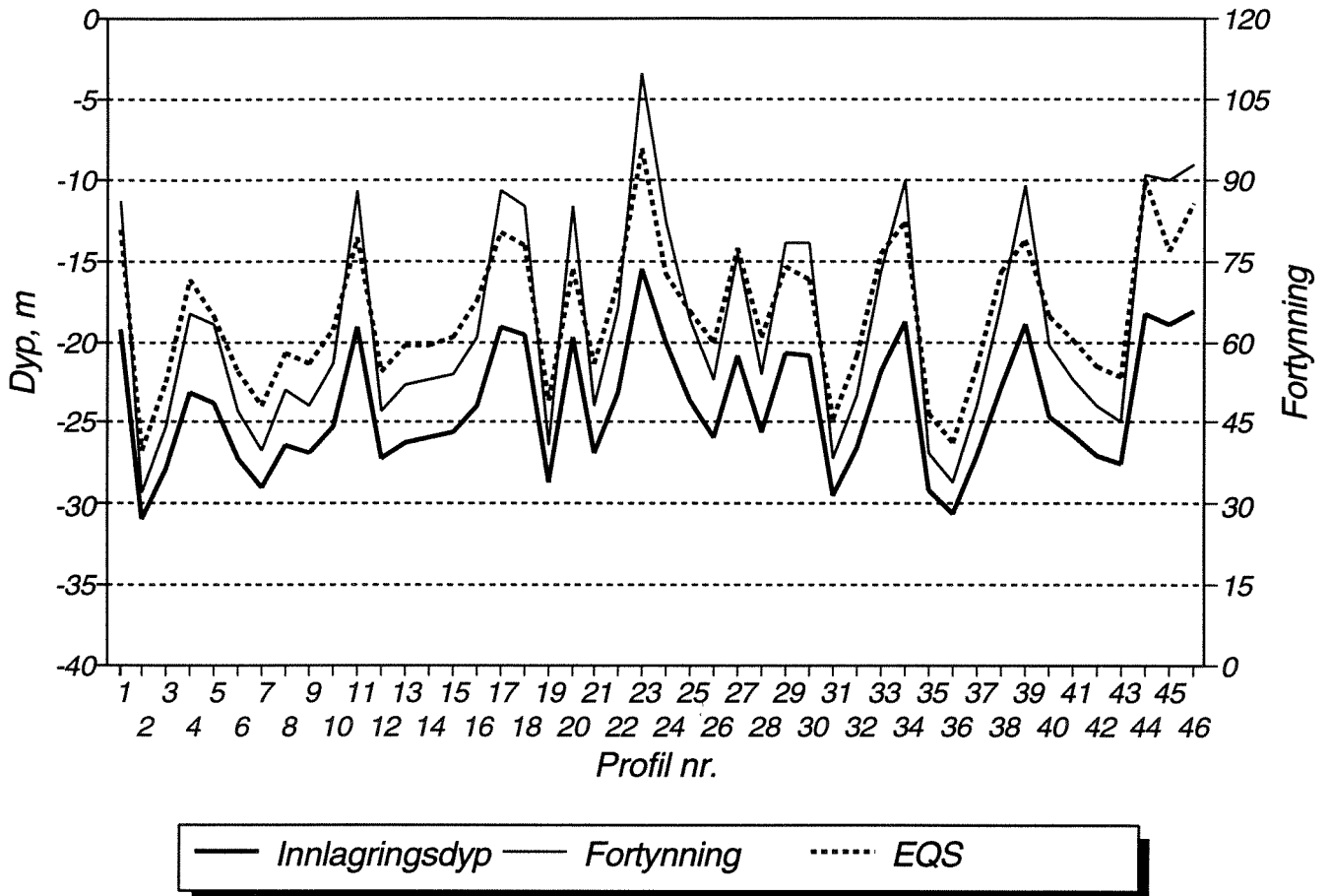
Tabell 4.2 sammenfatter resultatene av beregningene med NIVA\*JETMIX. Tabellen viser likevektsdyptet med tilhørende senterfortynning. Dypest og høyest innlagring forekom henholdsvis 1.8.84 og 1.10.91. Beregningene av høyeste opptrengning (EQS, se kap. 4.2) tyder på at ved innlagring høyt oppe i vannmassen kan avløpsvannet muligens stige opp til ca. 5 m dyp før det synker tilbake og innlagres. Denne maksimale opptrengning er vanskelig å bedømme fordi det mellom overflaten og 10 m dyp bare finnes data fra 5 m dyp, som er for svakt grunnlag for en sikker vurdering av strålebanen i dette intervallet. Her vil imidlertid en hulldiameter på 15-20 cm gi noe dypere innlagring enn hulldiameter 26 cm. For øvrig påpekes at denne situasjonen bare er aktuell for profilene nr. 23 (1.2 1984) og nr. 44 (1.12 1993), dvs. bare to av 46 situasjoner og begge i vinterhalvåret.

Oftest innlagres avløpsvannet i 20-25 m dyp. Fig. 4.2 viser beregninger av likevektsdyp, høyeste opptrengning og fortynning for de 46 situasjonene. Vannmengden er 400 l/s gjennom 8 hull med diameter 15 cm (jfr. tabell 4.2). Vi ser at med unntak for profil nr. 23 så har man god margin mot gjennomtrengning til overflatelaget, med 24 m som gjennomsnittlig likevektsdyp.

Videre sees at primærfortynningen i sentrum av skyen med innlagret avløpsvann varierer i intervallet 32-110x, i gjennomsnitt 63x. Her tilføyes at gjennomsnittlig fortynning trolig oftest er ca. 1.5 x senterfortynningen.

Som tabell 4.2 illustrerer er forskjellen mellom de ulike kombinasjonene av utslippsparametre i gjennomsnitt forholdsvis liten, men flere og mindre hull gir noe større sikkerhet mot (et sjeldent forekommende) gjennomslag til overflatelaget i vinterhalvåret.

Utslipp av 400 l/s i 40 m dyp  
8 hull med diameter 15 cm



**Figur 4.2.** Beregnet innlagringsdyp, senterfortynning ved innlagring og høyeste optrenging (EQS) for de 46 hydrografiske profilene fra perioden 1984 - 1994 (Se vedlegg 1 for måletidspunkt).

### Beregninger med PLUMES

For sammenfattende beregninger av spredning og fortynning med varierende strømstyrke har vi valgt en profil som gir relativt dårlig (grunn) innlagring (profil nr. 23, 1.2 1984) og en profil med gjennomsnittlig innlagringsdyp og fortynning (profil nr. 25, 1.6 1984). Altså en vinter- og en sommersituasjon. Beregningene er gjort for svak strøm (5 cm/s) og gjennomsnittlig strømhastighet (her valgt 15 cm/s). De øvrige parametre er som for figur 4.2.

**Tabell 4.2.** Sammenfatning av beregninger av innlagringsdyp og primærfortynning (i sentrum av skyen med fortynnet avløpsvann) med JETMIX. Beregningene omfattet 46 situasjoner. Den kombinasjon av utslippsparmetre som vises i fig. 4.2 er merket med skravur.

Vannmengde l/s	Hulldiameter cm	Dyp, m (n=5)	Fortynn. (n=5)	Dyp,m (n=8)	Fortynn. (n=8)
240	15	15-30	32-110	16-30	35-127
	20	14-29	31-104	15-29	34-123
	26	14-28	31-104	15-29	34-120
400	15	14-31	32-99	15-30	32-110
	20	13-29	28-92	14-29	31-104
	26	12-28	27-88	14-28	31-104

Beregningene av innlagringsdyp og primærfortynning samsvarer godt med resultatene fra JETMIX\*NIVA, og bekrefter at først og fremst at ved den aktuelle vintersituasjonen er der en viss risiko for gjennomslag til overflaten. I første rekke gjelder det for situasjoner med liten strømhastighet. Sterk strøm fører til at den oppadstigende skyen av fortynnet avløpsvann bøyer av i strømrretningen, og innlagringen skjer litt dypere enn ved svak eller ingen strøm.

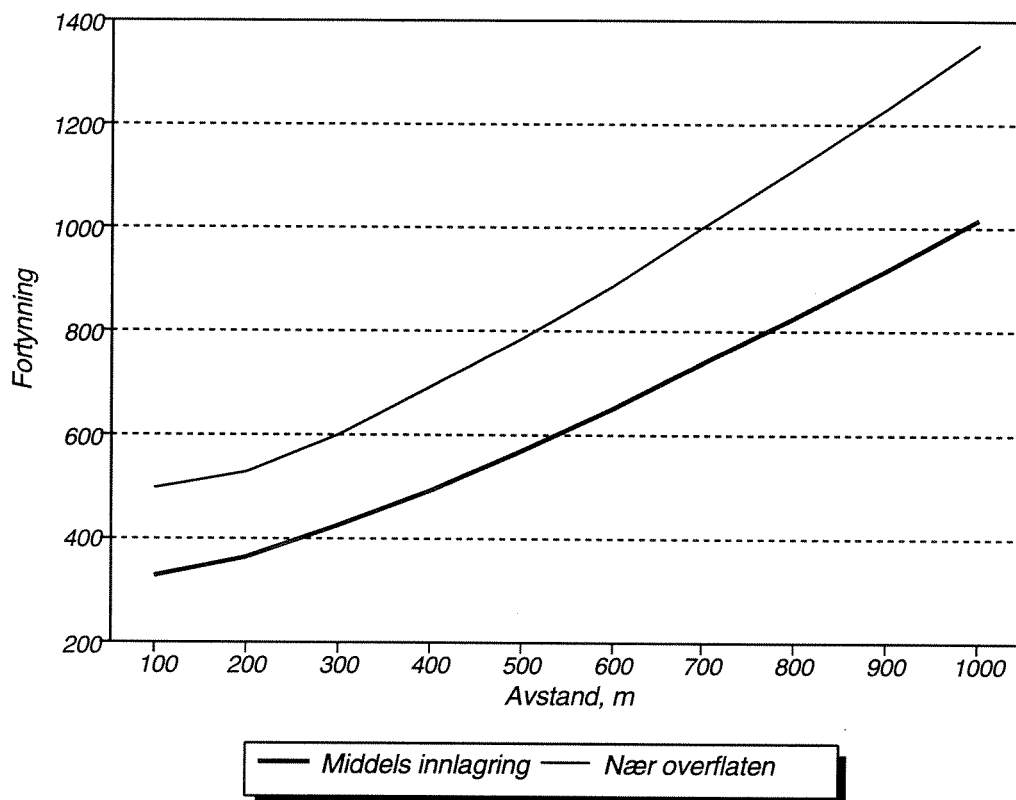
Tykkelsen av skyen med fortynnet avløpsvann vil være 10-15 m ved innlagring i 20-25 m dyp. Ved innlagring nær overflaten kan tykkelsen øke til omkring 20-25 m, noe som illustrerer risikoen for innblanding i selve overflatevannet. Man skal imidlertid være klar over at i øvre og nedre ytterkant av skyen vil fortynningen være svært stor.

Ved innlagring nær overflaten vil primærfortynningen foregå over en lenger strekning enn ved innlagring omkring 24 m dyp, og fortynningen blir tilsvarende større. Dette er illustrert i figur 4.3. Vi nevner at ved en fortynning mer enn 400x vil ikke fargen av det fortynnede avløpsvannet uten videre kunne skjernes fra omgivelsene. Derimot kan det tenkes at et gjennombrudd til overflaten i stille vær kan registreres ved at det i et lite område er mer partikler enn vanlig, evt. noe synlig fett eller olje. Selve vannkvaliteten vil selvsagt bli tilsvarende påvirket.

**Kort oppsummering:**

1. *Utslipp i 40 m dyp synes å være et passende valg.*
2. *Man kan ikke utelukke sjeldent forekommende situasjoner da sterkt fortynnet avløpsvann innblandes i fjordens overflatelag.*
3. *Mindre hulldiameter og flere hull gir større sikkerhet mot gjennomslag til overflaten enn hovedalternativet (diameter 26 cm og 5 hull pr. ledning).*

Det tilføyes at vi i tilknytning til pkt. 2 ovenfor ikke har vurdert de ulike energibudsjettene (trykkhøyde) for ulike alternativer.



**Fig. 4.3.** Gjennomsnittlig nedstrøms fortynning i skyen av avløpsvann etter innlagring. Utslippsdyp 40 m, vannmengde 400 l/s, hulldiameter 15 cm og 8 hull. Strømhastighet 15 cm/s.

## 5. SAMMENFATTENDE KONKLUSJONER

### 5.1. Prosjektstrategi

Måleprogrammet i Byfjorden i perioden oktober 1994-april 1995 og de påfølgende beregningene og utredningene utgjør til sammen et omfattende materiale for å kunne vurdere og rangere de tre alternative utslippslokalitetene Sandviksflaket, Breiviken og Eidsvågneset i forhold til den lokale vannutskiftingen.

Strategien for måleprogrammet var å sikre mest mulig supplerende informasjon i tillegg til selve strømmålingene i de tre tenkte utslippspunktene. Dette dels for å ta høyde for eventuelle nye problemstillinger som måtte dukke opp undervegs, og dels for å skaffe ekstra data som kunne støtte opp under vurderingene dersom strømmålingene ikke skulle ha tilstrekkelig utsagnskraft i seg selv.

Det må presiseres at NIVAs program gjalt å vurdere fysiske faktorer som sjiktning og spredningsbetingelser for utslippsvann, og ikke vurdering av mulige miljømessige effekter (biologi, kjemi) av utslippene.

Måleresultatene for strøm syntet seg å ha god utsagnskraft i seg selv, i forhold til problemstillingen. Dette resulterte i at en detaljert gjennomgang og analyse av all innsamlet tillegginformasjon ikke var nødvendig.

Det var ikke rom for å få utført målinger om sommeren innenfor den begrensede tidsrammen for programmet. Dette er gjerne den mest kritiske perioden m.h.t. miljøeffekter, både på grunn av høye temperaturer, algevekst og det faktum at folk ferdes mye i fjordområdet på den årstiden, og dermed lettere legger merke til eventuelle effekter.

Den alternative strategien var derfor å supplere målingene i vinterhalvåret med mest mulig eksisterende data som også innbefattet sommerhalvåret. Universitetet i Bergen sine hydrografiske målinger var her svært nyttige. I tillegg ga satellitt-dataene nyttig tilleggsinformasjon.

### 5.2. Generelt om resipienten

Byfjorden som sådan kan regnes for å ha god resipient-kapasitet. En nyere undersøkelse av næringssalter og oksygen konkluderte med at verken dypvann eller vann i øvre lag er vesentlig påvirket av kommunale utslipp. Enkelte lokale effekter kan imidlertid spores, bl. a. i målingene sør for Eidsvågneset (Lilletvedt 1994).

Med et samla vannvolum på  $9.4 \text{ km}^3$ , utgjør de planlagte utslippene på anslagsvis ca. 800 l/s små vannmengder i seg selv. Om en betrakter tilførslene i forhold til det øverste 10 m tykke laget med volum ca  $0.5 \text{ km}^3$ , utgjør de daglige tilførslene ca. 0.2 promille av volumet. Anslagsvis det samme forholdstallet gjelder for utslippets størrelse i forhold til den kontinuerlige gjennomstrømmingen i øvre lag i Byfjorden. Om det framtidige utslippet gis betingelser for å kunne spres effektivt i større deler av fjorden, bør effektene generelt sett på vannkvalitet bli små, og kontinuerlig målbare kun i en viss nærsone til utslippet.

I forhold til SFTs tilstandsklasser for vannkvalitet i fjorder ligger Byfjorden i kategori I ("god") for fosfor og oksygen (i dypvann), og II ("mindre god") for nitrogen.

### 5.3. Modellberegningene

NIVAs modellberegninger for avløpsvann som slippes ut i 40 m dyp, synte at innlagring skjer i 20-25 m dyp under de aller fleste betingelser. Det var godt samsvar mellom resultatene basert på NIVAs egen modell "JETMIX" og modellen "PLUMES" som er utviklet av US EPA.

I enkelte situasjoner i vinterhalvåret kan opptrenging til såpass grunt nivå som 5 m under overflaten skje, og spor av utslippsvannet i overflaten vil teoretisk kunne merkes i stille vær i form av litt mer partikler enn ellers, evt. noe synlig fett. Sannsynligvis dreier dette seg om sjeldne situasjoner.

Det er lite som skiller de tre lokalitetene når det gjelder hydrografiske forhold. Modellberegningene som er basert på målinger mer sentralt i Byfjorden, bør derfor være representative for alle tre lokalitetene.

### 5.4. Strøm og vannutskifting

Når det gjelder strømforhold og vannutskiftingsbetingelser, rangeres Sandviksflaket sist blant de tre lokalitetene. Både tidsseriene fra fast forankrede instrumenter og strømkorsmålinger synte at dette området har moderat til svak strøm, varierende strømretning og hyppig dannelse av bakevjer.

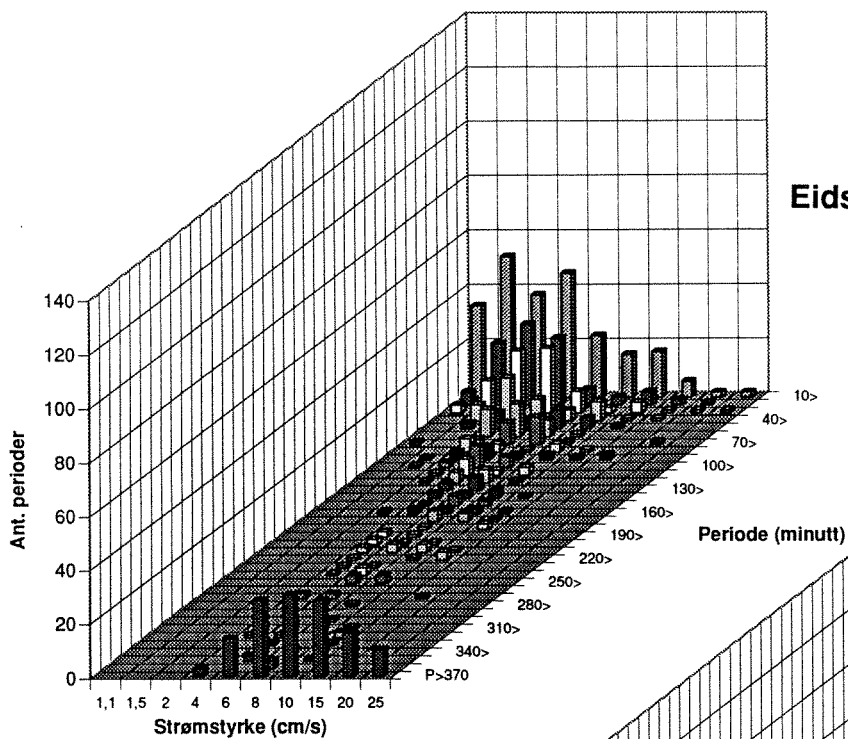
Perioder med vedvarende svak strøm forekom hyppigst på Sandviksflaket, og i minst grad ved Breiviken. Sandviksflaket hadde mange lange perioder med strøm vedvarende under 2 cm/s, mens slike perioder var fraværende ved Breiviken og Eidsvågsneset. Dette framkommer som resultat av en varighetsanalyse for høst-målingene i 10 m dyp på de tre stedene. Resultatene er vist i fig. 5.1. Antall perioder hvor strømmen vedvarende lå under gitt grense (X-aksen), f.eks. 2 cm/s, er fordelt i forhold til aktuell varighet for disse periodene (Y-aksen).

Satellitt-bildende viser også at det på Sandviksflaket tidvis er større partikkelmengder i vannet enn på de to andre lokalitetene, og at vannet tidvis er varmere der, sannsynligvis som følge av mer stagnerende vann.

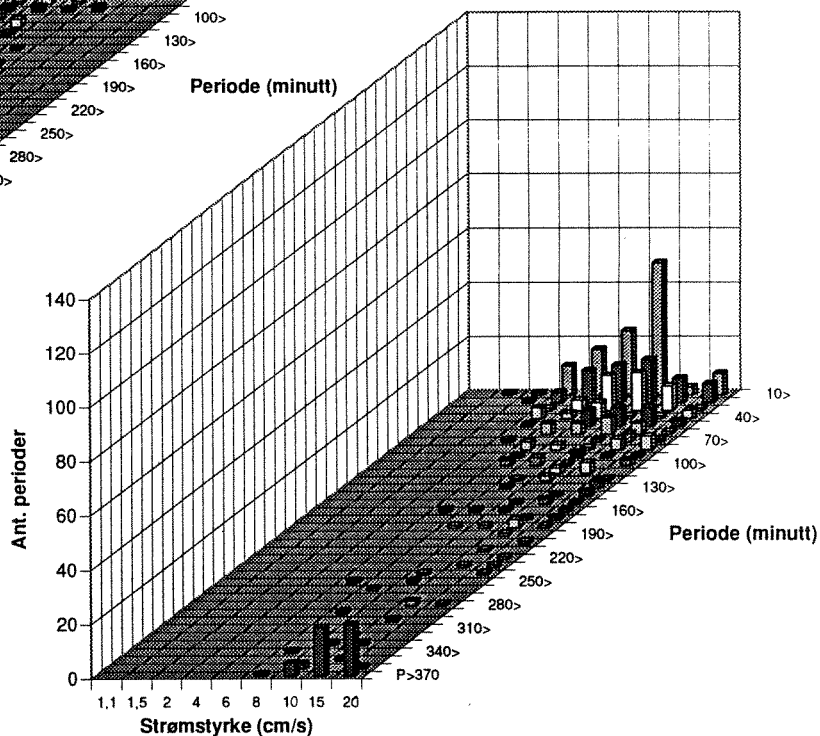
For de to andre lokalitetene er det mindre som skiller når det gjelder strømforholdene. Breiviken har den mest ensrettede strømmen, med hovedretning mot nordvest. D.v.s. ut fra land og ut i fjordsystemet. Dette var imidlertid også tendensen ved Eidsvågsneset.

Både ved Breiviken og Eidsvågsneset var det antydning til stagnerende overflatevann helt inne ved land, mens strømmen over planlagt utslipp var sterk, med retning langs land. For den foreliggende problemstillingen synes ikke antydningene til stagnasjon inne ved land å ha betydning. Utslippsvannet vil begge stedene slippes ut og innlagres lenger ute fra land og under overflatelaget, hvor strømforholdene er gunstige for spredningen.

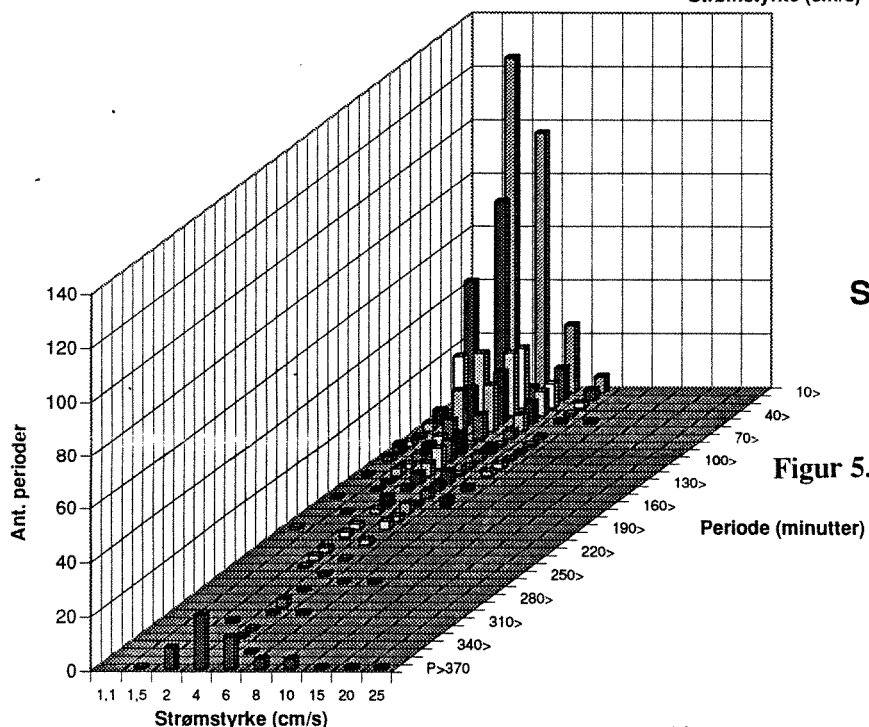
Alternativet Eidsvågsneset har en teoretisk mulighet for at innlagret utslippsvann i gitte situasjoner kan strømme inn i Eidsvågen. Våre målinger gir ikke dokumentasjon på dette, snarere at strømmen fortsetter rakt nordover. Men muligheten til innstrømming kan ikke helt utelukkes. Modellberegninger av strøm/spredning i Byfjorden som tidligere er utført av Nansensenteret, indikerte også at forurensing fra Byfjorden (utslipp fra Sentrum Sør) kan havne inne i Eidsvågen. Det synes her være en viss inkonsistens, og forholdene burde muligens undersøkes noe nærmere.



**Eidsvågneset 10 m, okt. 1994**



**Breiviken 10 m, okt. 1994**



**Sandviken 10 m, okt. 1994**

**Figur 5.1.**

Resultat av varighetsanalyse for strømmålingene i 10 m dyp, oktober 1994. Matrisene viser fordelingen (antall) av perioder med gitt varighet (Y-akse) hvor strømmen vedvarende lå under gitt hastighetsgrense (X-aksen).

Satelittbildene viste at området vest for Eidsvågsneset mot Askøy utgjør en front-sone hvor vann i alle fall i enkelte situasjoner danner en mot-urs virvel, med en sørgående strøm langs østsida av Askøy. Dette kan i så fall medføre at utslippsalternativet Eidsvågsneset er noe mindre gunstig enn Breiviken, i og med at utslippsvann vil gå direkte inn i en strømvirvel i fjorden i stedet for å fortynnes med stadig økende avstand fra utslippspunktet. De forhøyete næringssalt-verdiene som er sporet i snittet ved Eidsvågsneset (Lilletvedt 1994) kan være en effekt av en slik virvel.

Ut fra det ovenstående, synes Breiviken å framstå som det beste utslippsalternativet, med Eidsvågsneset som nr. 2. Ut fra de lokale strømforholdene synes begge disse alternativene å være tilfredsstillende. På grunn av en del teoretiske/mulige forhold vedrørende Eidsvågsneset rangeres imidlertid denne lokaliteten lavere enn Breiviken.

Nærmere undersøkelser omkring muligheten for innstrømming til Eidsvågen, og om den lokale virvelen vest for Eidsvågsneset vil kunne bidra til å redusere usikkerhetene omkring Eidsvågsneset som utslippsalternativ. Slike undersøkelser kan inngå som del av en større undersøkelse av det generelle strømningsmønsteret i Byfjorden, omfattende både dypvann og øvre lag.



# LITTERATUR

Baumgartner, D.J, Frick, W.E. and Roberts, P.J.W, 1994: Dilution models for effluent discharges (Third Edition). Center for Exposure Assessment Modeling. U.S. EPA, Environmental Research Laboratory. Athens, Georgia, USA. 189 pp.

Bjerkeng, B. og Lesjø, A., 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. PRA 5.7. NIVA rapport O-126/73. Oslo.

BSF 1992: MOMS. Utvikling av et overvåkings- og modellsystem for fjorder og kyststrøk. Programforslag, Bergen Forskingsstiftelse, Div. Marint miljø og ressurser, 42 s.

Helle, H. B. 1975: Oseanografisk resipientundersøkelse av fjordene rundt Bergen 1973-74. Rapp. juni 1975, Geofysisk institutt, Univ. i Bergen, 44 s.

Lilletvedt, H. 1994: Næringssaltregnskap i Byfjorden, Bergen. Menneskeskapt tilførsels påvirkning i Byfjorden, med hovedvekt på kommunalt avløpsvann. Hovedoppgave i VAR-teknikk, Inst. for vassbygging, NTH, 95s.

Linde, E. 1970: Hydrography of the Byfjord. Rapp. nr 20/1970 Geofysisk institutt, Univ. i Bergen, 40 s + vedl.

NHL 1991: Sentrum Syd hovedavløpsanlegg. Strømforholdene i Puddefjorden. Rapp. nr. STF60 F91099, SINTEF, Trondheim, 45 s (fortrolig).

Risheim, I. og P. Johannessen 1993: Spredning av næringssaltutslipp fra Bergen kommune. Rapp nr. 33/93, IFM, Univ. i Bergen, 77s.

# VEDLEGG 1

Datoer for vertikalprofiler som er brukt i modellberegningene

```
:> PLIB
PROFILE STATION RECTIME NO. OF DEPTHS
1 Sta4 800401 12 8
2 Sta4 800801 12 8
3 Sta4 801001 12 8
4 Sta4 801201 12 8
5 Sta4 810201 12 8
6 Sta4 810401 12 8
7 Sta4 810601 12 8
8 Sta4 810801 12 8
9 Sta4 811001 12 7
10 Sta4 811201 12 8
11 Sta4 820201 12 8
12 Sta4 820401 12 8
13 Sta4 820601 12 8
14 Sta4 820801 12 8
15 Sta4 821001 12 8
16 Sta4 811201 12 8
17 Sta4 830201 12 8
18 Sta4 830401 12 8
19 Sta4 830601 12 8
20 Sta4 830801 12 8
21 Sta4 831001 12 8
22 Sta4 831201 12 8
23 Sta4 840201 12 8
24 Sta4 840401 12 8
25 Sta4 840601 12 8
26 Sta4 840801 12 8
27 Sta4 841001 12 8
28 Sta4 841201 12 8
29 Sta4 910401 12 8
30 Sta4 910601 12 8
31 Sta4 910801 12 8
32 Sta4 911001 12 8
33 Sta4 911201 12 8
34 Sta4 920401 12 8
35 Sta4 920601 12 8
36 Sta4 920801 12 8
37 Sta4 921001 12 8
38 Sta4 921201 12 8
39 Sta4 930201 12 8
40 Sta4 930401 12 8
41 Sta4 930601 12 8
42 Sta4 930801 12 8
43 Sta4 931001 12 8
44 Sta4 931201 12 8
45 Sta4 940201 12 8
46 Sta4 940401 12 8
```

## **VEDLEGG 2**

Resultater fra strømmålingene

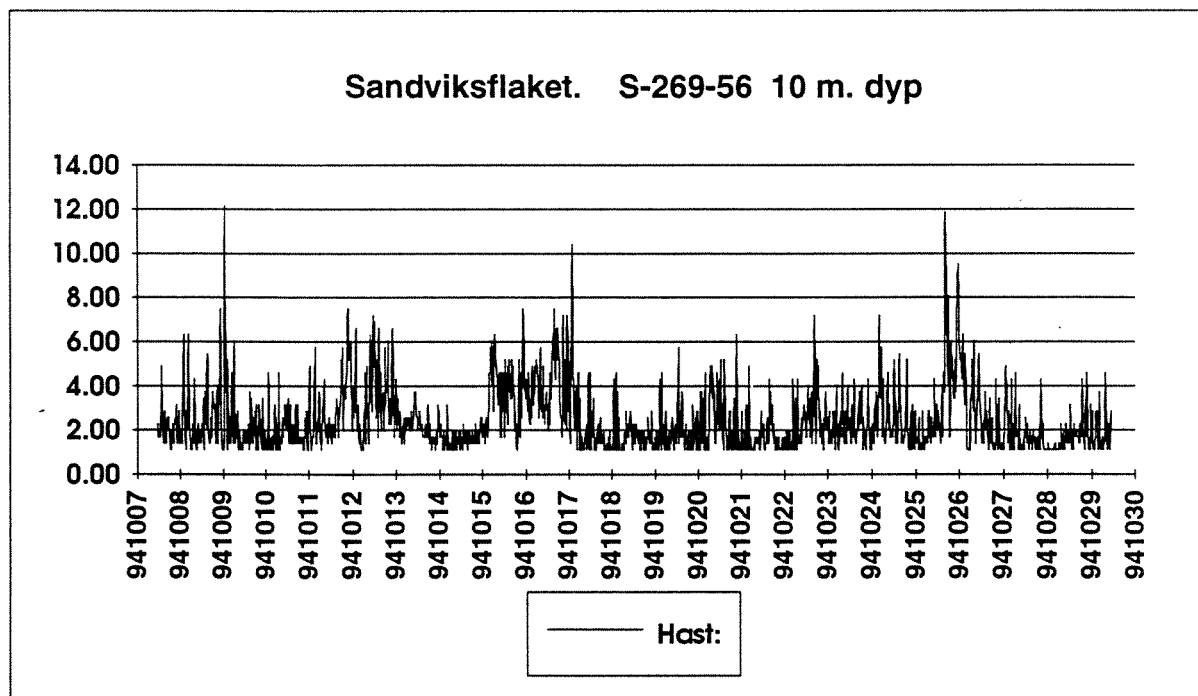
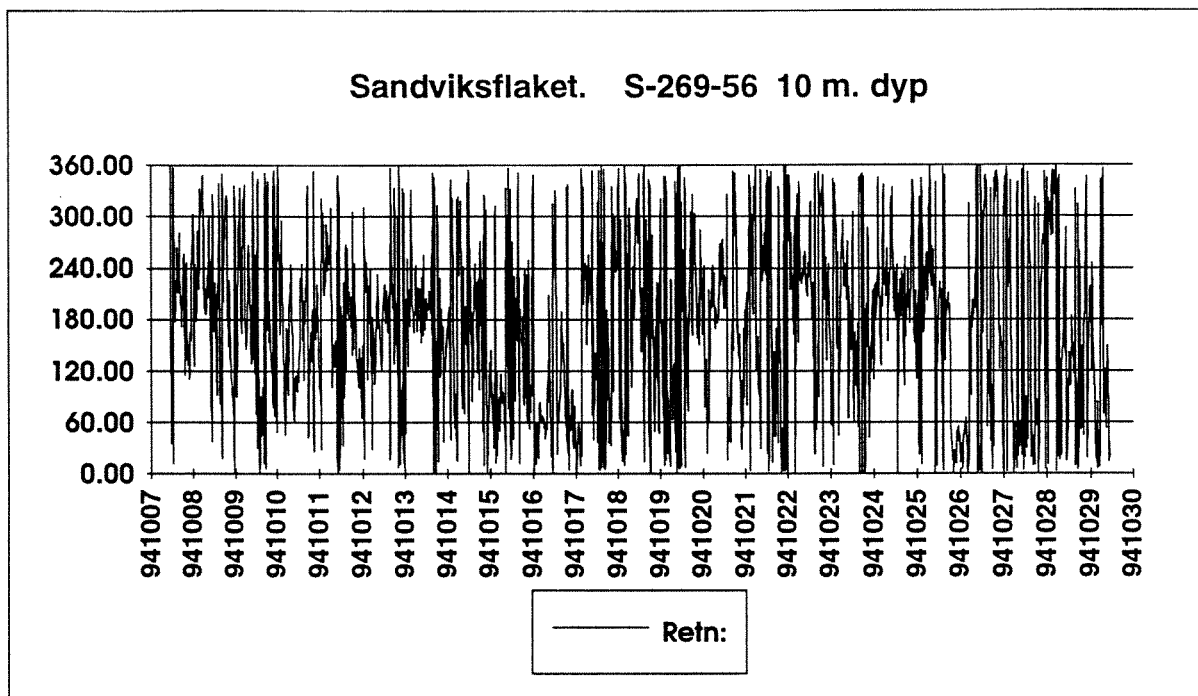


Fig. A1. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 10 m dyp på Sandviksflaket i perioden 7.-30. oktober 1994.

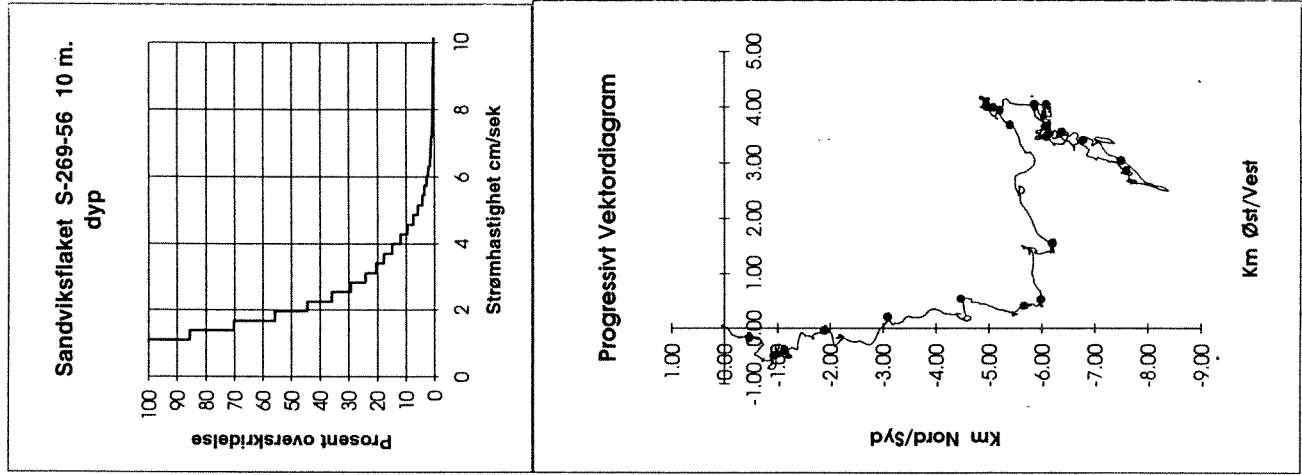
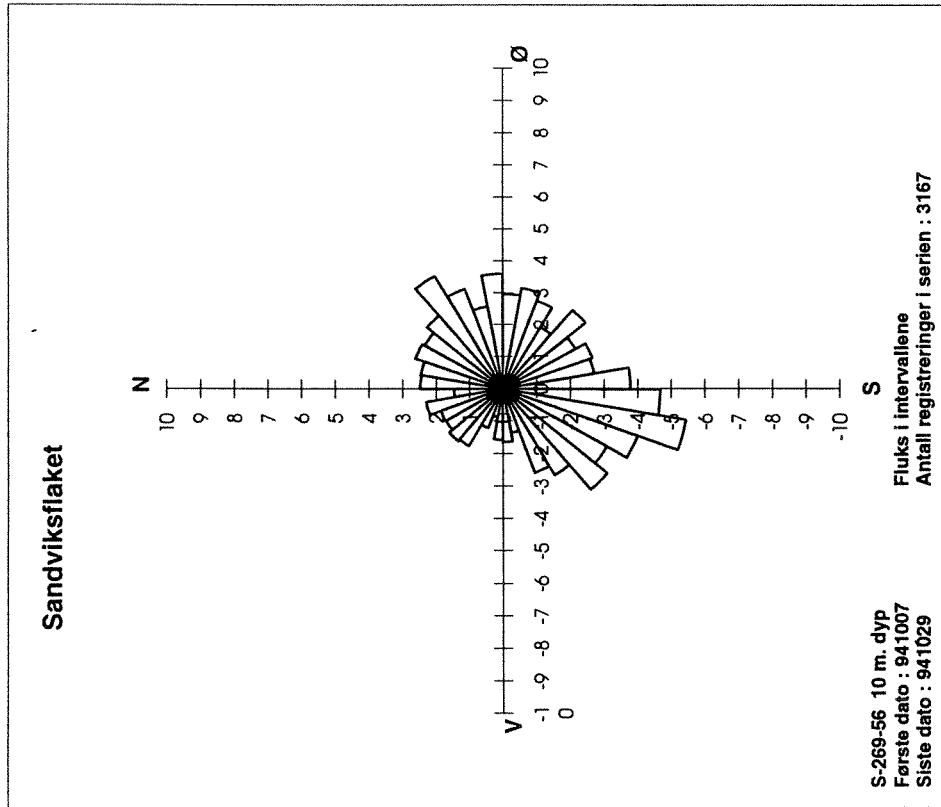


Fig. A2. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 10 m dyp på Sandviksflaket 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

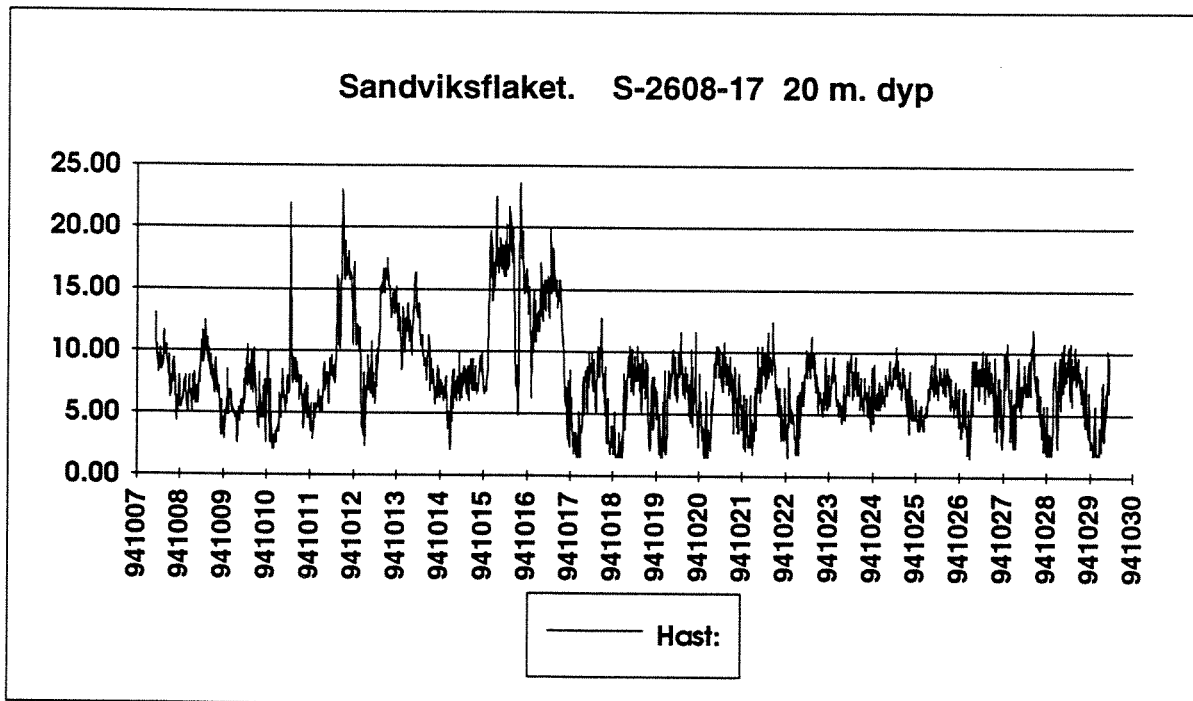
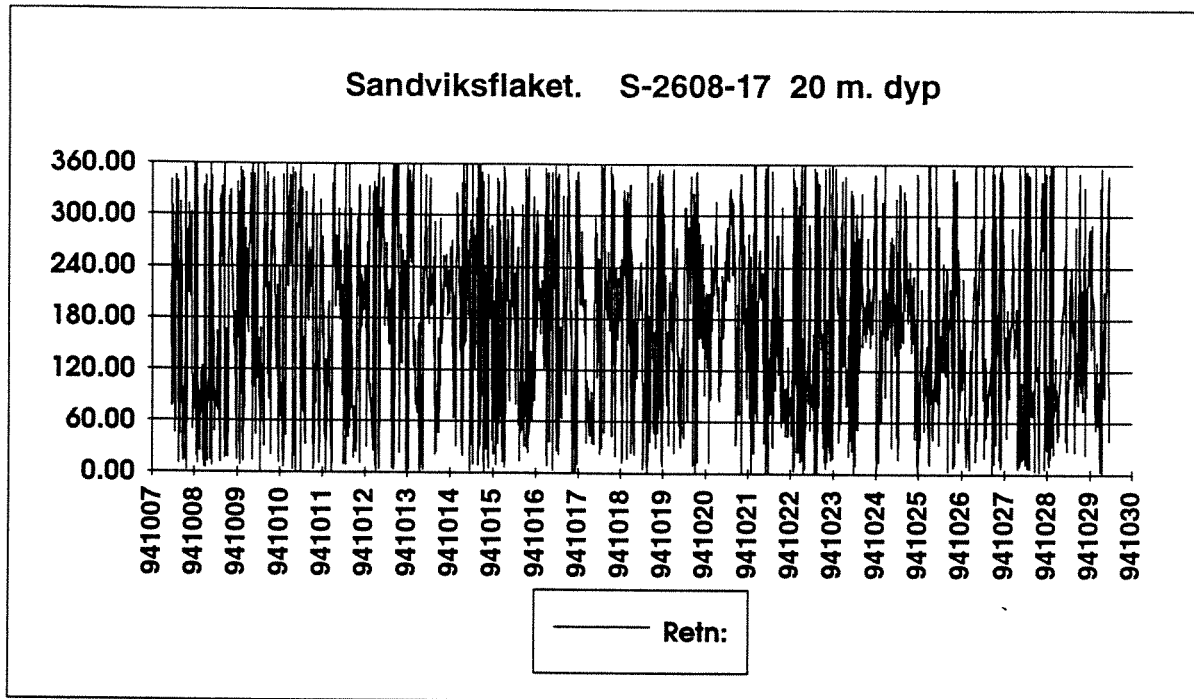


Fig. A3. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp på Sandviksflaket i perioden 7.-30. oktober 1994.

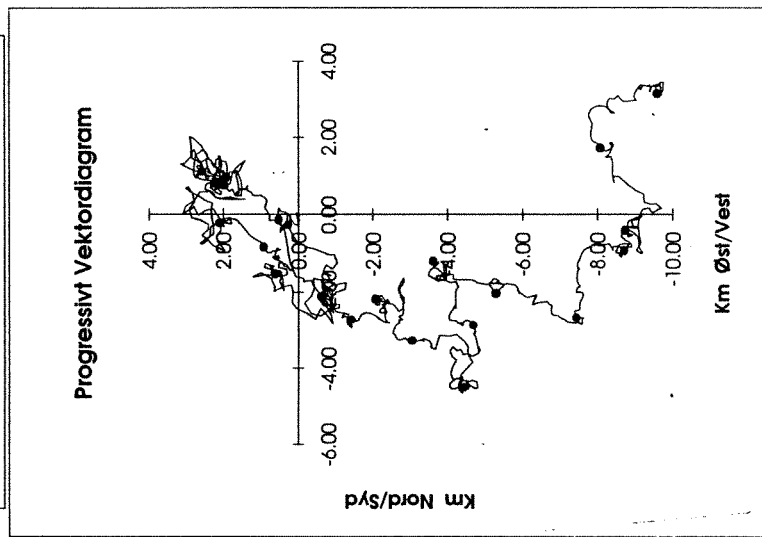
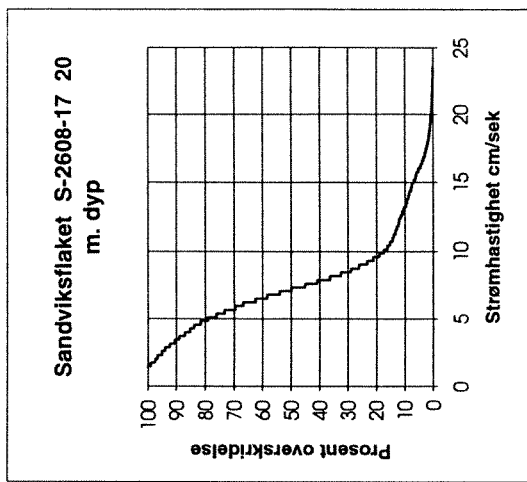
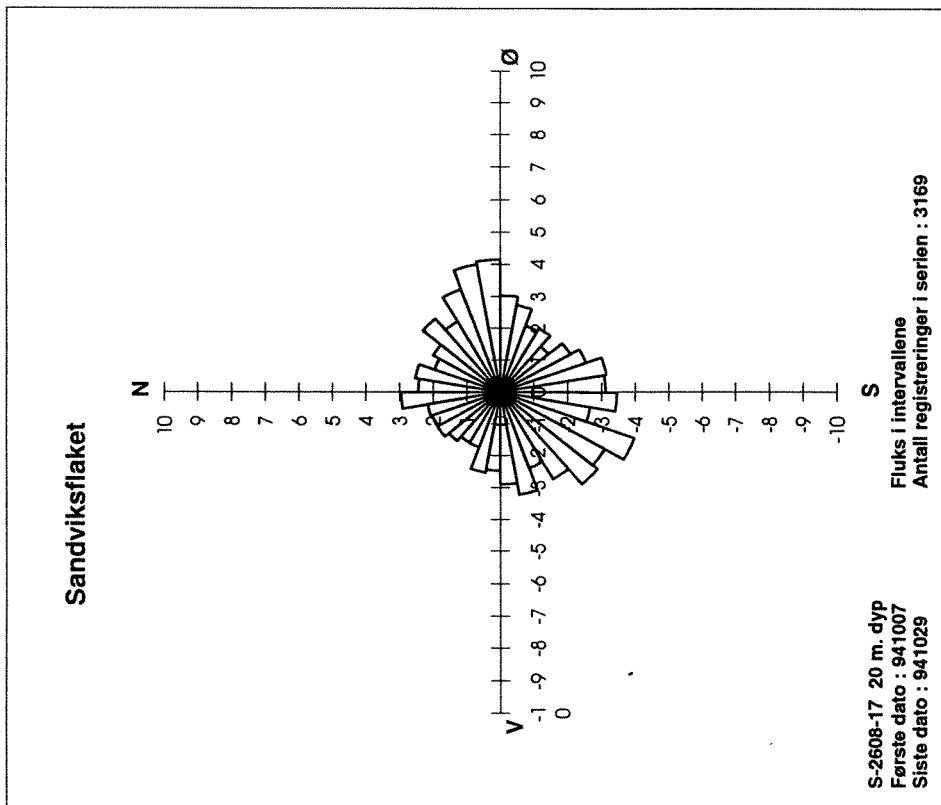


Fig. A4. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp på Sandviksflaket 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

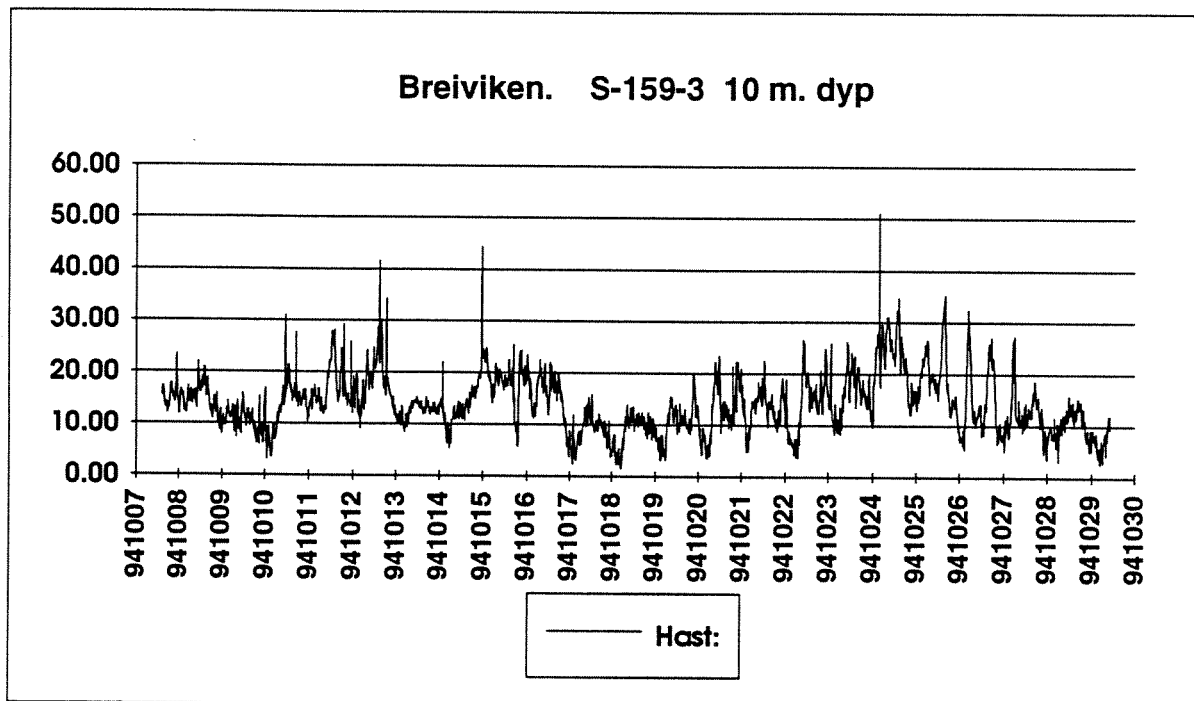
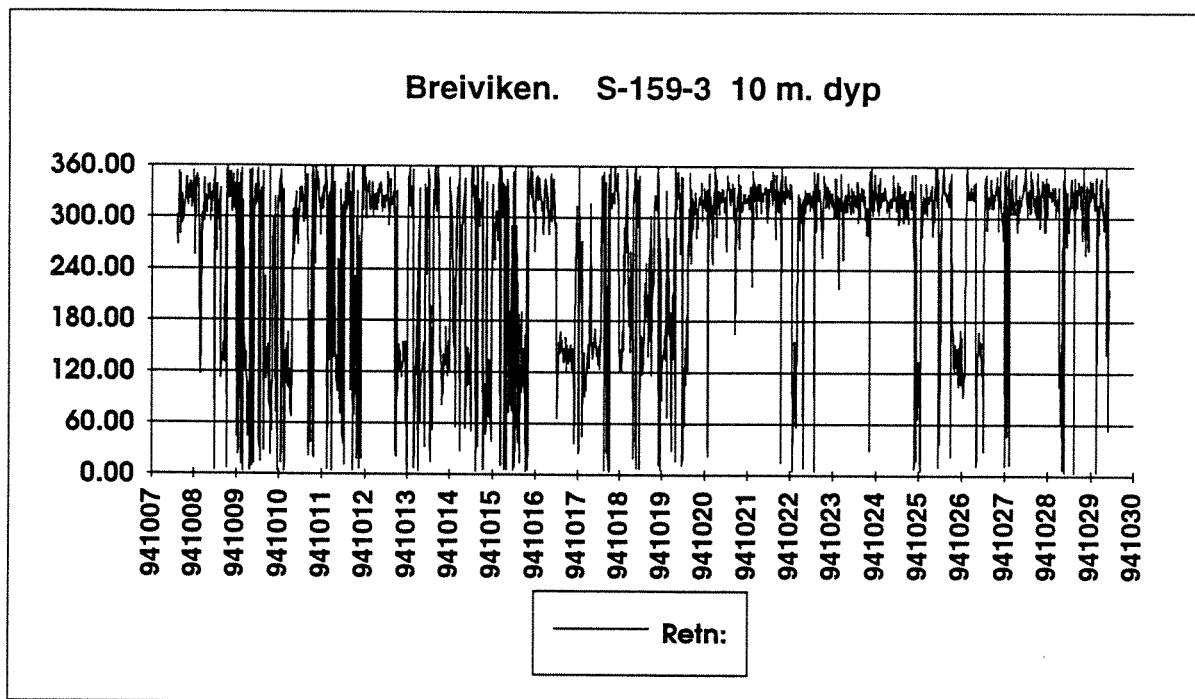


Fig. A5. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 10 m dyp ved **Breviken** i perioden 7.-30. oktober 1994.



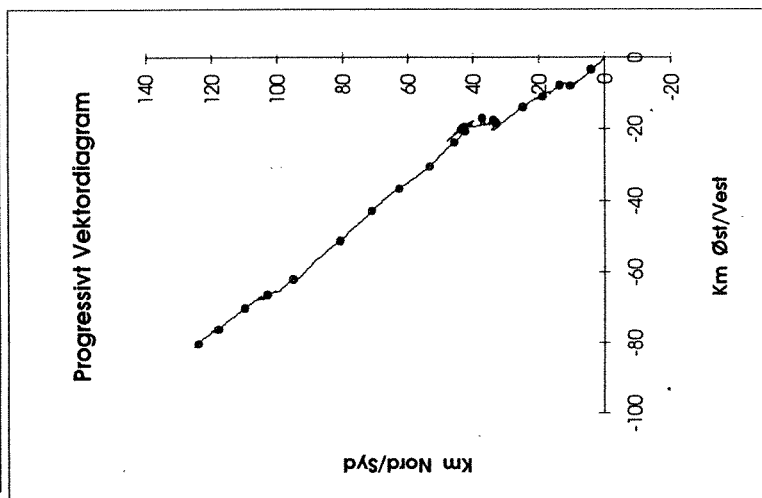
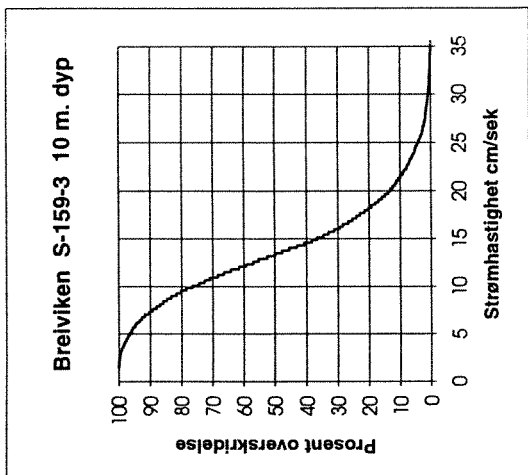
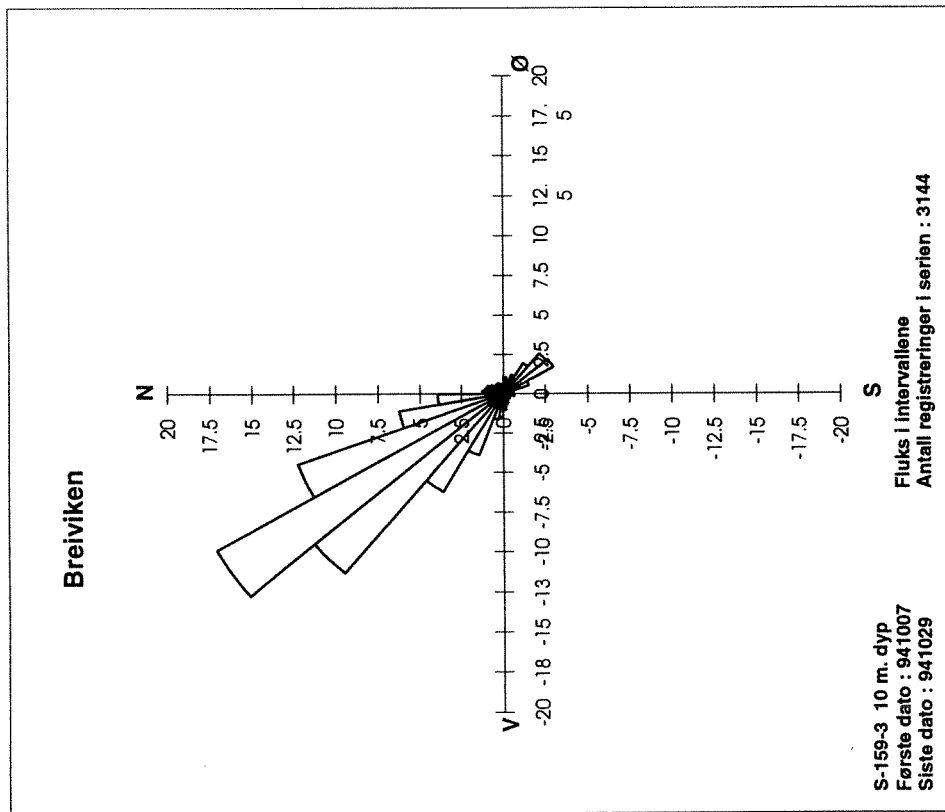


Fig. A6. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 10 m dyp ved Breiviken 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

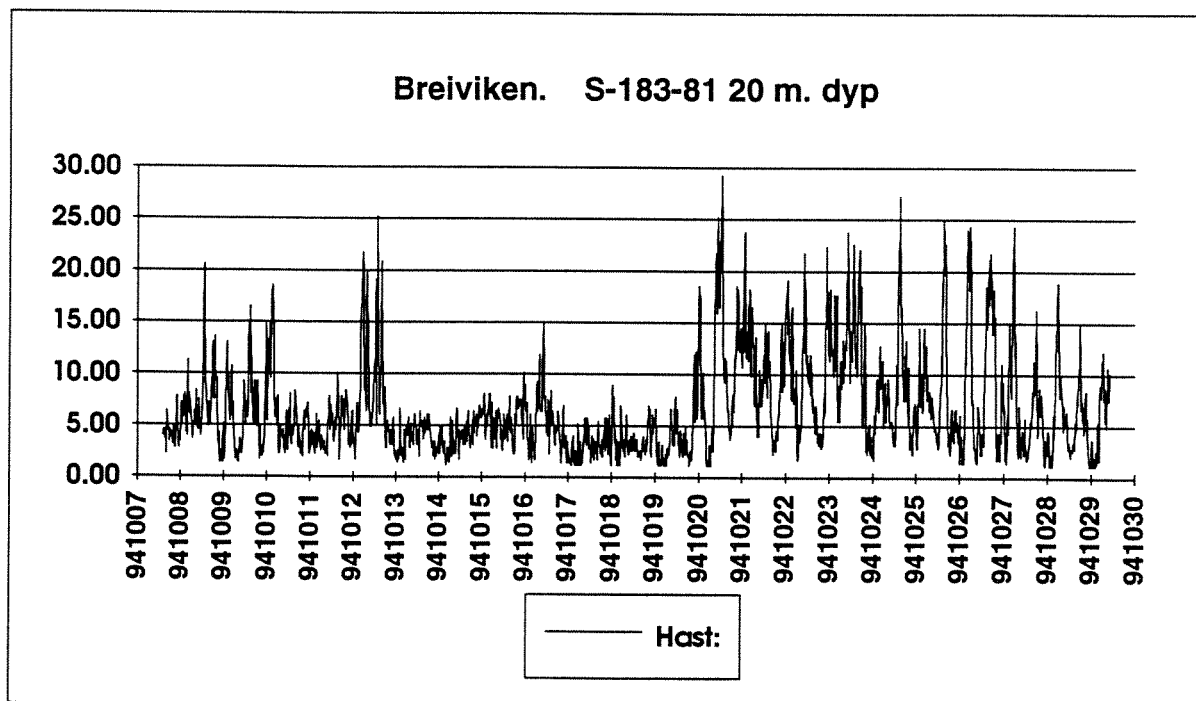
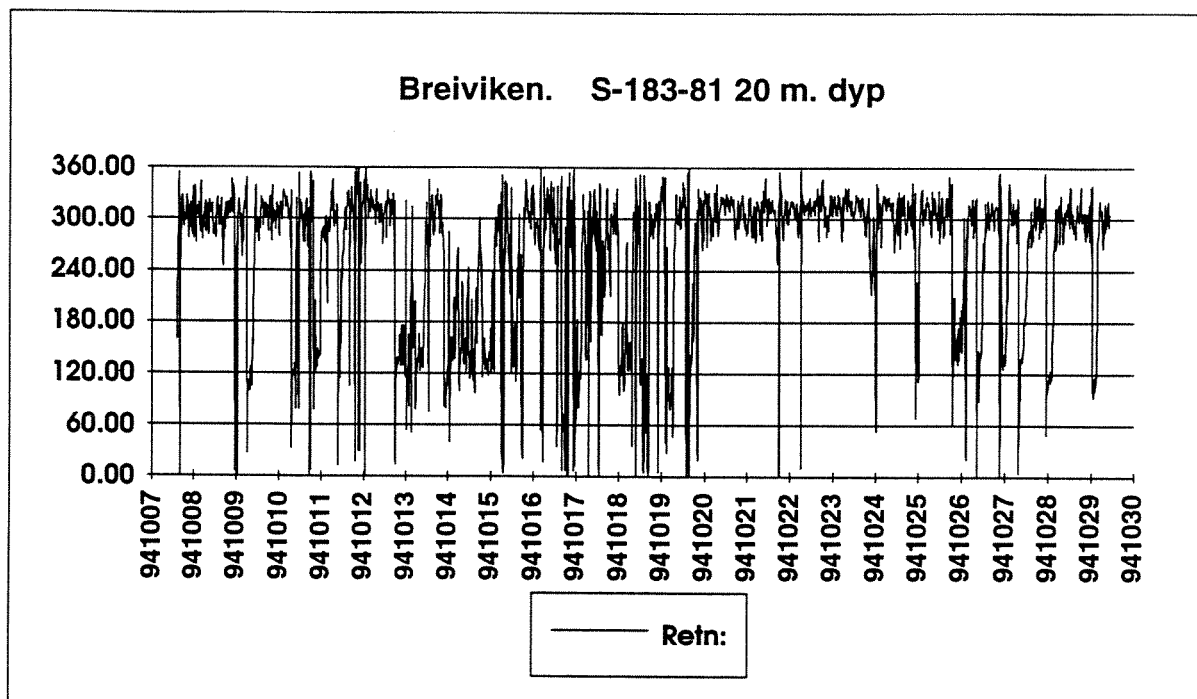


Fig. A7. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp ved **Brevikven** i perioden 7.-30. oktober 1994.

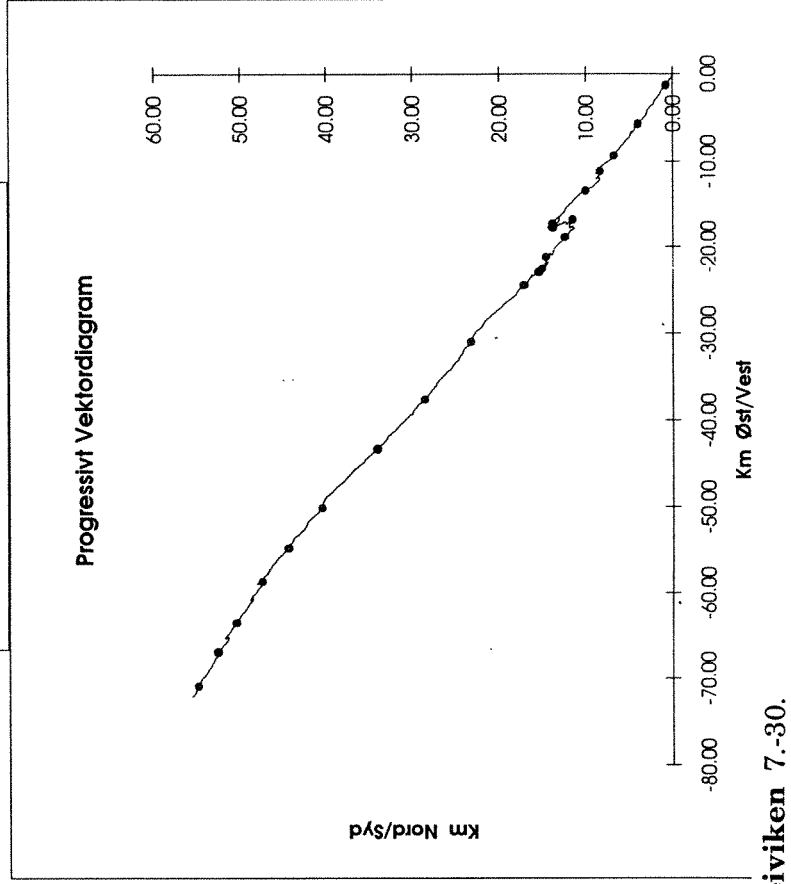
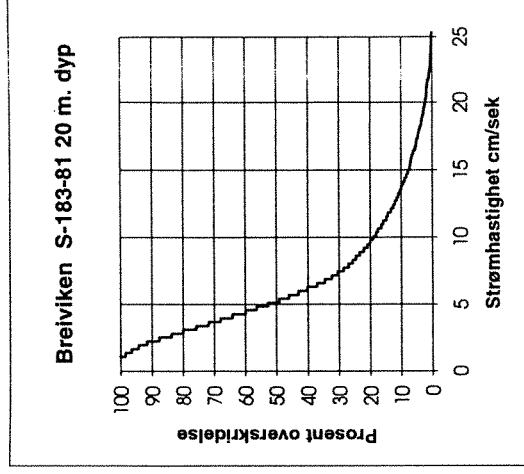
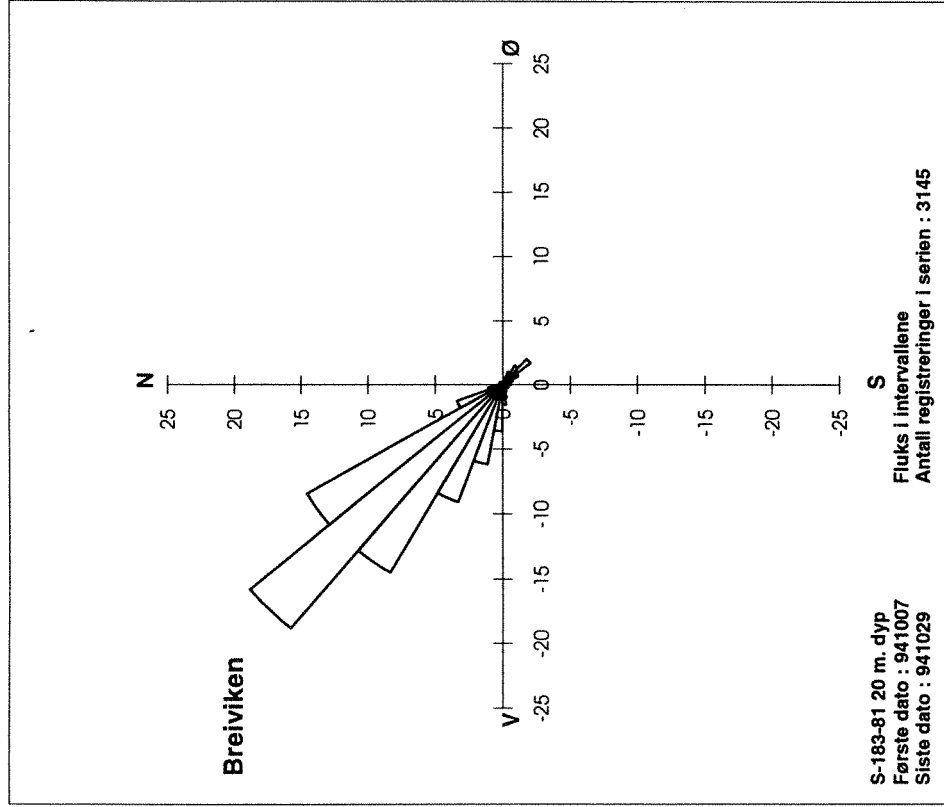


Fig. A8. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp ved **Breiviken** 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

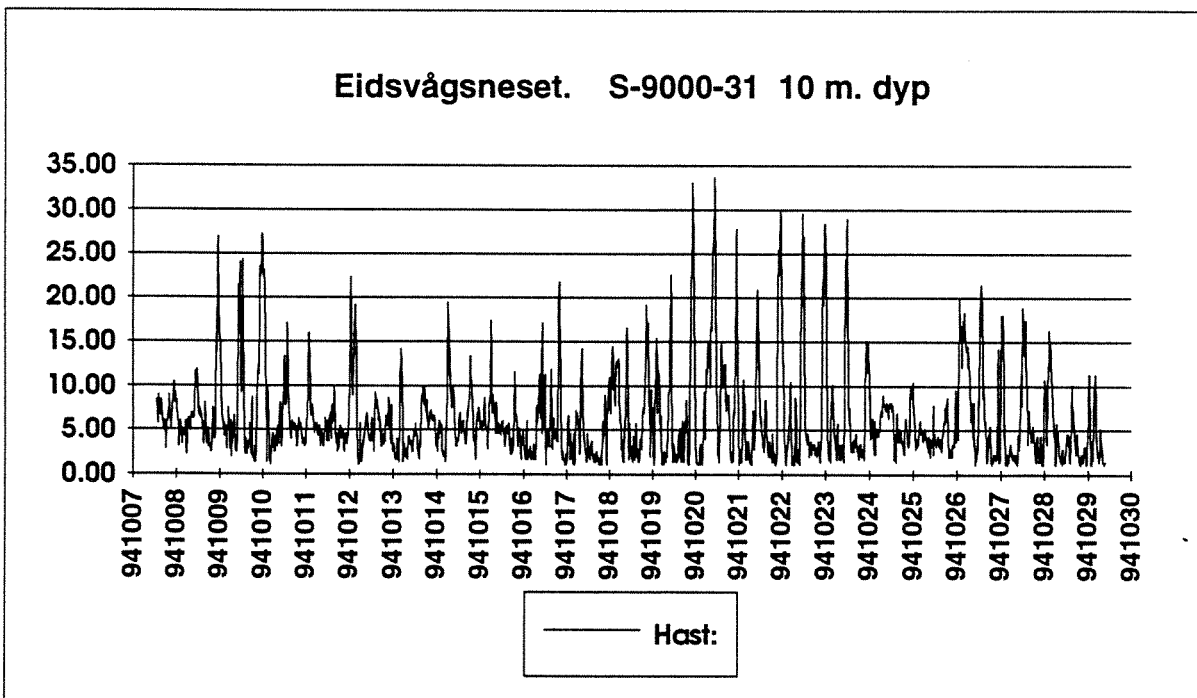
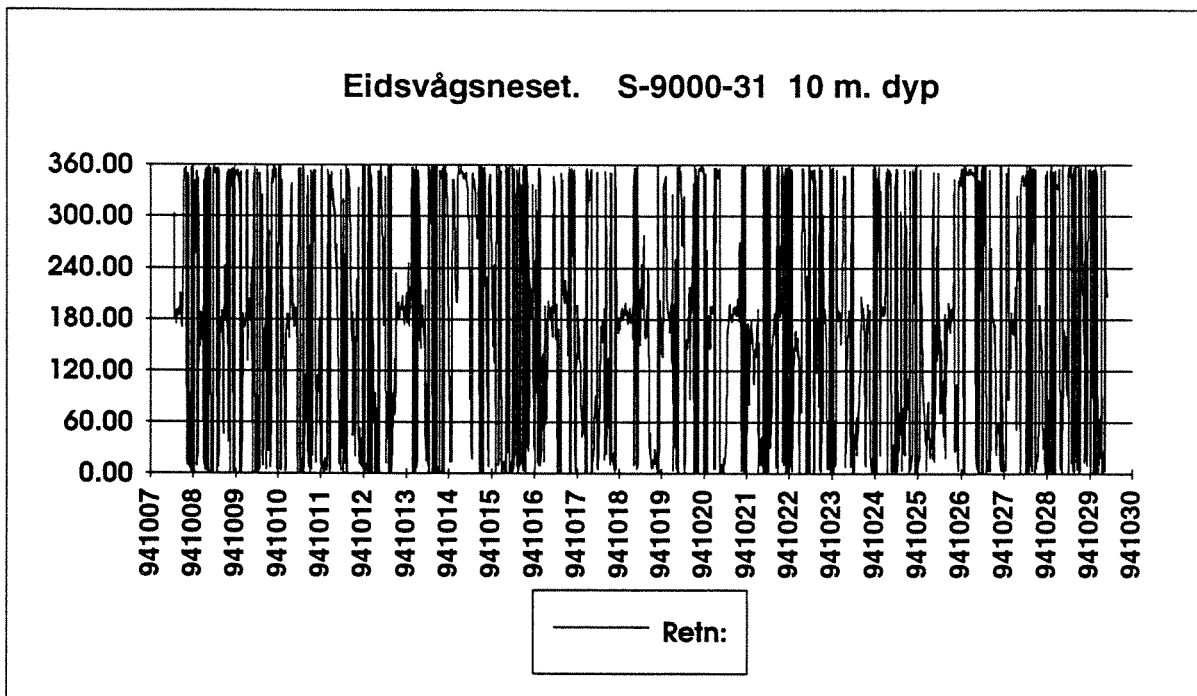


Fig. A9. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 10 m dyp ved **Eidsvågsneset** i perioden 7.-30. oktober 1994.

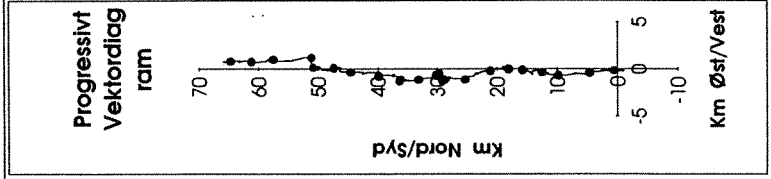
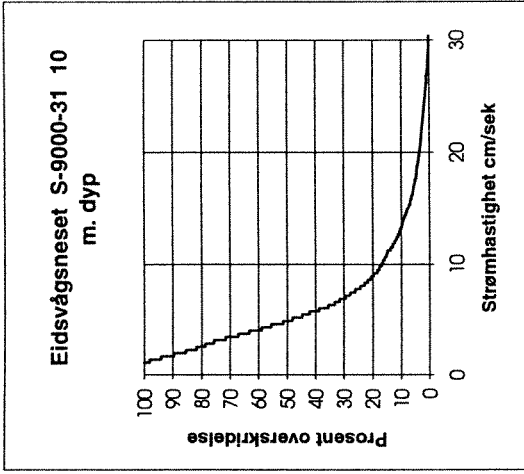
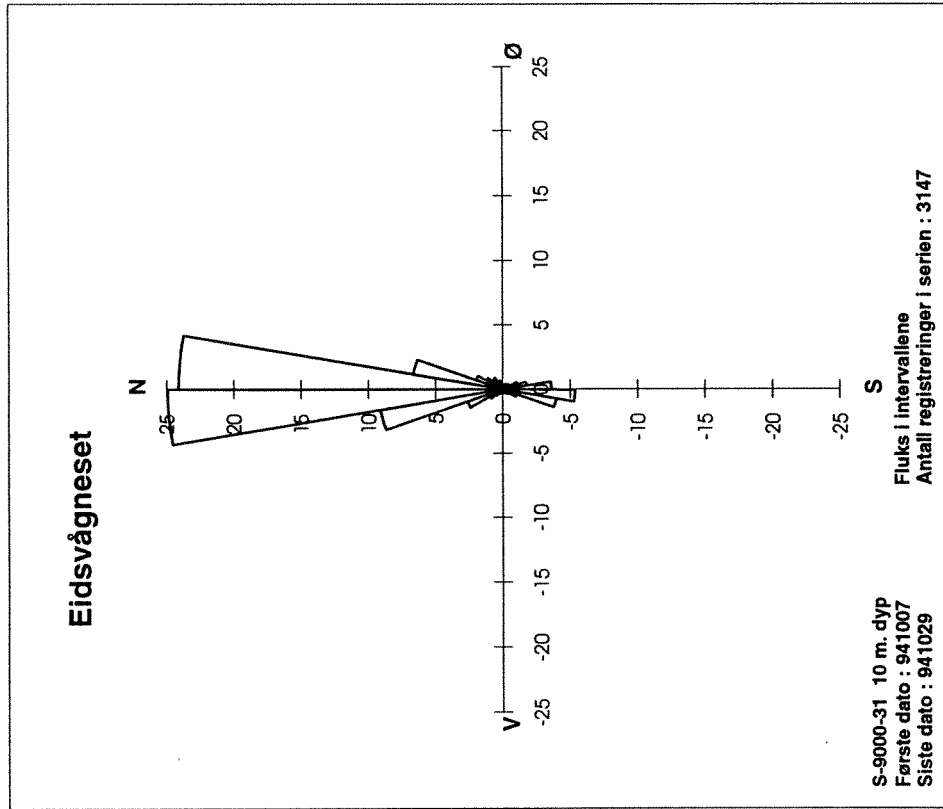


Fig. A10. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 10 m dyp ved Eidsvågneset 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

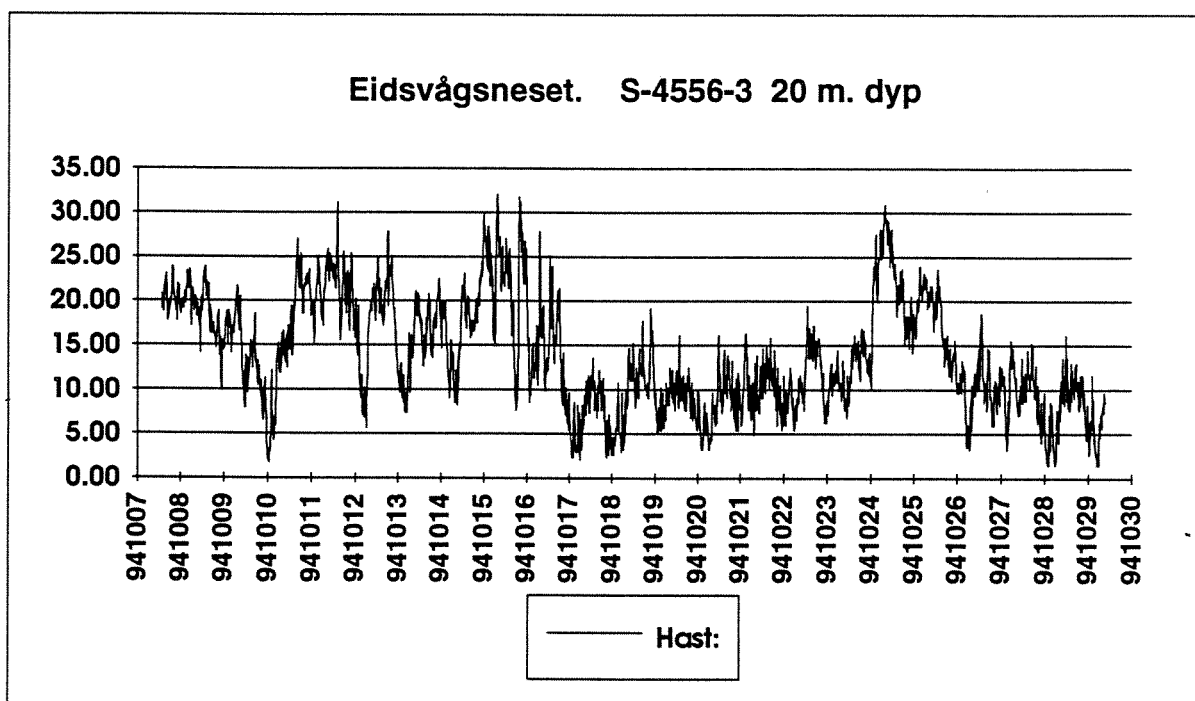
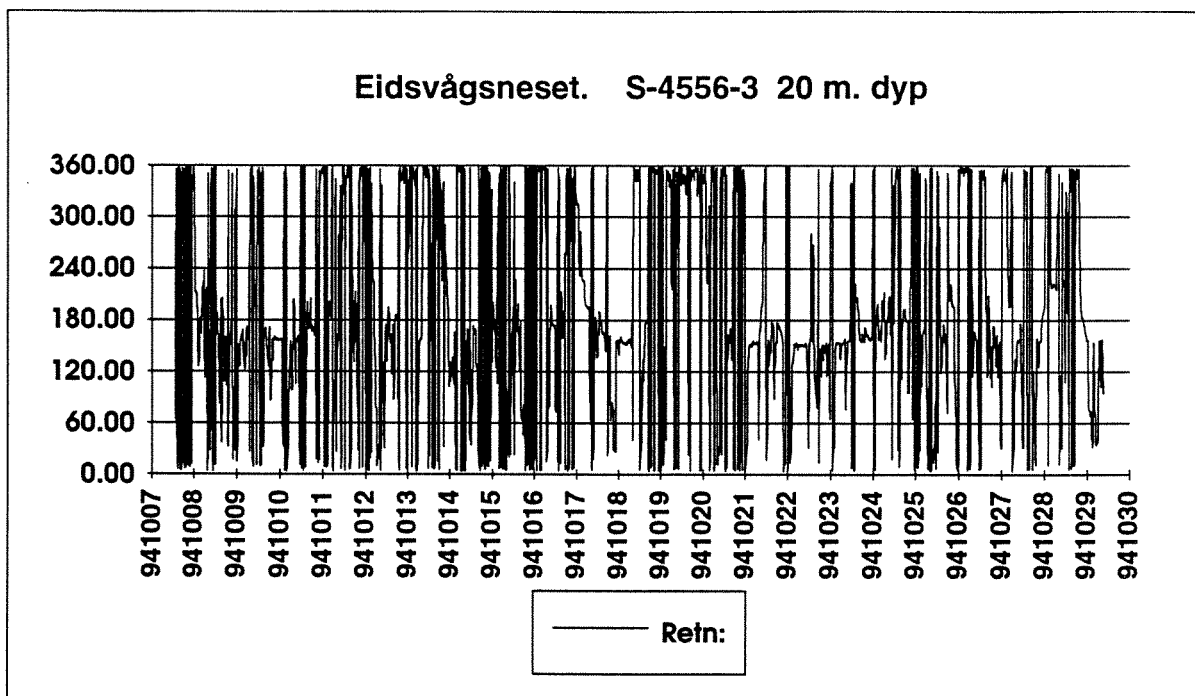


Fig. A11. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp ved **Eidsvågneset** i perioden 7.-30. oktober 1994.

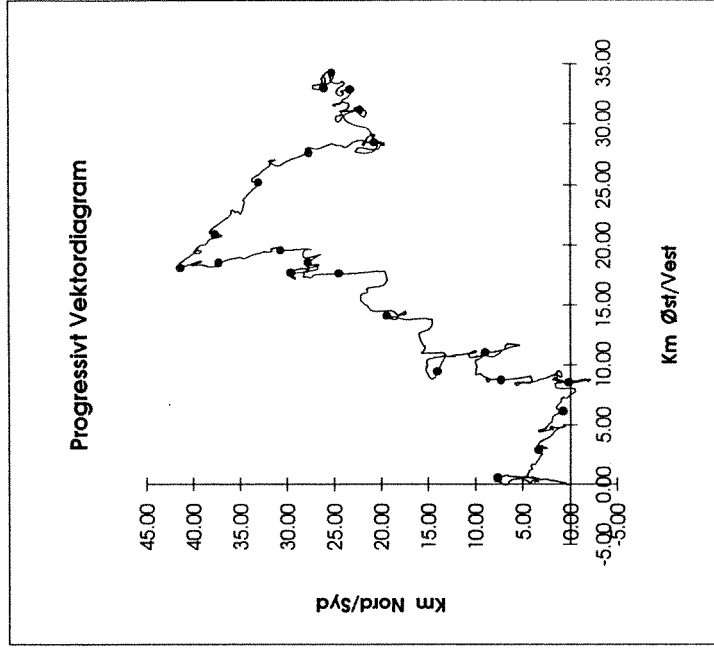
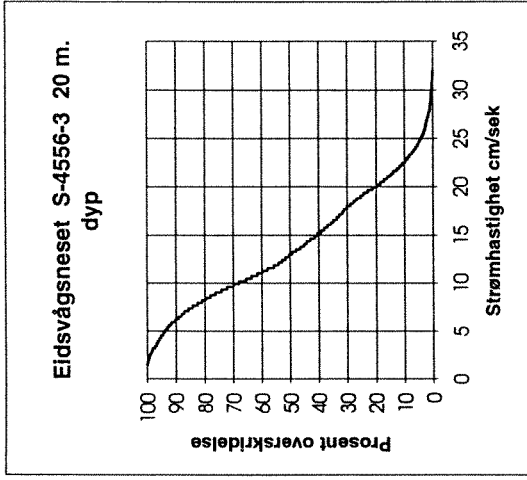
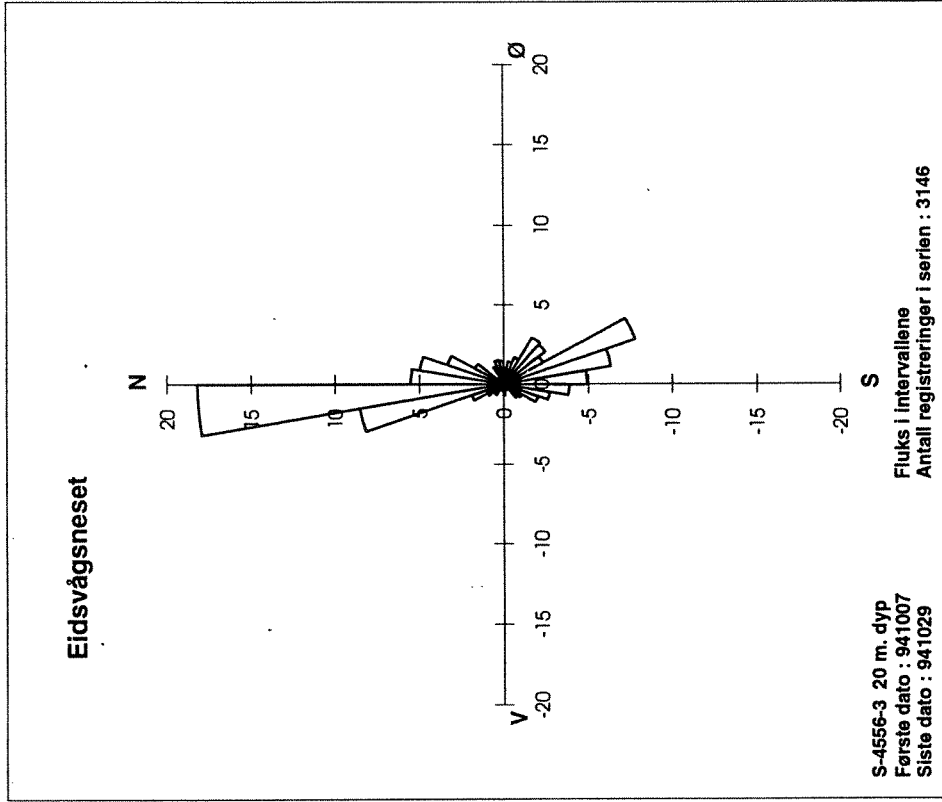


Fig. A12. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp ved Eidsvågneset 7.-30. oktober 1994. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

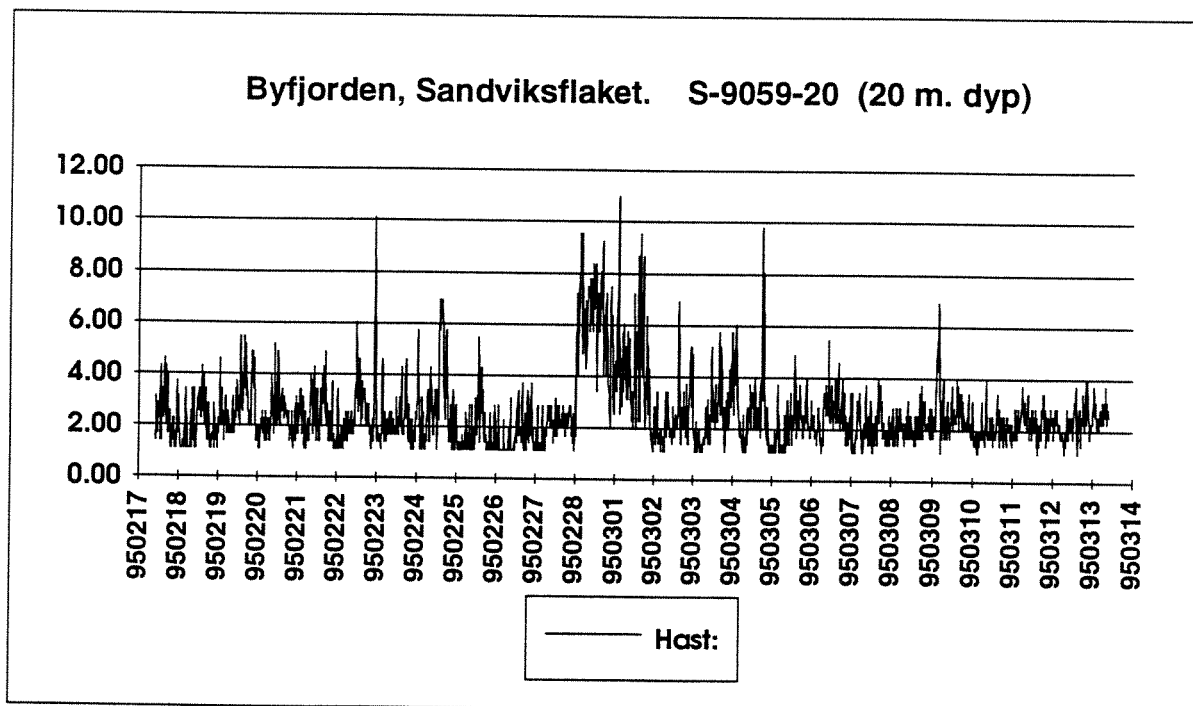
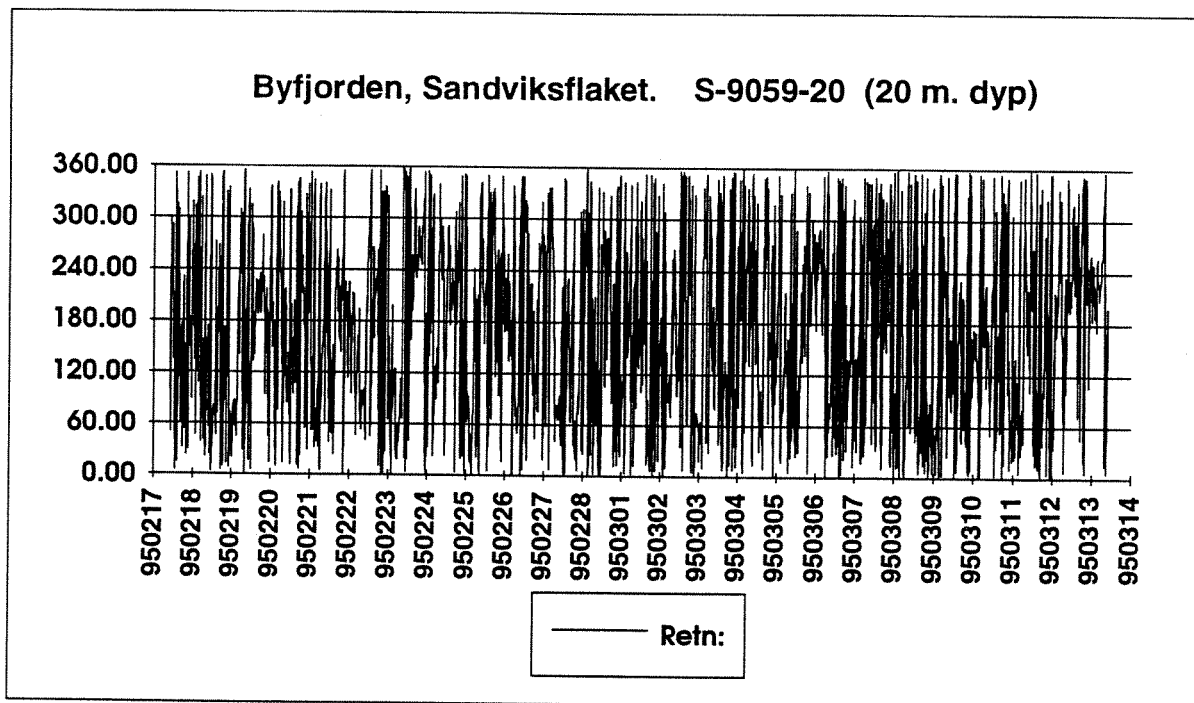


Fig. A13. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp på Sandviksflaket i perioden 17. februar-13. mars 1995.



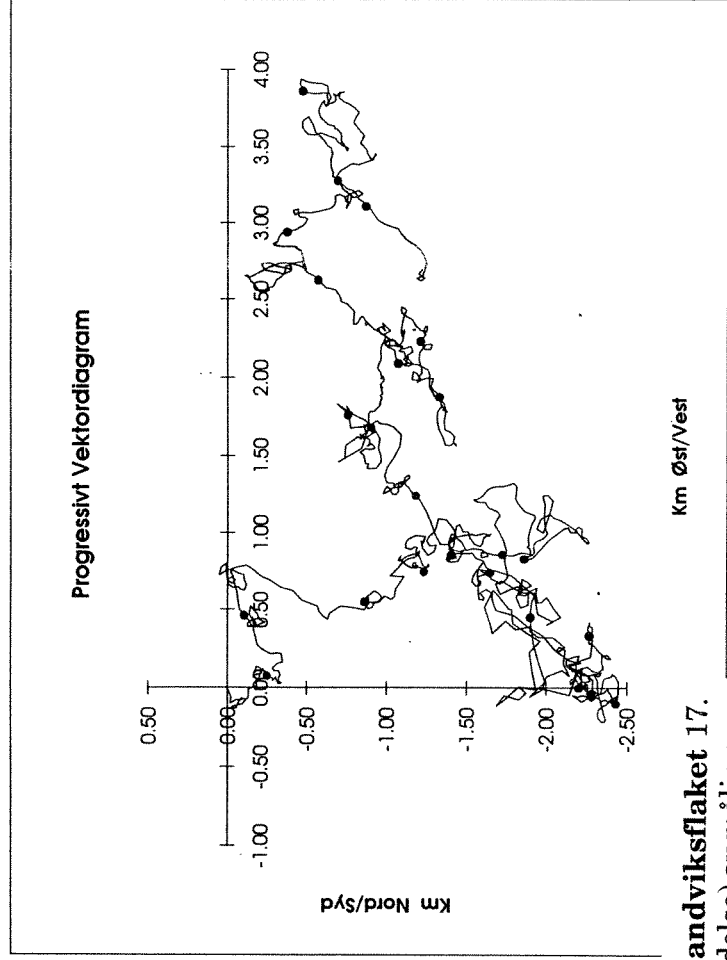
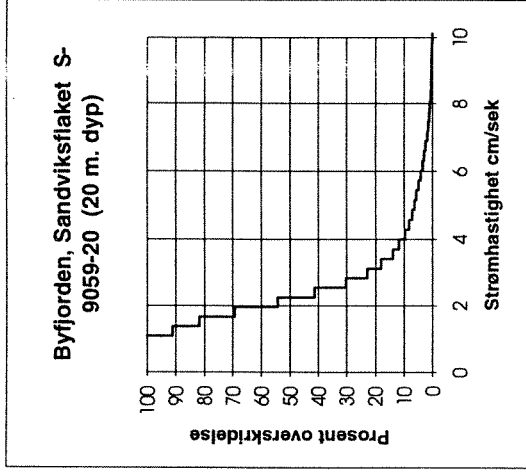
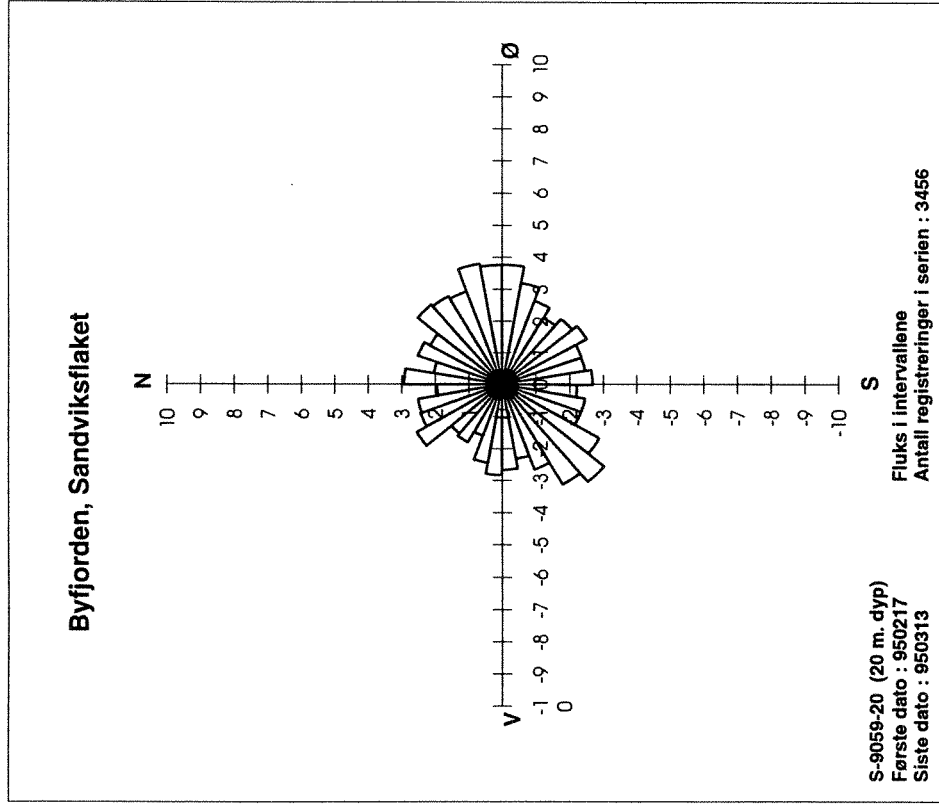


Fig. A14. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp på Sandviksflaket 17. februar - 13. mars 1995. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

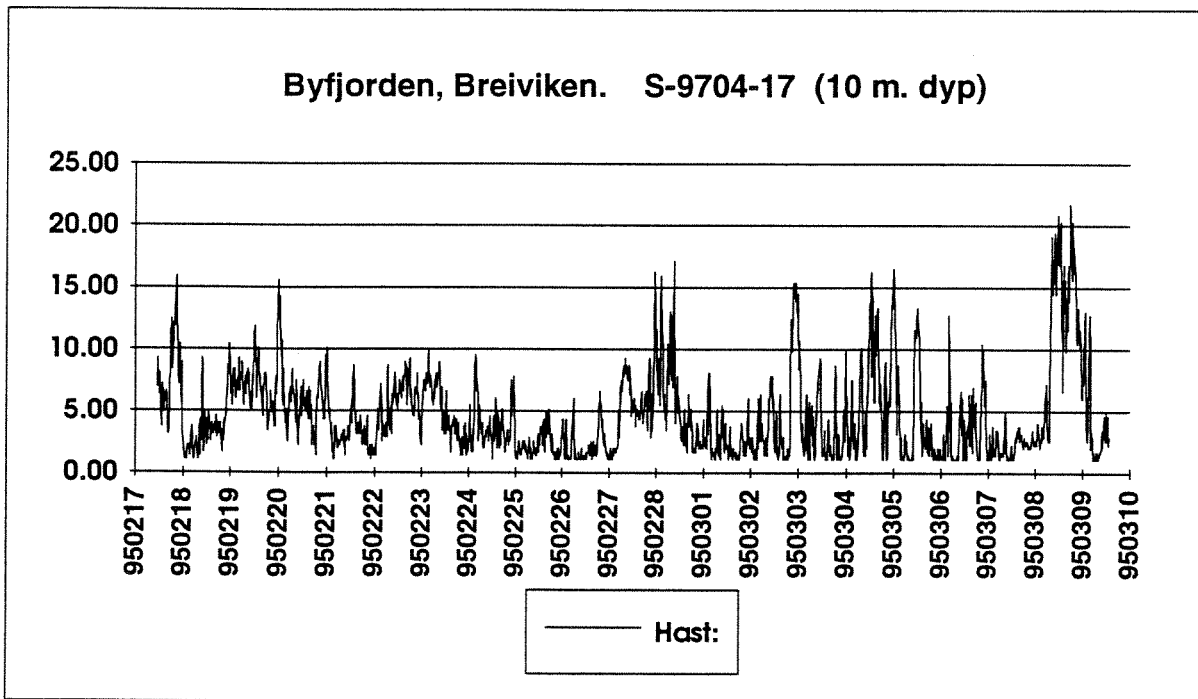
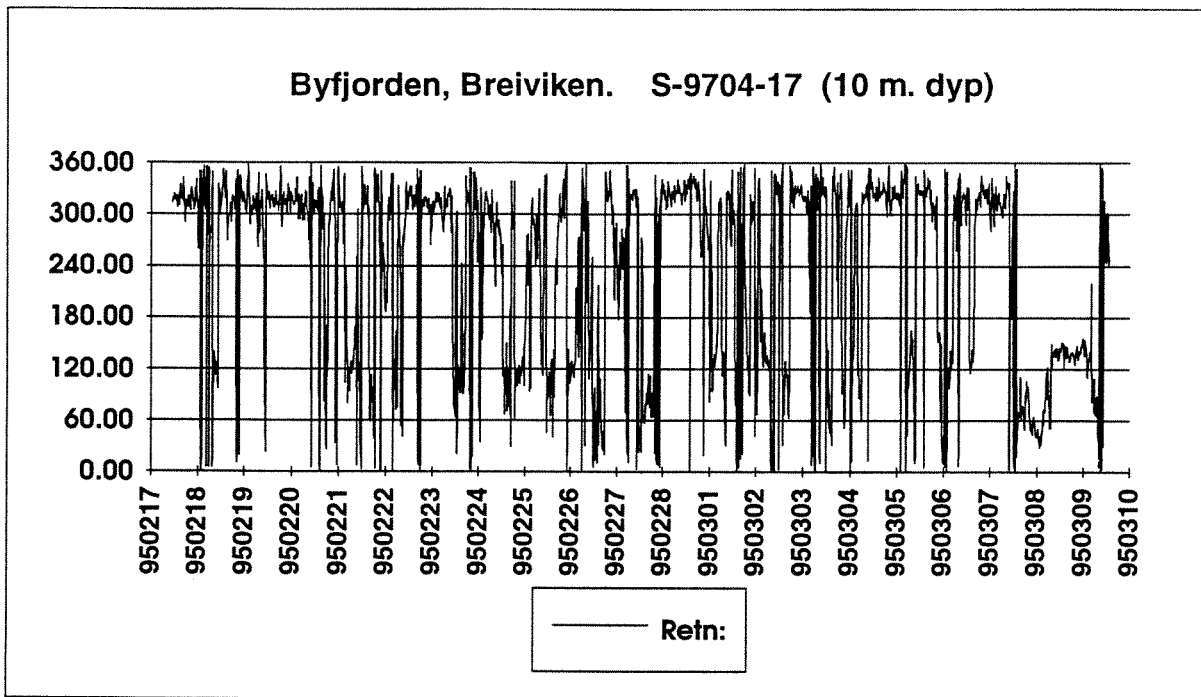


Fig. A15. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 10 m dyp ved **Breiviken** i perioden 17. februar-13. mars 1995.

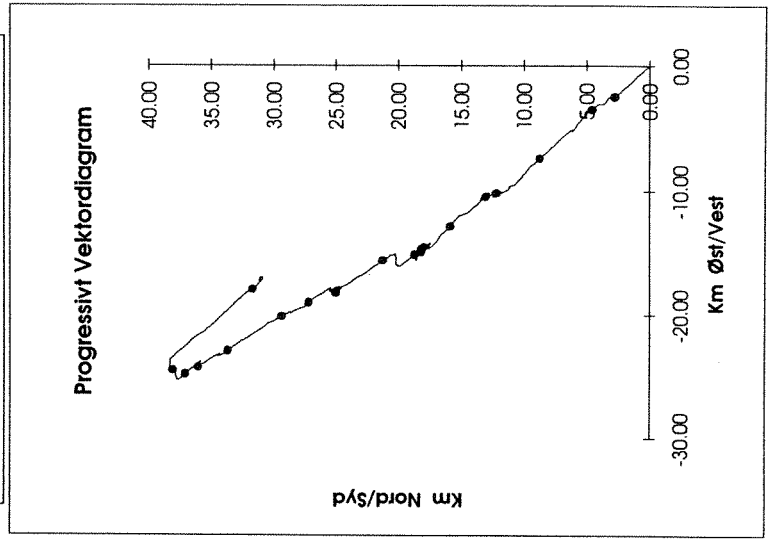
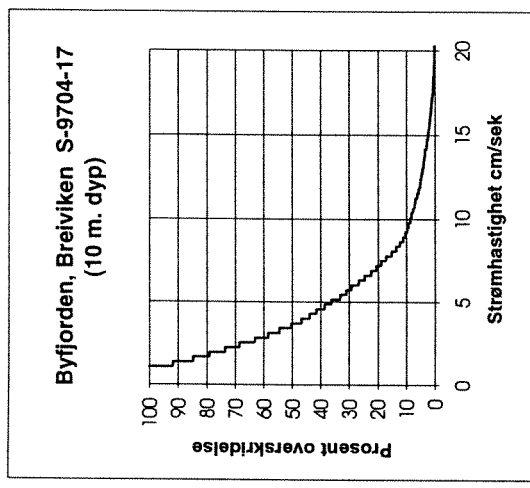
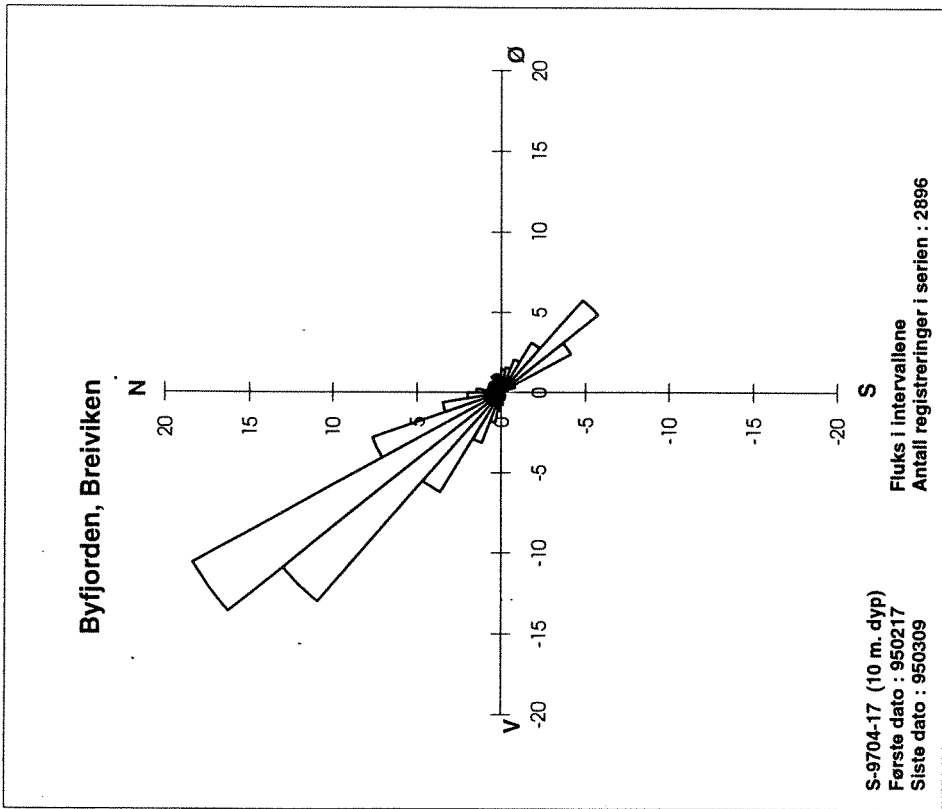


Fig. A16. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 10 m dyp ved **Breiviken** 17. februar - 13. mars 1995. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

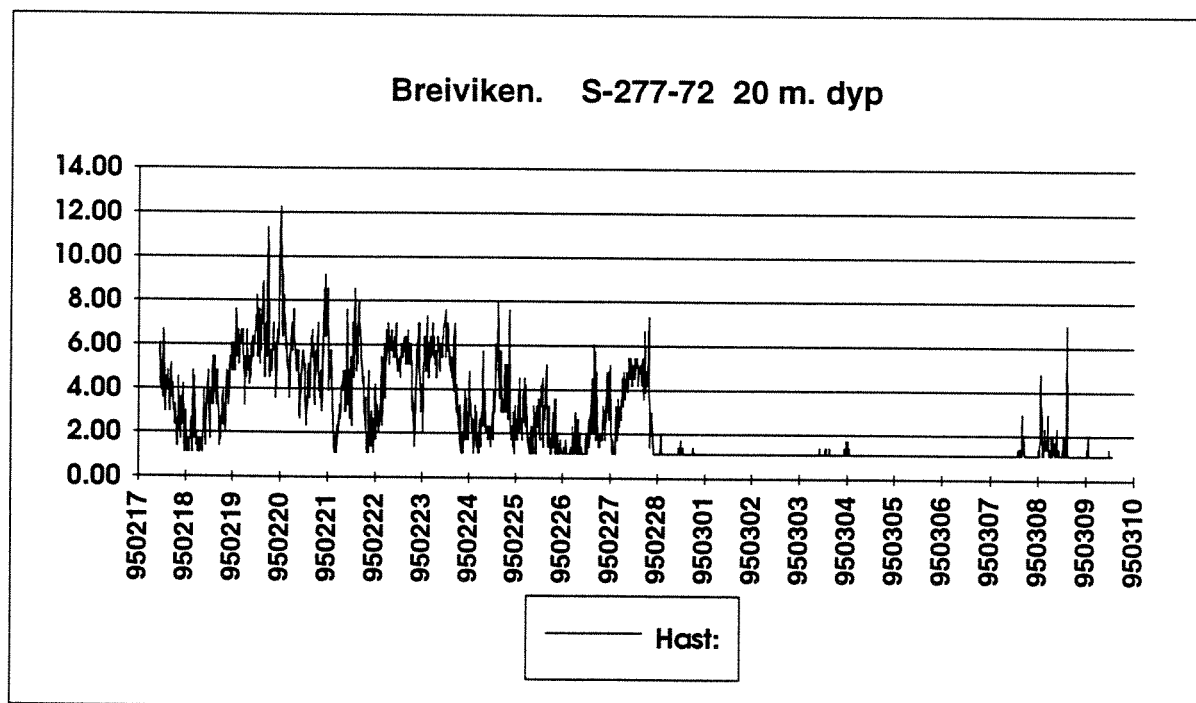
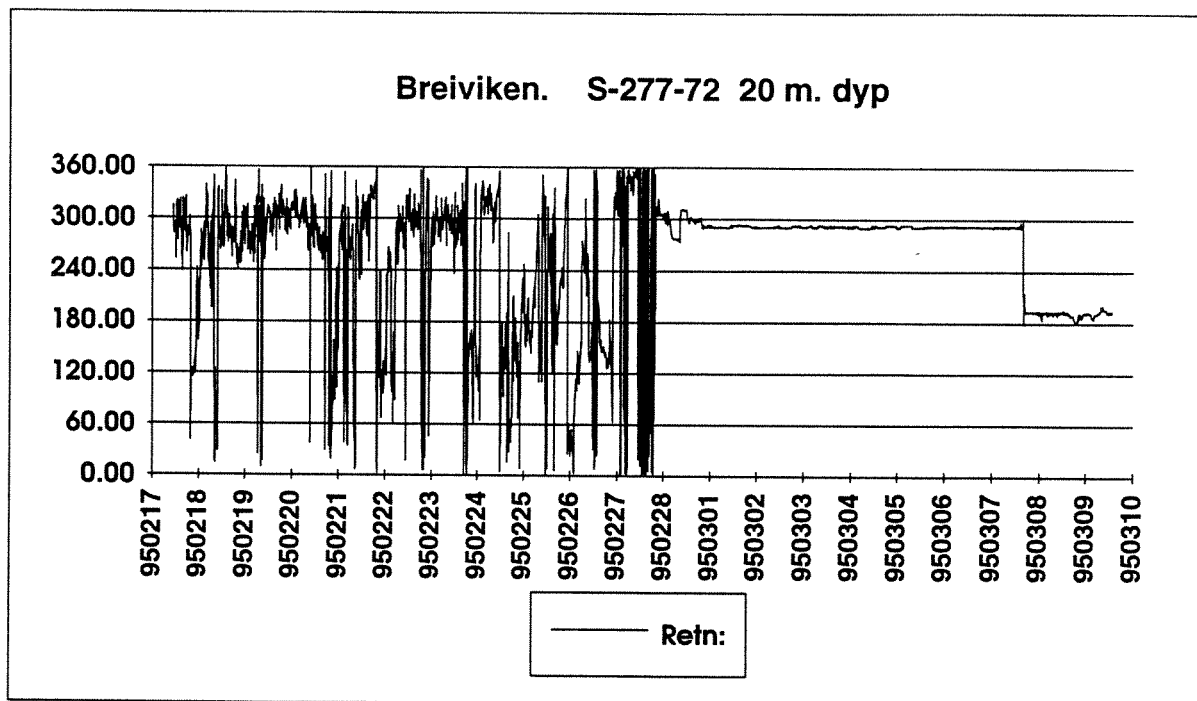


Fig. A17. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp ved **Breiviken** i perioden 17. februar-13. mars 1995.

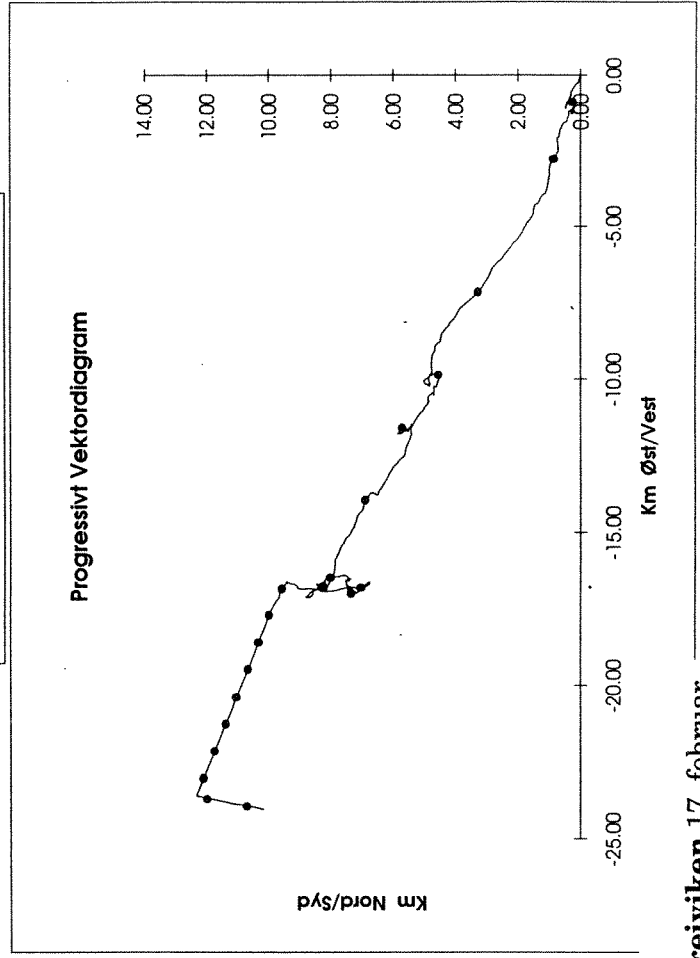
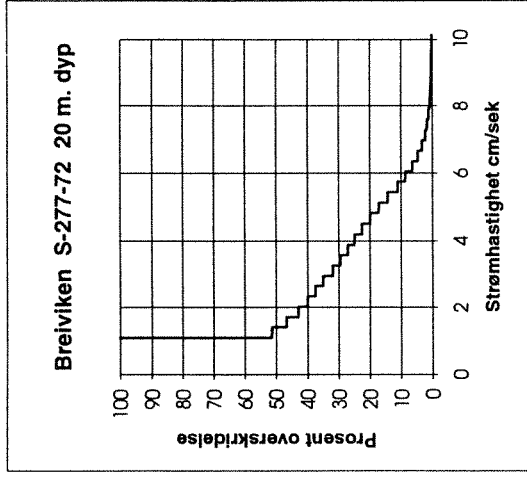
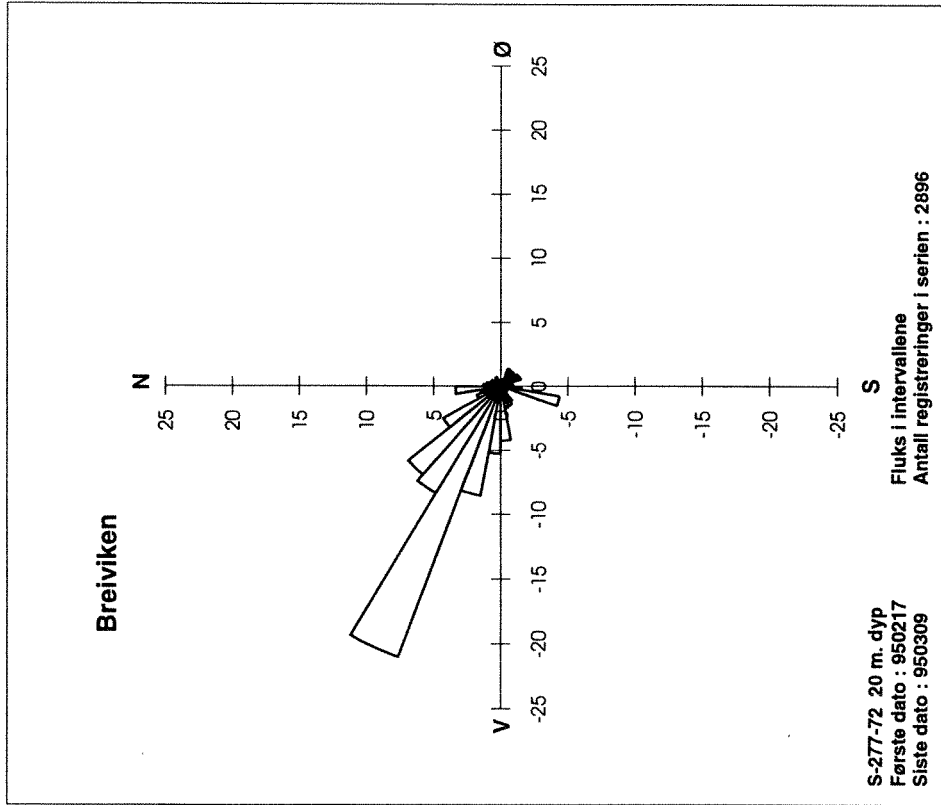


Fig. A18. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp ved **Breiviken** 17. februar - 13. mars 1995. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

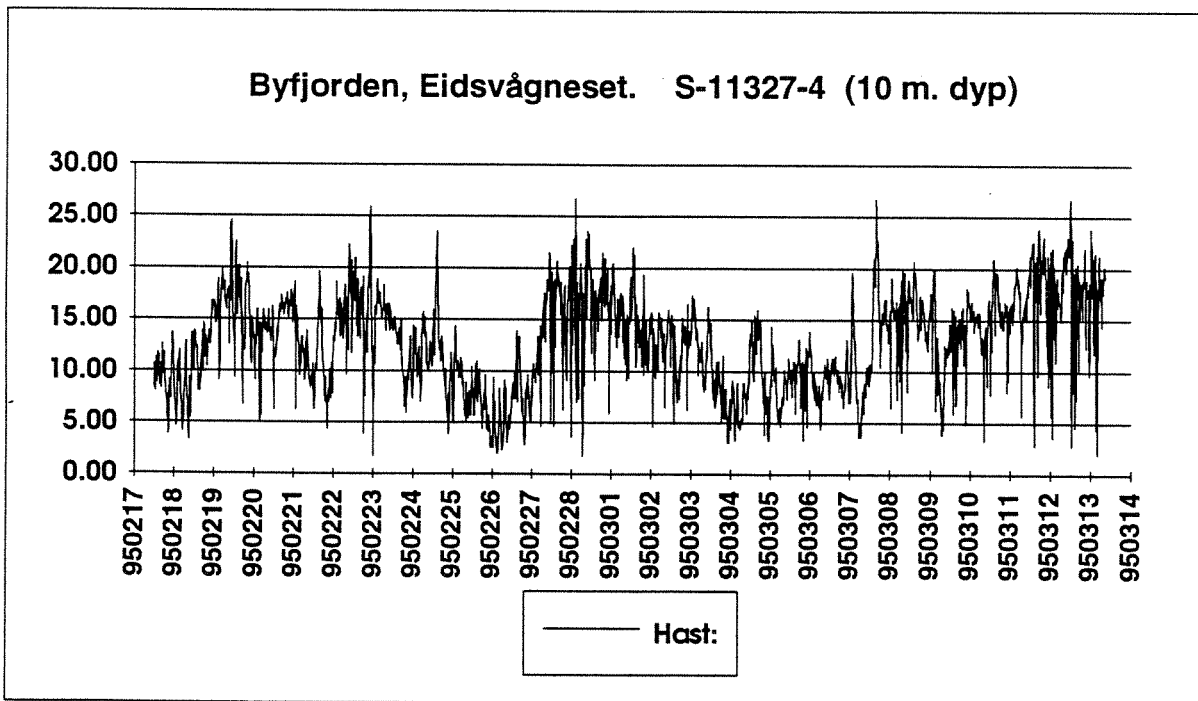
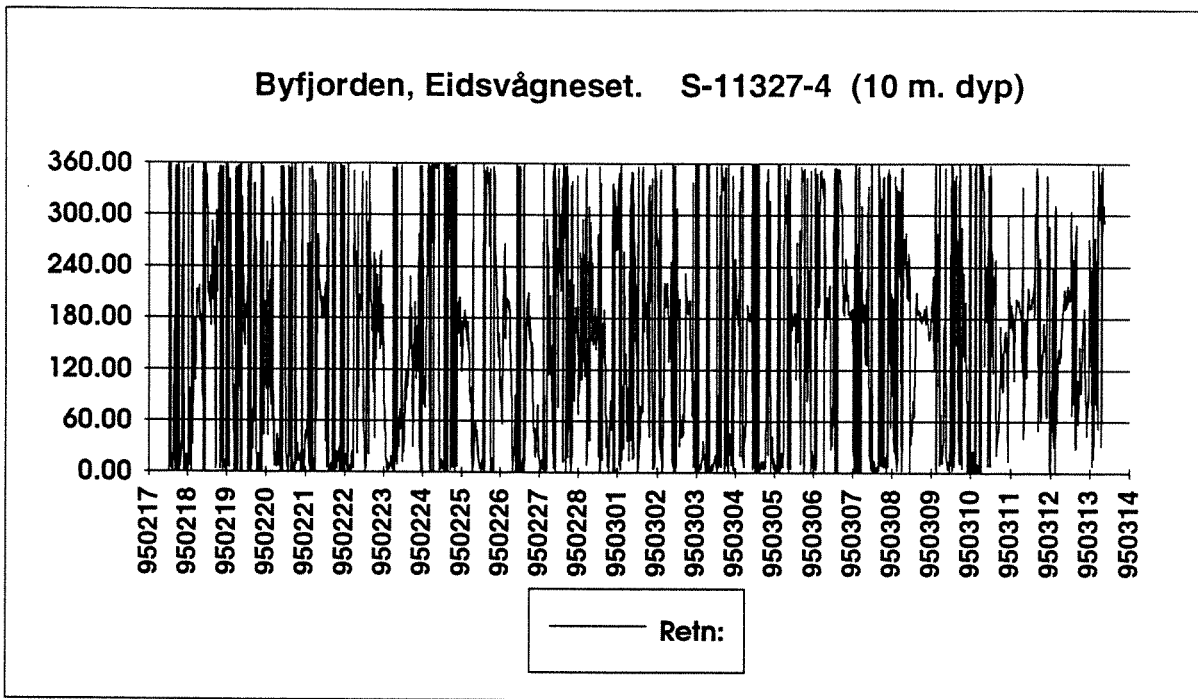


Fig. A19. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 10 m dyp ved Eidsvågneset i perioden 17. februar-13. mars 1995.

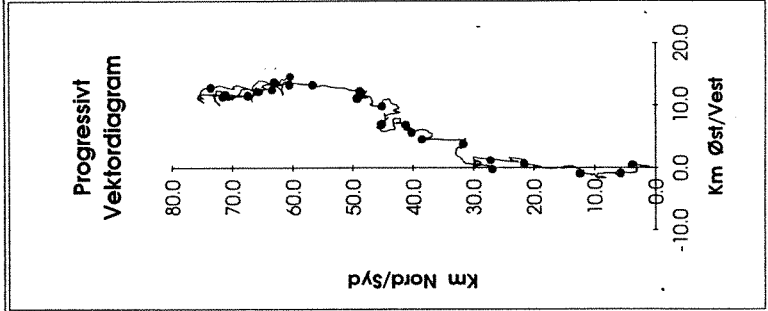
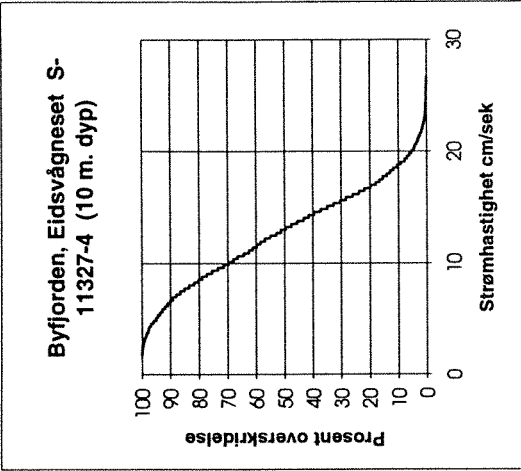
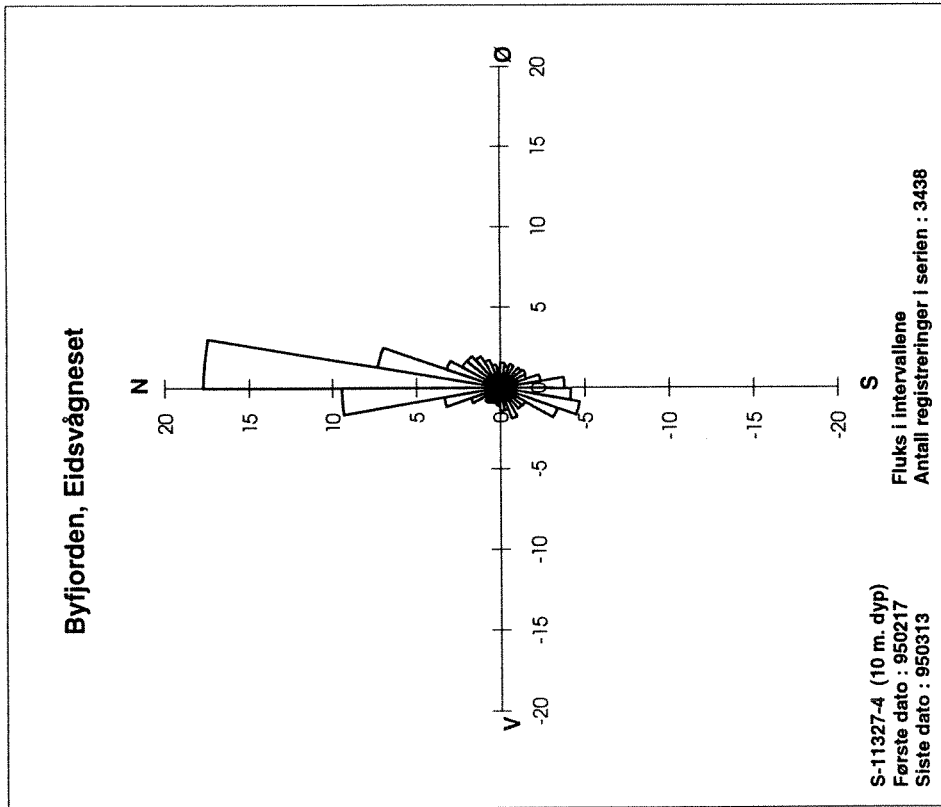


Fig. A20. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 10 m dyp ved Eidsvågneset 17. februar - 13. mars 1995. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

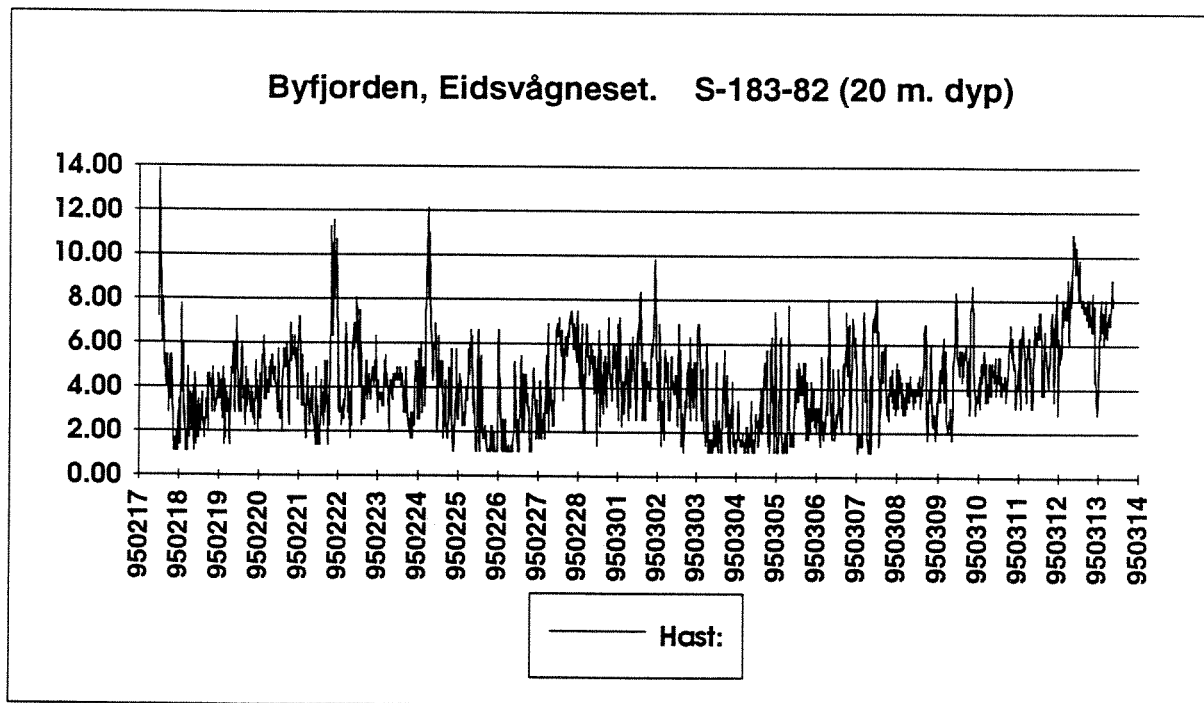
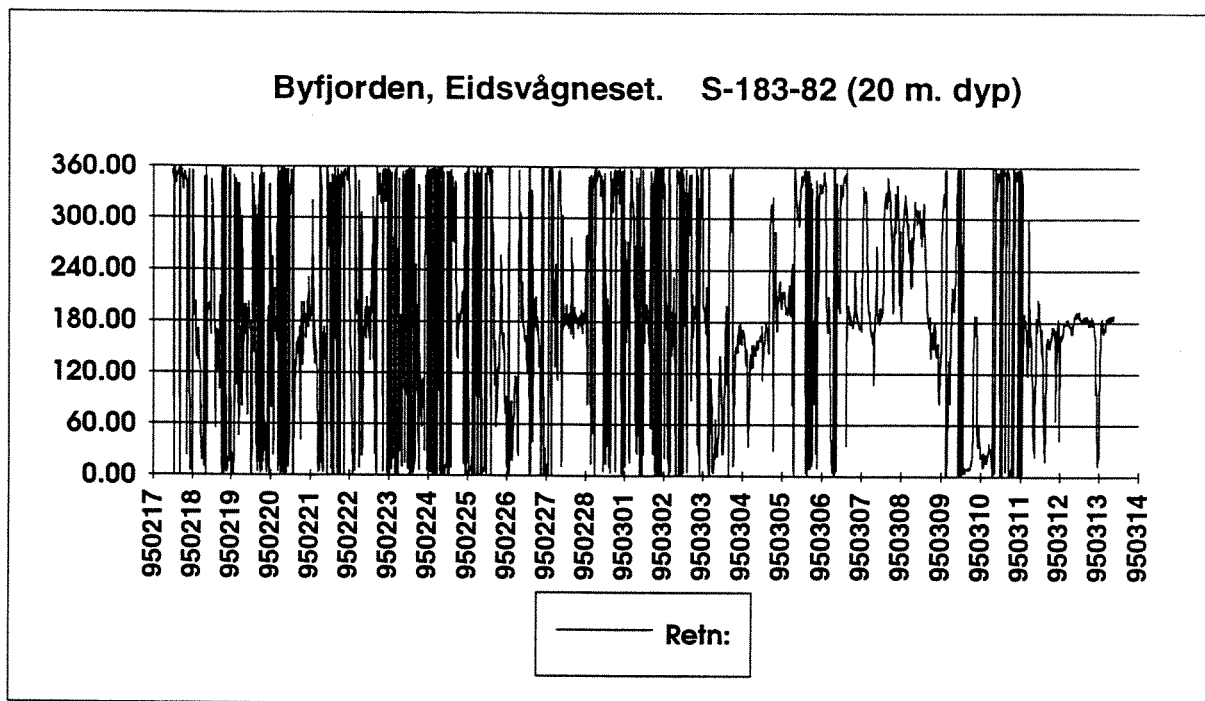


Fig. A21. Målt strømretning og strømstyrke (cm/s) i 20 m dyp ved Eidsvågneset i perioden 17. februar-13. mars 1995.



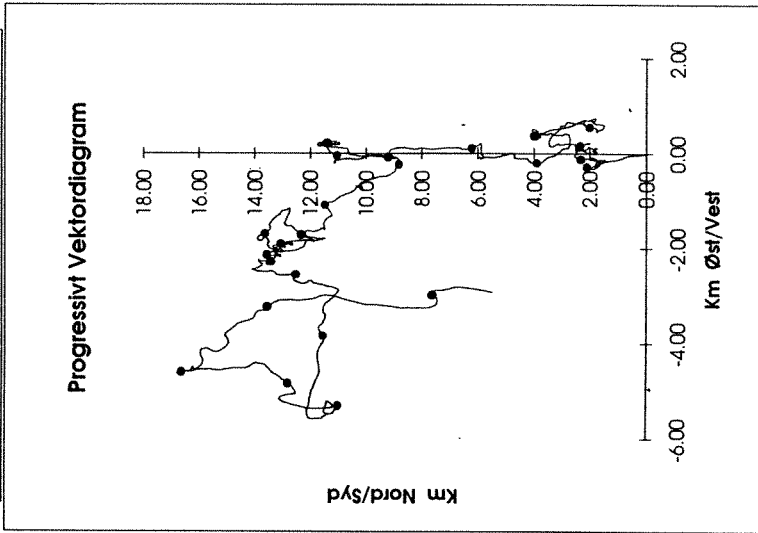
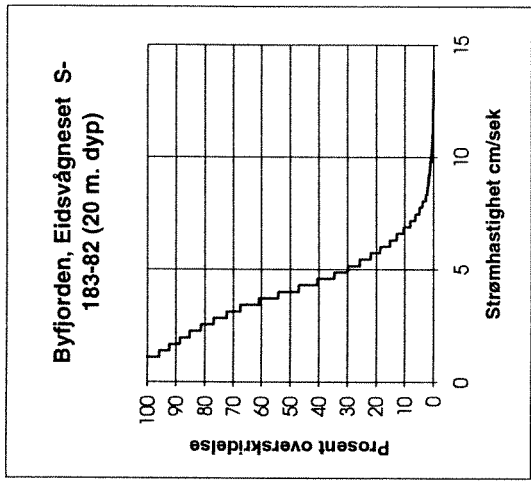
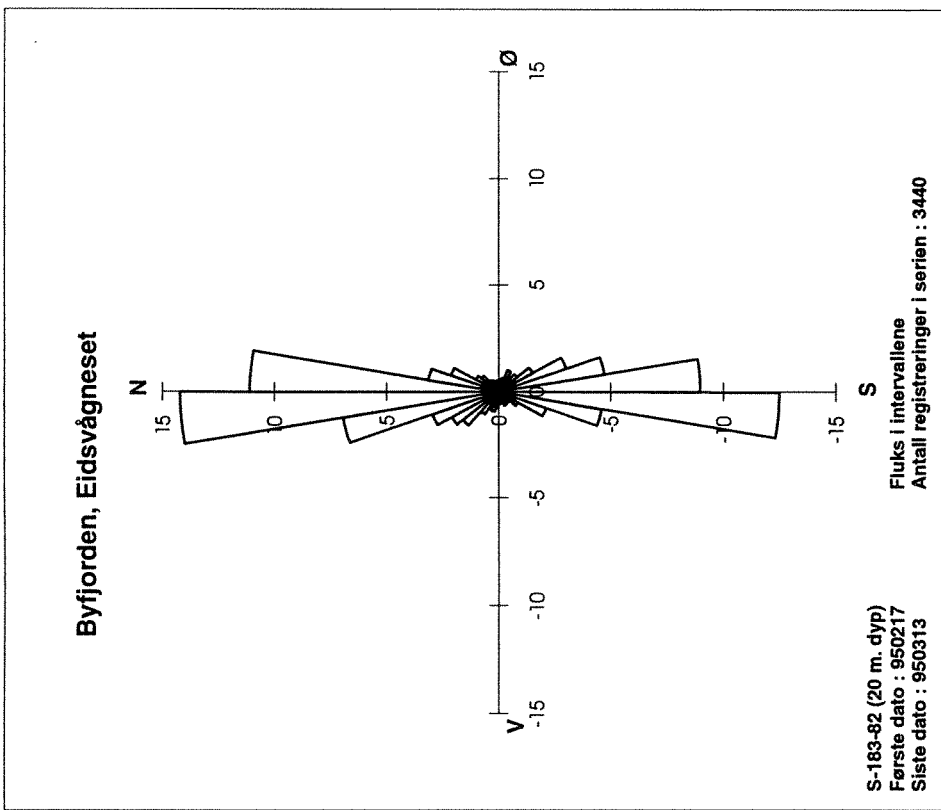


Fig. A22. Til venstre: Fluksfordeling for målingene i 20 m dyp ved Eidsvågneset 17. februar - 13. mars 1995. Til høyre: Kumulativ fordeling (%-vis overskridelse) av målingene av strømstyrke, samt progressiv vektor framstilling av målingene.

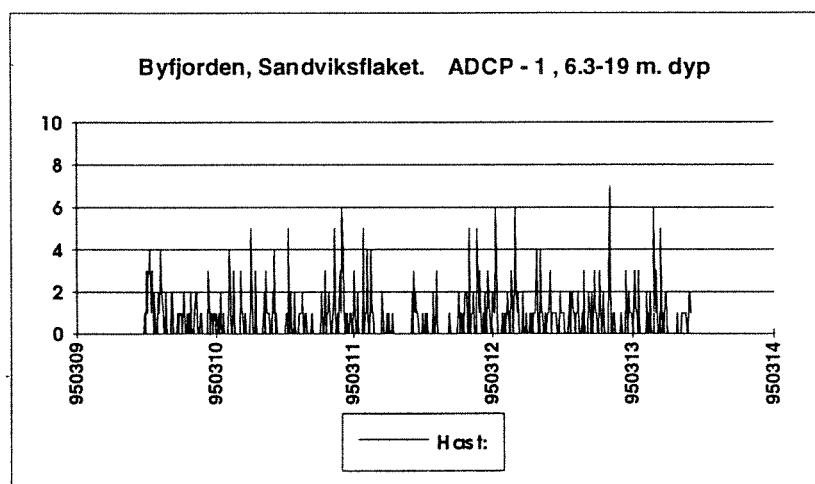
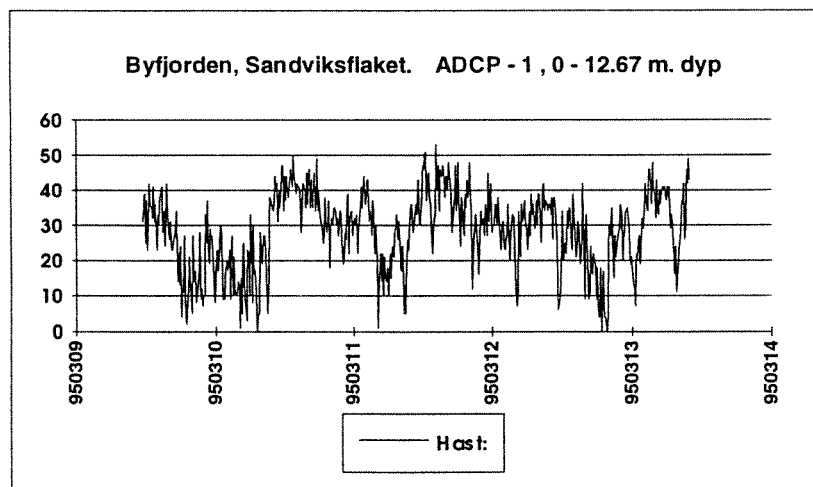
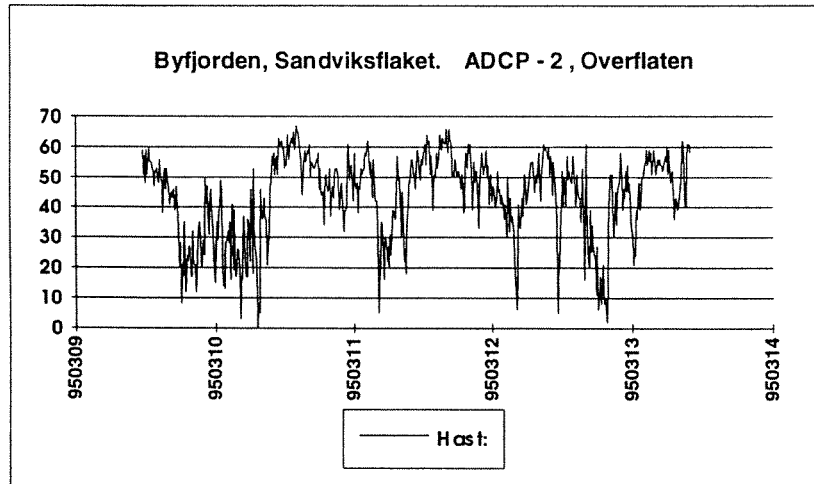


Fig. A23a. Målt strømstyrke (cm/s) med bunnmontert ADCP på Sandviksflaket 9.-13. mars 1995. De tre tidsseriene representerer overflaten, samt de to øverte cellene med 6 m og 13 m senterdyp.

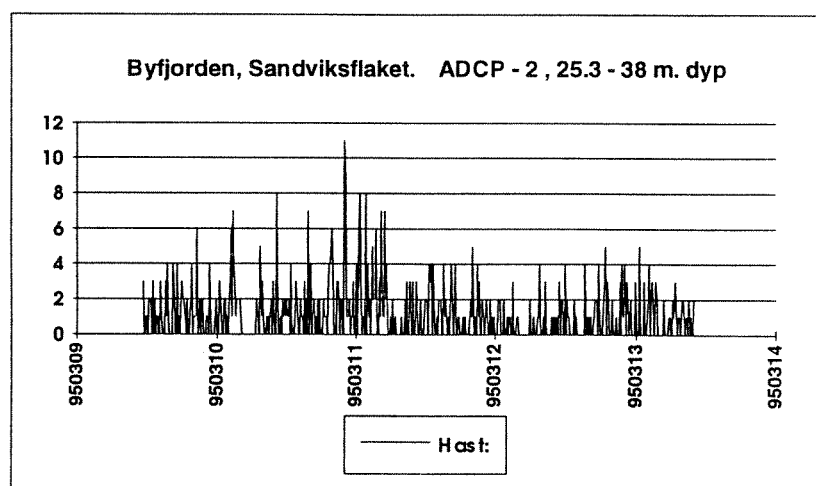
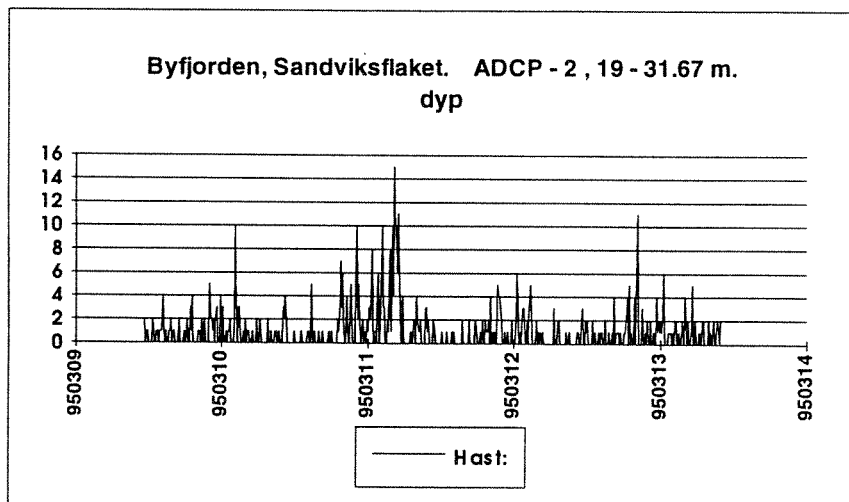
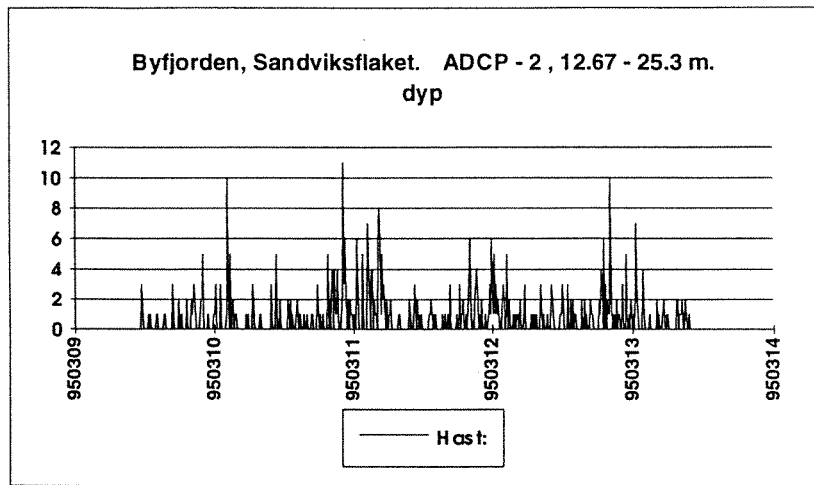


Fig. A23b. Målt strømstyrke (cm/s) med bunnmontert ADCP på Sandviksflaket 9.-13. mars 1995. De tre tidsseriene representerer de tre nederte cellene med 19 m, 26 m og 31 m senterdyp.

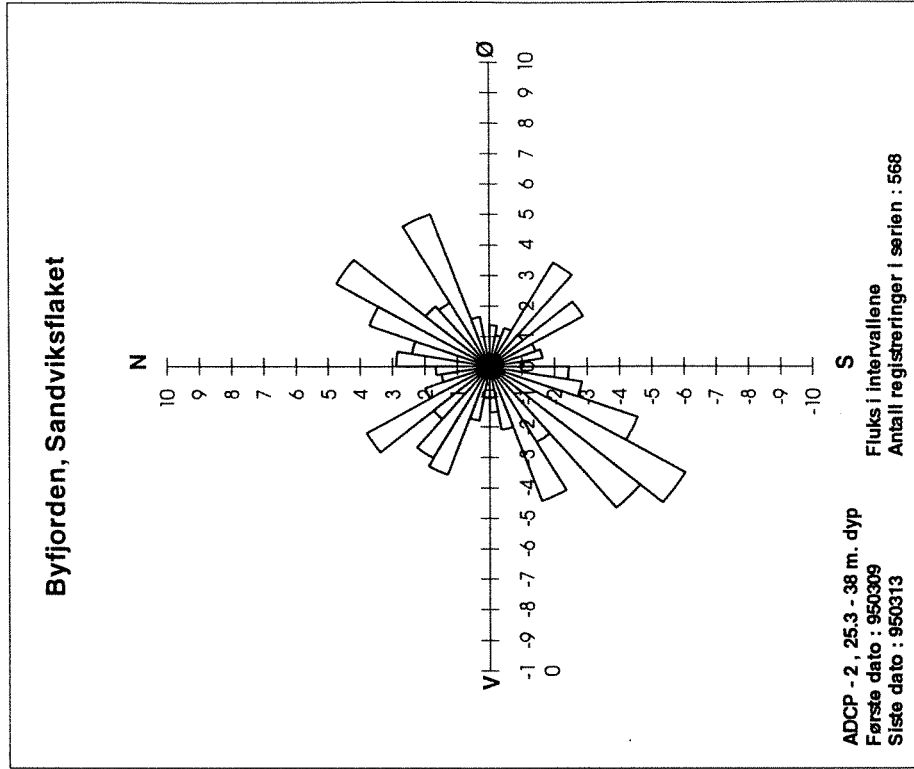
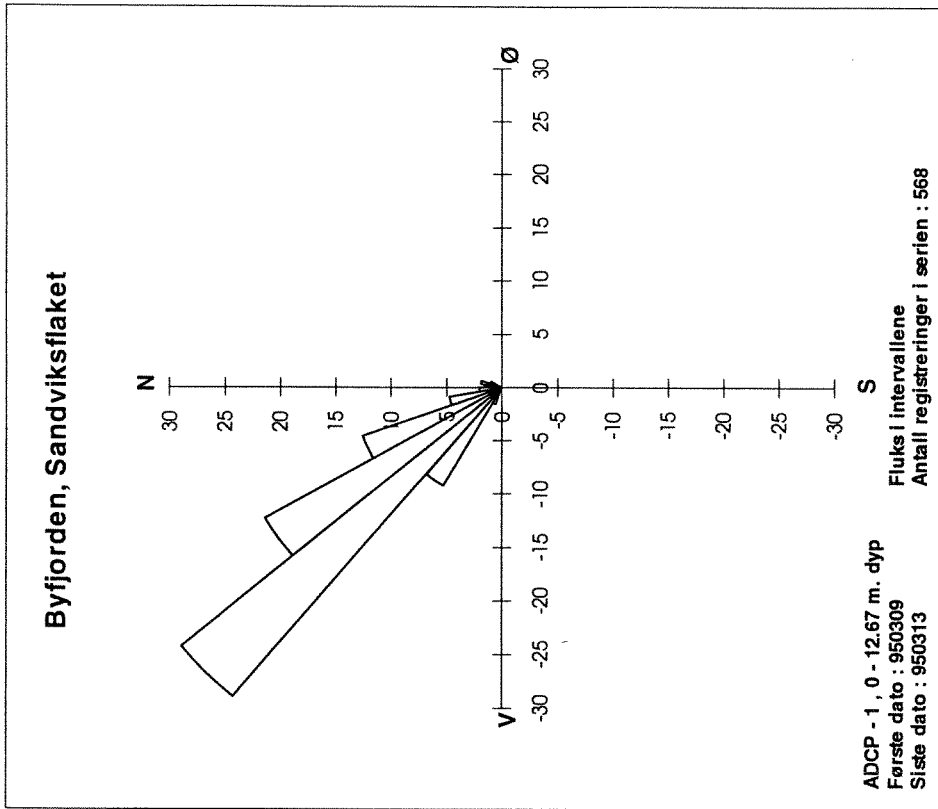


Fig. A24. Fluksfordeling for strømmålingene med ADCP på Sandviksflaket 9.-13. mars 1995. De to fordelingene representerer målingene i 6 m dyp (øverste celle) og 31 m dyp (nest-dypeste celle).

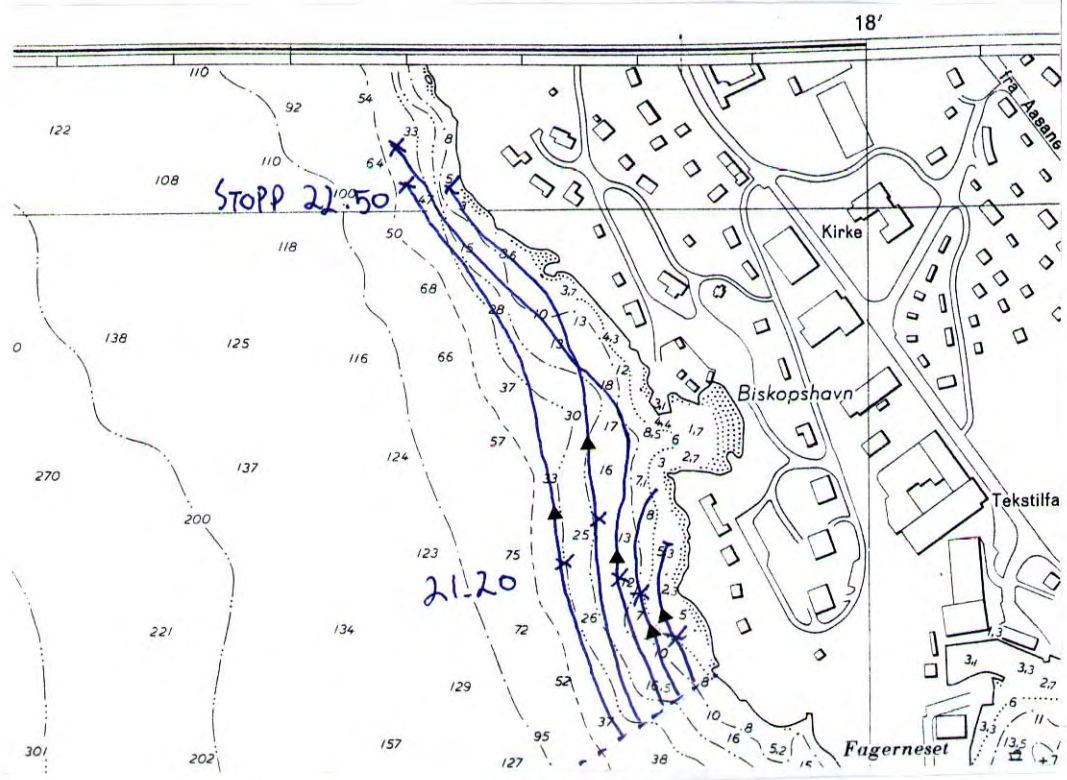
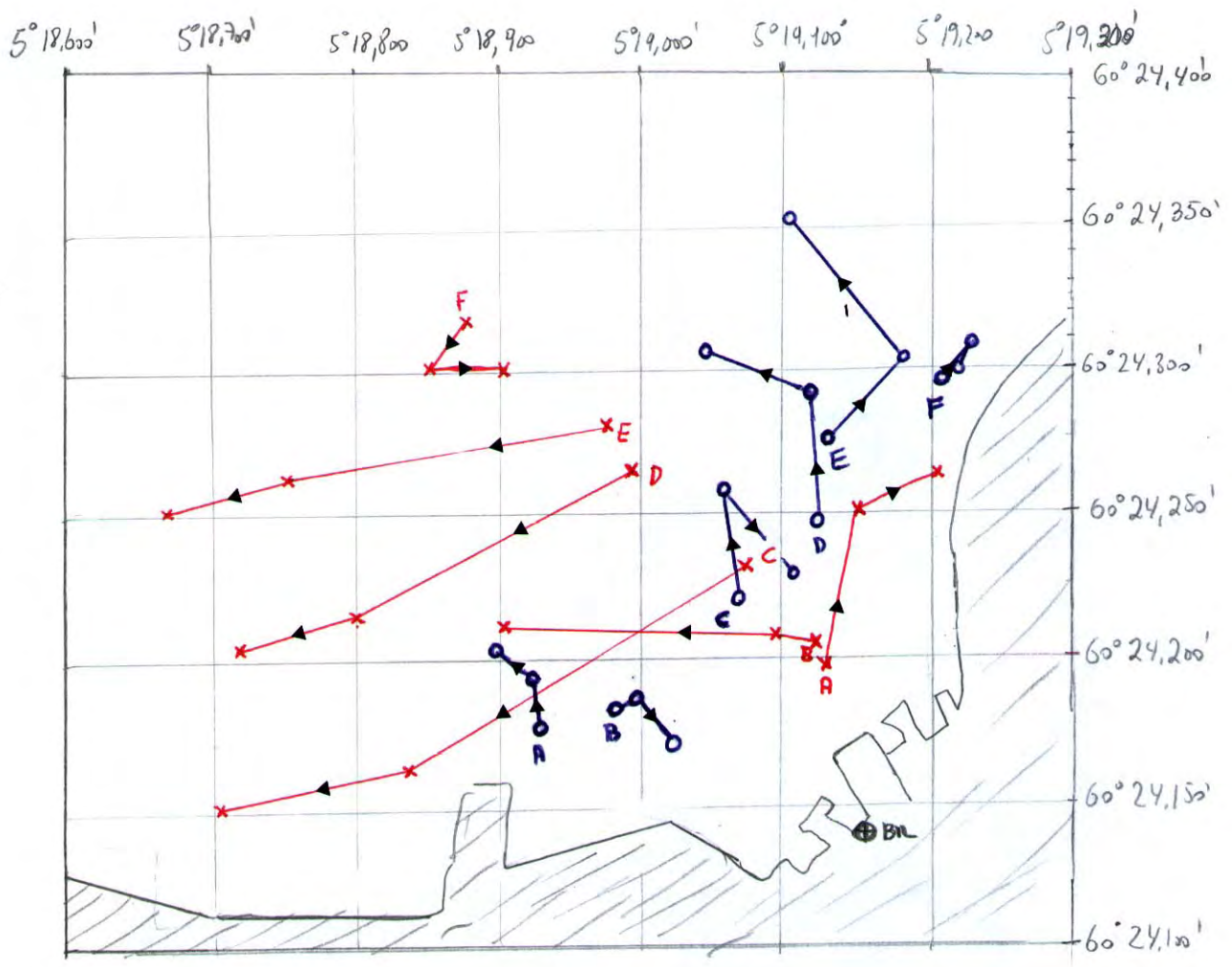


Fig. A25. Resultater for noen av strøm korsforsøkene som blei utført på Sandviksflaket (øverst) og ved Breiviken. Se tekst i avsnitt 3.3.3 for forklaringer.

---

**NIVA**



**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2817-9