



Statlig program for
forurensningsovervåking

Rapport 423|90

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

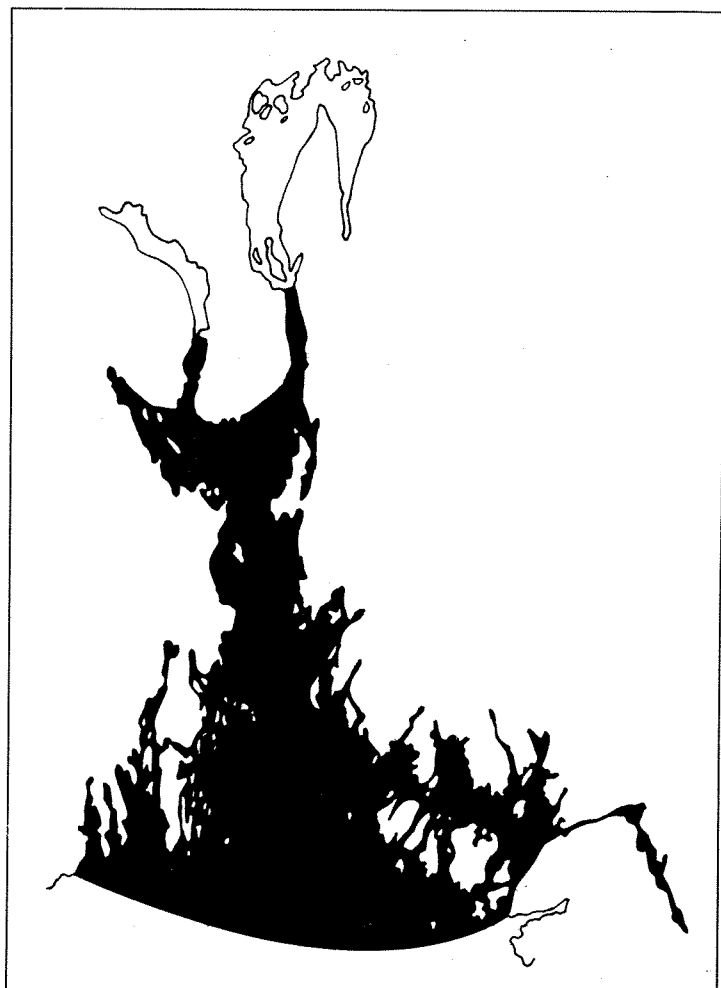
Deltakende institusjon

VERITEC

Eutrofi- situasjonen i YTRE OSLOFJORD 1989

DELPROSJEKT 4.10

Strømmålinger i
Ytre Oslofjord





Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør
grunnvann
vassdrag og fjorder
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.

registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.

påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.

over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo 1, tlf. 02 - 65 98 10.

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 69, Korsvoll
0808 Oslo 8
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 89

Sørlandsavdelingen
Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752
Telefax (065) 78 402

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

Prosjektnr.:
8907502

Undernummer:

Løpenummer:
2482

Begrenset distribusjon:
Åpen

Rapportens tittel: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989 Delprosjekt 4.10 Strømmålinger i Ytre Oslofjord (Overvåkingsrapport nr.423/90)	Dato: 26.april 1990
	Rapportnr.
Forfatter (e): Finn-Erik Dahl Ingar Moen Ketil Skogen	Faggruppe: Marin eutrofi
	Geografisk område: Oslofjorden
	Antall sider (inkl. bilag): 55

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) (Statlig program for forurensningsovervåking)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt: (Dette ark er lagt inn i NIVA's arkiveksemplarer)

4 emneord, norske:

1. Oslofjorden
2. Marin eutrofi
3. Strømmålinger
4. Hydrografi

4 emneord, engelske:

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

Prosjektleder:


Kjell Baalsrud

For administrasjonen:


Tor Bokn

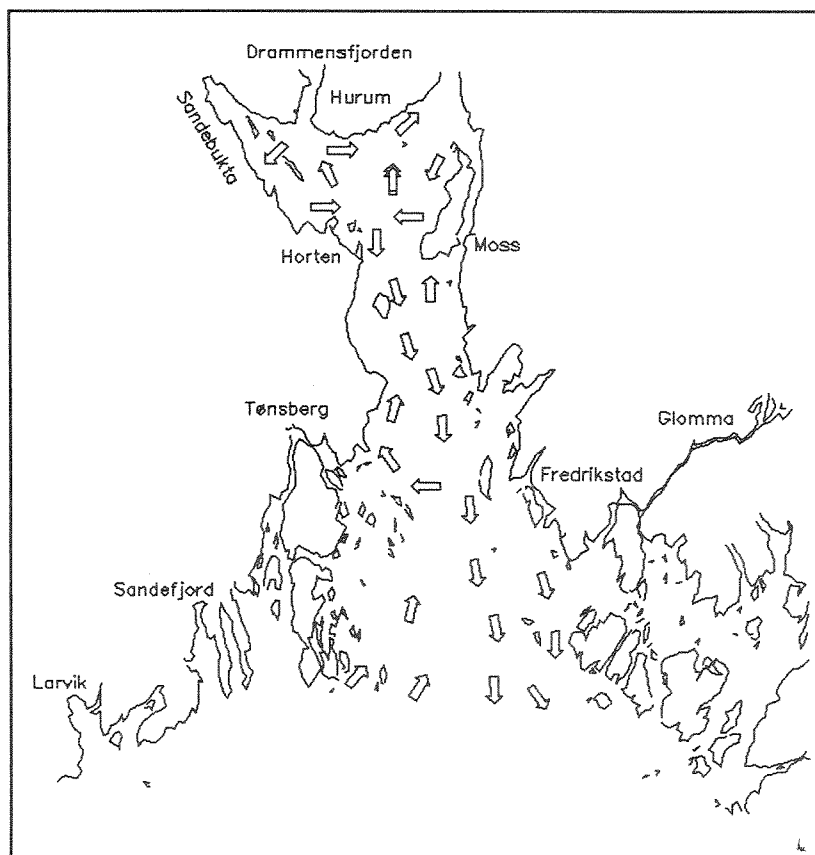
ISBN 82-577-1795-9

Programleder, overvåking



Statlig program for forurensningsovervåking

Eutrofisituasjonen i YTRE OSLOFJORD 1989
Delprosjekt 4.10 : Strømmålinger i Ytre Oslofjord



Analyse av strøm og hydrografiske målinger i
Ytre Oslofjord 1989

av

Finn-Erik Dahl, Ingard Moen og
Ketil Skogen

Veritas Offshore Technology and Services A.S.
Avdeling for Oseanografi
Postboks 300
1322 Høvik

26. april 1990

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
1 SAMMENDRAG	2
1.1 Formål	2
1.2 Konklusjoner	2
1.3 Gjennomføring	4
2 INNLEDNING	6
3 MÅLEPROGRAMMET	8
4 INSTRUMENTERING	9
4.1 Akustisk strømmåler	9
4.2 Behandling av data fra akustisk strømmåler	11
4.3 SEACAT Temperatur- og Saltholdighetsmåler	13
4.4 Behandling av data fra Seacat	14
5 FELTARBEID	16
6 RESULTATER FRA TS - FELTMÅLINGER	18
6.1 Tokt 13.-15. mars 1989	18
6.1.1 Temperaturfordeling 13.-15 mars 1989	18
6.1.2 Saltholdighetsfordeling 13.-15. mars 1989	18
6.1.3 Tetthetsfordeling 13.-15. mars 1989	19
6.2 Tokt 10.-12. april 1989	19
6.2.1 Temperaturfordeling 10.-12. april 1989	19
6.2.2 Saltholdighetsfordeling 10.-12. april 1989	19
6.2.3 Tetthetsfordeling 10-12. april 1989	19
6.3 Tokt 10.-11. august 1989	19
6.3.1 Temperaturfordeling 10.-11. august 1989	20
6.3.2 Saltholdighetsfordeling 10.-11. august 1989	20
6.3.3 Tetthetsfordeling 10.-11. august 1989	20
6.4 Tokt 5.-6. september 1989	21
6.4.1 Temperaturfordeling 5.-6. september 1989	21
6.4.2 Saltholdighetsfordeling 5.-6. september 1989	21
6.4.3 Tetthetsfordeling 5.-6. september 1989	21
6.5 Tokt 2.-4. oktober 1989	21
6.5.1 Temperaturfordeling 2.-4. oktober 1989	21
6.5.2 Saltholdighetsfordeling 2.-4. oktober 1989	22
6.5.3 Tetthetsfordeling 2.-4. oktober 1989	22
7 STRØMMÅLINGER	23
7.1 Strømmålinger fra toktet 10.-11. august 1989	23
7.1.1 Strømdata fra -10 m i perioden 10.-11. august 1989	23
7.1.2 Strømdata fra -18 m i perioden 10.-11. august 1989	25
7.1.3 Strømdata fra -26 m fra perioden 10.-11. august 1989	25
7.2 Strømmålinger fra toktet fra perioden 5.-6. september 1989	26
7.2.1 Strømdata fra -12 m fra perioden 5.-6. september 1989	26
7.2.2 Strømdata fra -20 m i perioden 5.-6. september 1989	27
7.2.3 Strømdata fra -28 m fra perioden 5.-6. september 1989	28
7.3 Strømmålinger fra toktet fra perioden 2.-4. oktober 1989	29
7.3.1 Strømdata fra -12 m fra perioden 2.-4. oktober 1989	30
7.3.2 Strømdata fra -20 m fra perioden 2.-4. oktober 1989	31
7.3.3 Strømdata fra -28 m fra perioden 2.-4. oktober 1989	33
7.4 Vertikalprofiler fra toktet 2.-4. oktober 1989	34

7.4.1 Vertikalfordeling av strøm ved Slagentangen	34
7.4.2 Vertikalfordeling av strøm mellom Færder og Søndre Søstrene	36
7.4.3 Vertikalfordeling av strøm mellom Asmaløy og Tisler	38
7.4.4 Vertikalfordeling av strøm i nordenden av Kosterfjorden	40
7.4.5 Vertikalfordeling av strøm fra snitt "47"	40
7.4.6 Vertikalfordelinger fra snitt "42"	42
7.4.7 Syntese av resultater fra feltmålingene	43
8 KONKLUSJONER	46
8.1 Konklusjoner fra de hydrografiske målingene	46
8.2 Konklusjoner fra strømmålingene	48
9 REFERENSER	50
10 VEDLEGG	51
10.1 EDB-programmer	51
10.1.1 Program CATSPIKE	51
10.1.2 Program CATSALDE	53

FIGUROVERSIKT

Figur 2.1 Omriss av Oslofjorden med stedsnavn	7
Figur 4.1.1. Prinsippskisse, ADCP og hjelpeinstrumenter	10
Figur 4.2.1. Eksempel på vertikalt strømprofil fra ADCP	11
Figur 7.1.1.4 Sammendrag av strøm i 10 m i August 1989	24
Figur 7.1.3.2 Sammendrag strøm i Breidangen august 1989	25
Figur 7.2.1.7 Sammendrag av strøm i -12m 5.-6. sept. 1989	26
Figur 7.2.2.7 Sammendrag av strøm i -20 m 5.-6. sept. 1989	28
Figur 7.2.3.7 Sammendrag av strøm i -28 m 5.-6. sept. 1989	29
Figur 7.3.1.7 Sammendrag av strøm i -12 m 2.-4. okt. 1989	31
Figur 7.3.2.7 Sammendrag av strøm i -20 m 2.-4. okt. 1989	32
Figur 7.3.3.7 Sammendrag av strøm i -28 m 2.-4. okt. 1989	34
Figur 7.4.1.1 Posisjoner for delsnitt ved Slagentangen	35
Figur 7.4.1.2 Vertikalprofil av strøm, Slagentangen okt.1989	35
Figur 7.4.1.3 Vertikalprofil av strøm, Eldøya okt. 1989	36
Figur 7.4.2.1 Posisjoner for vertikalprofiler okt. 1989	37
Figur 7.4.2.2 Vertikalprofiler mellom Færder og Søstrene	37
Figur 7.4.3.1 Vertikalprofiler mellom Kirkøy og Tisler (B)	38
Figur 7.4.3.2 Vertikalprofiler mellom Kirkøy og Tisler (C)	39
Figur 7.4.3.3 Vertikalprofiler mellom Kirkøy og Tisler (D)	39
Figur 7.4.3.3 Vertikalprofiler fra Kosterfjorden (E)	40
Figur 7.4.5.1 Vertikalprofiler vest for Koster (F)	41
Figur 7.4.5.2 Vertikalprofiler fra Skagerrak - Koster (G)	42
Figur 7.4.6.1 Vertikalprofiler fra Skagerrak (H)	43
Figur 7.4.6.2 Vertikalprofiler fra Skagerrak-Sandefjord (I)	43

TABELLOVERSIKT

Tabell 4.2.1. Spesifikasjoner for RDI VM.ADCP 150 kHz	13
Tabell 4.3.1. Spesifikasjoner for Seacat Thermosalinigraph	14
Tabell 5.1. Planlagte Strøm/Hydrografiske tokt 1989	16
Tabell 5.2. Strøm/Hydrografiske tokt i Oslofjorden 1989	17
Tabell 7.4.1. Sammendrag av strømmålinger Grisebådarna 1988	45

FORORD

Dette er en delrapport i en større undersøkelse av Eutrofisitasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Prosjektet utføres for Statens Forurensningstilsyn (SFT) av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i samarbeid med Biologisk institutt, Universitetet i Oslo og Veritas Offshore Technology and Services A.S. (VERITEC). Prosjektet er en fortsettelse av en tilsvarende undersøkelse som ble utført i 1988, og er del av Statlig program for forurensningsovervåking.

Resultatene fra samtlige delundersøkelser i prosjektet vil til slutt bli sammenholdt og skal danne basis for en sammenfattende rapport. Denne delrapporten er hovedrapporten for delundersøkelse 4.10 : Strømmålinger i Ytre Oslofjord 1989. Rapporten gir en beskrivelse av målingene som er utført, samt en tolking av dataene som foreligger. Hovedvekten er blitt lagt på å fremstille det storstilte strømmønsteret som er blitt observert under ulike værforhold.

I denne rapporten er det vist et begrenset omfang av figurer. Alle figurer i teksten i denne rapporten som er merket /A/, f.eks. figur 7.3.2.1/A/ er vist i eget appendiks. Denne rapporten med appendiks utgjør den hele rapporten for aktivitet 4.10. Sammen med delrapportene fra feltarbeidet som ble utført i 1988, utgjør denne rapporten med appendiks en fullstendig dokumentasjon av feltarbeidet som omfatter strøm- og hydrografiske målinger utført innenfor rammen av dette prosjektet.

Rapporten er skrevet av Finn-Erik Dahl, med assistanse fra Ketil Skogen og Ingard Moen. Feltarbeidet som ligger til grunn for rapporten er blitt utført av Finn-Erik Dahl, Bruce Hackett og Ketil Skogen. Mannskapet ombord på F/F "Trygve Braarud", Tom Tønnessen og Tom Pedersen, har gjennom aldri sviktende gå-på humør og godt sjømannskap gjort det mulig å oppnå data fra situasjoner med dårlig vær.

Kjell Baalsrud
Prosjektleder

1 SAMMENDRAG

1.1 Formål

Hovedformålet med Eutrofiundersøkelsen i Ytre Oslofjord er å anslå behovet for utslippsreduksjoner av eutrofierende stoffer og organisk stoff til Ytre Oslofjord, og å vurdere de forurensede nærområders effekt på Ytre Oslofjord.

Formålet med denne delundersøkelsen er å samle inn og bearbeide data om strømforholdene i ytre Oslofjord, slik at resultatene kan brukes både til å bedre den generelle kunnskapen om strømforholdene, samt å brukes som data til å verifisere de numeriske simuleringene som er utført.

1.2 Konklusjoner

Værforholdene under toktene var stort sett preget av mye vind og sjø fra syd, bortsett fra toktet i oktober 1989 hvor det den første dagen var storm fra nordvest. Kraftig vind fra syd fører til oppstuvning av vannmasser i midtre og indre deler av fjorden. Måleresultatene viser at ved sydlig vind oppstår det kraftige saltholdighets- og tetthetsgradienter i den midtre og vestre delen av Breidangen. Dette er ferskvann fra Drammensfjorden som ikke får anledning til å strømme fritt utover fjorden, men stuves opp i området fra Mølen og vestover. Særlig under toktene i mars, april og september fantes disse sterke gradientene i midtre og vestre deler av Breidangen.

Fra Mølen og mot øst er det et tydelig skille i fordelingen av saltholdighet, som indikerer at brakkvann fra Drammenselven ikke "når" bort til Jeløya under perioder med sterk sydlig vind. Videre tyder dataene på at de grunne områdene rett vest for Jeløya er et område hvor det kan finne sted heving (upwelling) til overflaten av vannmasser fra underliggende dyp ved sterk sydlig og sydvestlig vind.

Under toktet i oktober 1989 var det kraftig vind fra nord mens målingene i Breidangen ble utført. Dataene viser at under denne situasjonen er gradientene i den østre delen av Breidangen sterkere enn i den vestre. Dette tyder på at brakkvannet som strømmer ut fra Drammenselven ved nordlig vind blandes med vannmassene i den østre delen av Breidangen, mens det er liten blanding i de midtre og vestre delene av Breidangen.

I den midtre delen av fjorden viser målingene også vesentlige forskjeller i de hydrografiske forholdene som følge av sydlig og nordlig vind. Under toktene i mars og september gikk isolinjene stort sett på tvers av fjorden, med en tendens til å følge rekken av øyer langs østsiden. Det er trolig at den lavere tettheten øst for øyene fra Søstrene og nordover skyldes brakkvannstransport innover fjorden fra Glomma.

Under toktet i oktober 1989 med sterk nordlig vind, var den hydrografiske situasjonen en helt annen enn under toktene i mars og september. Isolinjene for saltholdighet var stort sett på langs av fjorden. F.eks. var 27.5 0/00-linjen for saltholdighet ubrudt langs midten av fjorden fra Hurumlandet og ut i

Skagerrak. I oktober var høyeste saltholdighet og dermed tetthet langs østsiden av fjorden. Dette tyder på at ved sterk nordlig vind skjer transporten av brakkvann fra Drammenselven stort sett langs vestsiden av fjorden. Vindstresset fører også til transport mot vest i overflatelaget på østsiden, og dermed "upwelling". Det er støtte for denne antagelsen i dataene, som viser høyeste saltholdigheter i området mellom Strømtangen og Rauøy.

Fra områdene i ytre Oslofjord og Skagerrak finnes det få data. Bare under toktet i oktober 1989 kunne vi gjennomføre målingene som planlagt. Disse målingene viser et utstrakt område med brakkvann langs land ved og sydvest for Færder, mens vannmassene lenger ute i Skagerrak har høyere saltholdighet og tetthet. Brakkvannet ved Færder er trolig utstrømning av brakkvann fra Oslofjorden som møter brakkvann som strømmer østover syd for Vestfold.

Langs Hvalerlandet skiftet vannmassene ved Tisler. Nord for Tisler er det vann med relativt høy saltholdighet, mens det øst og syd for Tisler var vannmasser med betydelig lavere saltholdighet. Dette tyder på at i situasjoner med sterk nordlig vind strømmer ferskvannet fra Glomma i liten utstrekning ut i Oslofjorden ved Strømtangen, men presses østover til utløpene ved Løperen og i Sækken. De sterke gradientene som finnes mellom Tisler og Koster tyder på at brakkvannet fra Glomma under toktet i oktober ikke gikk ut i Skagerrak eller Oslofjorden, men fortsatte mot syd og øst mot Koster og Kosterfjorden.

Strømmålingene som er blitt utført med ADCP fra båt i 1989 har gitt ny informasjon om strømforholdene i ytre Oslofjord og indre Skagerrak. Det viktigste er :

Strømmen i store deler av fjorden kan ikke betraktes som en "kanalstrøm", eller som en strøm inn og ut av fjorden. I en rekke områder, f.eks. på nordsiden av Bolærne, nord for Færder, i Verlebukta og i Breidangen er det storstilte hvirvler. Disse hvirvlene oppstår gjerne i le av land i strømmens hovedretning, eller når fjorden blir smalere, som f.eks. når nordgående strøm kommer opp mot Verlebukta syd for Jeløya.

I Breidangen, hvor det er en rekke øyer, undervannsrygger og grunner, finnes hvirvler rundt disse øyene. F.eks. ser det ut til at transporten inn i Sandebukta ved Holmestrand fra Rødtangenområdet er en hyppig forekommende foreteelse. Det danner seg også ofte en stor virvel i Breidangen som roterer mot klokka. Når strømmen i sentrale Breidangen går nordover, danner det seg en sydgående strøm langs vestsiden av Jeløya nord for Gullholmen.

Ved kraftig nordlig vind som i oktober 1989, kan strømmen i overflatelaget ut fjorden trekke seg helt over på østsiden av fjorden, mens det danner seg en virvel *med klokka* nord for Bolærne. Ved sydlig eller lite vind er denne virvelen *mot klokka*.

En viktig konsekvens av den hyppige tilstedeværelsen av store og ofte forekommende virvler i fjorden er at tiden vannmassene bruker på å bli fraktet ut av fjorden forlenges. Det vil si at oppholdstiden av vannmassene øker. Videre fører det til øket grad av resirkulasjon, dvs. at vannet som strømmer

inn i fjorden for å skifte ut "gammelt" vann, blandes opp med "gammelt" vann, som er på vei ut fjorden. Dermed reduseres effekten av utskifting av vannmasser som strømmer inn fra Skagerrak.

Det er ikke utført noen analyser av dataene for å undersøke omfanget av denne resirkulasjonen, eller hvilken reduksjon i utskifting av "gammelt" vann, som resirkulasjonen medfører.

Strømforholdene under toktet i oktober i Skagerrak var karakterisert av at kyststrømmen var skjøvet 6-8 nautiske mil ut fra Færder, med en virvel med klokka på nordsiden av kyststrømmen. Denne transporten, *med klokka*, kunne følges gjennom hele området, fra Sandefjord i vest til nordenden av Kosterfjorden i øst. Omtrent det samme strømmønsteret ble funnet under toktet i august 1988.

Tidligere antagelser om strømforholdene utenfor Oslofjordens munning har vært at den nordlige grensen for kyststrømmen har gått helt nord i fjordmunningen, med transport fra øst mot vest. Pga. det reduserte omfanget av datamaterialet fra dette området i 1989, kan man ikke avgjøre om forholdene som ble målt i oktober 1989 er uvanlige, eller om de er del av et vanlig sirkulasjonsmønster.

Strømmålingene som ble utført ved Grisebådarne i 1988 ved hjelp av forankrede Aanderaa strømmålere kan gi informasjon om hyppigheten av transporten fra vest mot øst, og omvendt. Reanalyse av disse dataene viser at for målingene i perioden mai-oktober 1988 var strømmen rettet i sektoren (90,200) grader i om lag en fjerdedel av tiden. Dette tyder på at sirkulasjonen med klokka utenfor Oslofjordens munning ikke er den dominerende transportretningen, men den kan karakteriseres som et vanlig forekommende transportmønster.

1.3 Gjennomføring

Målingene av strøm og hydrografi som ble gjennomført i Oslofjorden i 1989 er den første kjente undersøkelsen i en fjord hvor målingene hovedsaklig er basert på profilerende instrumenter som opereres kontinuerlig fra et fartøy under fart.

Vertikalfordelingen av strøm er blitt målt ved hjelp av en akustisk strømmåler (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP). Instrumentet måler strøm ved hjelp av lydimpulser som reflekteres av vannmassene. Strømhastigheten måles gjennom Dopplerskiftet mellom en utsendt og reflektert lydimpuls.

Temperatur og saltholdighet i overflatelaget er blitt målt med et instrument som måler temperatur og ledningsevne av vann som pumpes inn i båten fra om lag 2 meters dyp.

De nye måleteknikkene har gjort det mulig å gjennomføre kontinuerlige observasjoner av strøm og hydrografi på en helt nye måte i Oslofjordområdet. Forsøk med forskjellige hastigheter på fartøyet viste at 6 knots fart ga den beste kombinasjonen av datakvalitet og raskest mulig gjennomføring. Når fartøyet ble operert med denne hastigheten, viste gjennomføringen av

undersøkelsene at man under forhold med relativt lav sjøgang kan "dekke" hele området mellom Drøbaksundet i nord og områdene i Skagerrak, ca. 15 nautiske mil utenfor Færder-Torbjørnshjær, i syd i løpet av 36 timer.

Denne relativt raske gjennomføringen av målingene gjør det mulig å beskrive strømforholdene i fjorden under antagelse av kvasi-stasjonæritet hvis man ser bort fra tidevannsdrevne bevegelser. Bildene av strøm og hydrografiske forhold i fjorden som kommer frem fra målingene i løpet av et tokt, kan med god tilnærming brukes til å sammenlikne det storstilte mønsteret som kommer fram ved å bruke numeriske modeller eller fjernmålinger.

Omfanget av målingene som er samlet inn, er ikke blitt så stort som forutsatt i det opprinnelige programmet. Dette skyldes både at VERITEC hadde vanskeligheter med å operere ADCP instrumentet på en tilfredsstillende måte, og at flere tokt måtte avbrytes på grunn av for høy sjøgang i ytre Oslofjord.

Erfaring fra tidligere undersøkelser i det samme området med andre fartøyer, tilsier at selv med fartøyer på størrelse opp til 150 fot ville vi trolig ikke ha kunnet utføre målinger under de toktene som måtte avbrytes på grunn av høy sjøgang. Mannskapet på "Trygve Braarud" viste godt sjømannskap i manøvrering av fartøyet i situasjoner med høy sjøgang hvor en ellers skulle ha ventet at målingene måtte avbrytes.

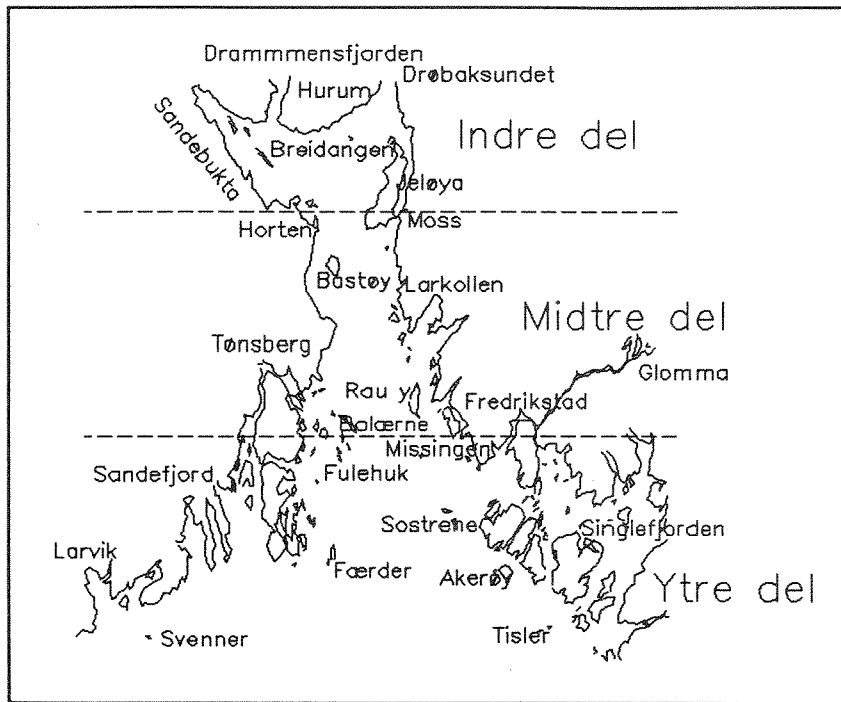
2 INNLEDNING

Undersøkelsene som er beskrevet i denne rapporten er en del av prosjektet "Eutrofisituasjonen i Oslofjorden". Prosjektet er initiert og finansiert av Statens Forurensningstilsyn (SFT). Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har prosjektledelsen, med Universitetet i Oslo (UiO) og Veritas Offshore Technology and Services A.S. (VERITEC) som prosjektdeltagere.

Denne rapporten beskriver resultater fra feltmålinger og analyser av måledata som er utført i delprosjekt 4.10 - Strømmålinger. Rapporten beskriver arbeidet som er utført i 1989, men bruker også resultater fra undersøkelsene som ble utført i 1988, og som er rapportert i Dahl 1988, Dahl og Hackett 1988, Dahl og Hackett 1989.

I tillegg til feltmålinger av strøm og andre hydrografiske parametre, har VERITEC utført numeriske simuleringer av strømforholdene i ytre Oslofjord. I den utstrekning resultater fra målingene er brukt til å validisere resultatene fra de numeriske simuleringene, er dette beskrevet i rapportene som omhandler de numeriske simuleringene Skåtun 1988, Skåtun og Røed 1989. En samlet oversikt som beskriver strømforholdene i Oslofjorden, og som ikke bare bygger på målingene av strøm, men også på numeriske simuleringer, satelitt-observasjoner m.m. er gitt i hovedrapporten for prosjektet.

Området i Oslofjorden som er dekket med målingene er vist i figur 2.1. I denne figuren vises de viktigste stedsnavnene som senere brukes i gjennomgangen av måledataene.



Figur 2.1 Omriss av Oslofjorden med stedsnavn

3 MÅLEPROGRAMMET

Som del av undersøkelsene i 1988 ble det utført målinger av strøm og hydrografi (temperatur, saltholdighet) på en rekke lokaliteter i ytre Oslofjord. Resultatene fra disse målingene er beskrevet i Dahl og Hackett 1988.

Målingene av strøm i 1988 ble konsentrert om målinger med fast stasjonerte instrumenter. På flere steder ble det satt ut strømmålere av typen Aanderaa. På et sted ble det satt ut en akustisk strømmåler. Av ulike årsaker ble datagjenfangsten fra disse målerne ikke så stor som forventet. I tillegg viste både resultater fra målingene og fra de numeriske simuleringene at det er vanskelig å peke ut posisjoner hvor fast stasjonerte målere kan gi et representativt bilde av de storstilte strømforholdene i Oslofjorden.

I juni og august 1988 ble det gjennomført to tokt i ytre Oslofjord. I forskningsfartøyet (F/F"Trygve Braarud") er det av NIVA, VERITEC og UiO blitt installert en profilerende akustisk strømmåler (RDI VM-ADCP 150 kHz). Dette instrumentet er i stand til å måle og registrere den vertikale fordelingen av strøm mens fartøyet beveger seg. Under det første toktet, i juni 1988, fungerte ikke den akustiske strømmåleren. Under det andre toktet, i august 1988, ga instrumentet gode strømdata, særlig fra det nordligste området i Skagerrak og i ytre Oslofjord. Resultatene fra disse målingene er vist i Dahl og Hackett 1989.

Under arbeidet med å utforme et måleprogram for å få en bedre kartlegging av strømforholdene i ytre Oslofjord enn hva de fast stasjonerte instrumentene kan gi, ble det derfor besluttet å bruke den akustiske profilerende måleren i arbeidet som skulle utføres i 1989. I tillegg til den akustiske måleren, er det blitt installert et instrument (SEACAT) i fartøyet som kontinuerlig måler temperatur og saltholdighet i overflatelaget (-2m). Det ble gitt budsjett for å gjennomføre totalt 18 toktdøgn med målinger fordelt på 7 tokt.

Hensikten med målingene ble definert som følgende :

- * I løpet av et relativt kort tidsrom å kartlegge strømforholdene i hele vandypet i midtre og ytre Oslofjord, samt kartlegge hydrografiske forhold i overflatelaget.

Måleprogrammet ble satt opp ut fra antagelsen om at i løpet av 36 timer vil ikke de storstilte strømforholdene i Oslofjorden endre seg. Målingene vil dermed kunne gi kvasistasjonære beskrivelser av strøm- og temperaturforholdene i fjorden, samt kunne brukes til verifikasjonsgrunnlag for numeriske modeller.

4 INSTRUMENTERING

Dette kapitlet gir en beskrivelse av instrumentene ombord i F/F "Trygve Braarud" som er blitt brukt i undersøkelsene. Hensikten med denne gjennomgangen er kort å beskrive instrumentene, hvordan de er blitt brukt og hvilke begrensninger de har.

De oseanografiske måleinstrumentene ombord i F/F "Trygve Braarud" er koblet med gyrokompasset (for å registrere fartøyets kurs) og Decca navigatoren (for å registrere fartøyets posisjon). På denne måten blir alle innsamlede data referert til en posisjon, og man kan dermed vise den horisontale fordelingen av parametre som strøm, temperatur og saltholdighet.

I de indre områdene av ytre Oslofjord (Breidangen og Drøbaksundet) er det usikkerhet i Decca posisjonene pga. skyggevirksomheter og interferens fra land. Dette har medført at man under behandlingen av måledataene har måttet manuelt justere posisjonene som er blitt registrert.

4.1 Akustisk strømmåler

Den akustiske strømmåleren (VM-ADCP 150 kHz) som er montert om bord i F/F "Trygve Braarud" er produsert av RD Instruments, San Diego, USA. Den består av fire svingere (transducere) som peker innbyrdes 90 grader i hver sin retning 30 grader ut fra vertikalen. En hjerne/styresentral (Data Aquisition System, DAS) styrer måleren og datastrømmen fra denne. Til DAS'en er det koblet en datamaskin (Compaq 286) og denne står også i forbindelse med navigasjonssystemet (Shipmate 2000, DECCA) og gyroen (Robertson). Kommunikasjonen mellom datamaskin og DAS'en foregår over GP-IB databus.

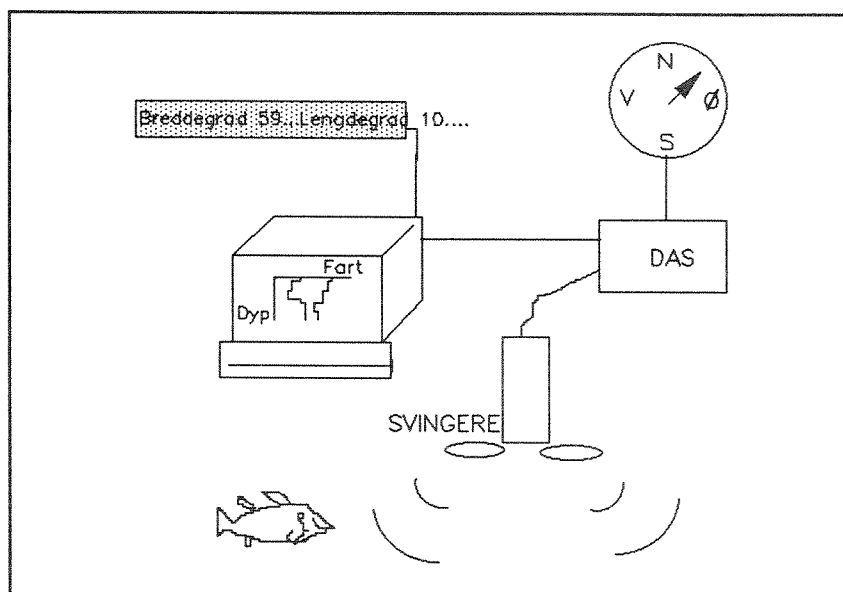
Måleprinsippet for en ADCP er å fange opp lyden som blir reflektert fra små partikler nedover i vannmassene etter at et lydsignal med kjent varighet, frekvens og amplitude er sendt ut fra transducerene (svingerne) som er plassert i skroget på båten. På samme måte som man opplever toneforskjellen når en sykebil passerer i stor fart, vil partiklene reflektere og forskyve tonebildet til lydimpulsen som blir sendt ut fra svingerne. Ekkoet av den utsendte lydimpulsen vil bli dratt ut i tid avhengig av hvor dypt partiklene som reflekterer lyden er (gangavstand). Ekkoet fanges opp i transducerne og i elektronikken blir signalet kuttet opp i tid ("range-gating", oppkutting i "celler") som gir dypet for den enkelte celle. Det antas her at lydhastigheten i hele vannsøylen er tilnærmet konstant. Forskjellen i tonebildet (Dopplerskiftet) beregnes for hver celle. For hver enkelt svinger er det mulig å måle hastigheten i samme retning som lydimpulsen (strømpuls) ble sendt ut (radial hastighet). Ved å bruke minst tre stråler regner man seg så frem til hastighetene relatert til båten.

Man måler også hastighetene relatert til bunnen. Dette gjøres ved å sende en egen lydimpuls (bunnimpuls) som bestemmer vanddyppet og båtens hastighet i forhold til bunnen. F.eks. kan man sende ut 1 bunnimpuls for hver 5.te strømpuls. For hvert sammenhengende sett av strømpulser og bunnpulser trekkes skipets hastighet fra de beregnede strømverdiene for vannets hastighet relativt til

fartøyets. Dermed har man beregnet vannets hastighet i forhold til bunnen. Dette repeteres gjennom et gitt tidsrom (f.eks 1 minutt) og midlede størrelser beregnes for strekningen man har kjørt.

I tillegg må det hele tiden korrigeres for retningen båten går (heading). Desverre går ikke båten "på skinner" pga. sjøgang, og raske retningsendringer reflekteres som usikkerhet i målingene. Fartøyets posisjon (fra DECCA) og temperatur (i svingerhodet) blir avlest regelmessig og registrert på diskett sammen med hastighetsmålingene.

I figur 4.1.1 er det vist en prinsippskisse som viser hvordan svingere, Decca navigatoren, DAS og datamaskinen er koblet sammen.



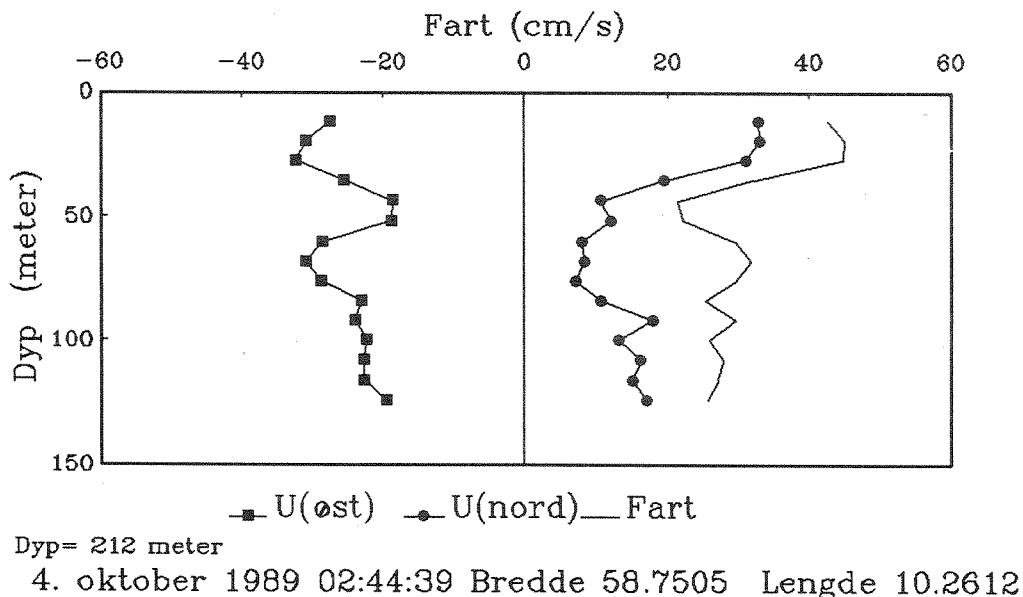
Figur 4.1.1
Prinsippskisse, ADCP og hjelpeinstrumenter

ADCP'en er et svært fleksibelt og avansert instrument både på godt og vondt. Det er et utall av parametre som kan (og må) endres fra en målesituasjon til en annen. Ved riktig valg av verdier for de enkelte parametrene, samt riktige kombinasjoner av parametre, gir instrumentet svært gode og pålitelige hastighetsmålinger under de fleste forhold. Usikkerheten i målingene er vanligvis mindre enn 5 cm/s. Men det kan være vanskelig å finne den rette parametersettingen dersom en ikke har tilstrekkelig erfaring med bruk av instrumentet. Det kreves erfaring langt utover hva man kan lese seg til i brukermanualen for å være sikret gode måleresultater.

Som behandlingen av de innsamlede data senere vil vise, mestret man ikke parametersettingen helt ut før i toktet som ble utført i oktober 1989. Og først i toktet i august 1989 var oppsettingen av instrumentet slik at det ga rimelige verdier. Det må her innskytes at VERITEC har arbeidet med akustiske dopplerinstrumenter siden 1985. Alle erfaringene fra målingene som ble utført i 1988 og 1989 viser at den skipsmonterte doppler strømmåleren er et instrument som må brukes med omtanke, og at den må opereres av kvalifisert personale dersom den skal gi brukbare verdier.

4.2 Behandling av data fra akustisk strømmåler

Etter å ha samlet inn data gjennom et gitt tidsintervall, midler instrumentet strømmen vektorielt i hver celle, og lagrer et vertikalprofil av strøm for dette midlingsintervallet. Et eksempel på en slikt vertikalprofil er vist i figur 4.2.1.



Figur 4.2.1
Eksempel på vertikalt strømprofil fra ADCP

Figuren viser et strømprofil i dybdeintervallet 10-135 m i et område hvor midlere dyp var om lag 212 m. Tidspunktet som er oppgitt i overskriften er GMT for avslutningen av profilet. Posisjonen ved avslutningen av målingene er gitt som geografiske koordinater (denne posisjonen er i Skagerrak).

Geografisk posisjon er gitt som grader og decimalgrader. Figuren viser videre at østkomponenten var negativ og nordkomponenten var positiv, dvs. at strømmen var rettet mot nordvest. For å få opplysning om farten (dvs. strømhastighet uten retning), er også vertikalfordelingen av farten plottet. Figuren viser at det ble målt overflatestrøm (øverste 25 m) på om lag 1 knot, og at strømmen i lagene under var om lag 0.5 knots.

Selv om kvaliteten og omfanget av datainnsamlingen har endret seg fra tokt til tokt, har prosedyren for behandlingen av data etter toktene ikke endret seg. Som nevnt, har en stort sett samlet inn data med målefrekvens ("ping-rate") 1Hz. Disse dataene er blitt midlet gjennom et tidsrom (1 minutt) internt i instrumentet, og er deretter blitt skrevet ut på en diskett. Enkeltprofilene ble deretter kontrollert, og dårlige data ble merket. Dataene ble konvertert til standard enheter i en programpakke som VERITEC tidligere har utviklet. Etter kontroll og merking av enkelt-profiler, har en merket alle strømmålingene med posisjoner, som er blitt registrert samtidig med at strømmålingene ble utført.

Etter at alle data er blitt gitt en posisjon, er enkelte vertikalprofiler på utvalgte posisjoner tegnet ut. Deretter er strømmens styrke og retning i utvalgte dyp blitt tegnet ut langs kurslinjer i kart. Disse kartene er vist i denne rapporten i behandlingen av måleresultatene.

For enkelte av de tidlige toktene var resultatene fra målingene så variable (pga. at man ikke mestret instrumentet fullt ut ved å sette alle parametre, og pga. stor sjøgang under målingene) at det er valgt å anvende et glidende middel på vertikalprofilene før vi tegnet ut horisontalfordelingene i de utvalgte nivåene.

Nøyaktigheten i målingene er avhengig av cellelengden og midlingsintervallet. Stor cellelengde gir lavere usikkerhet enn kortere cellengde, mens nøyaktigheten er omvendt proporsjonal med kvadratroten av antall enkeltprofiler som midles (når cellelengden holdes konstant).

Å finne den optimale settingen for instrumentet er derfor en avveining mellom hvor god vertikaloppløsning eller horisontaloppløsning man ønsker.

Parameter	Størrelse	Kommentar
Frekvens	153.6 kHz	Grunnfrekvensen for det akustiske signalet som sendes ut av svingerne.
Rekkevidde	350 meter	Dette er maksimal rekkevidde. Den er begrenset av energien i strålene og dispersjon i vannet.
Hastighetsområde	+/- 10 m/s	
Antall dybdeceller	< 129	Gir vertikaloppløsningen av strømmen.
Cellelengde	1 til 32 meter	Cellelengde ganget med antall dybdeceller gir vertikal rekkevidde.
"Long nøyaktighet term"	+/-0.2% eller +/- 0.5 cm/s	Dette er begrensingen i absolutt nøyaktighet som settes av instrumentet og måleprinsippet.
"Short nøyaktighet term"	Avhengig av cellelengde og midlingsintervall.	Typisk verdi for 8 meter cellelengde og 60 sekunders midlingsintervall er +/-1.5 cm/s. Denne nøyaktigheten bestemmes av hvordan instrumentet konfigureres i hvert enkelt tilfelle.
Målefrekvens ("Ping rate")	0.01 til 20 pings/s	Forteller om hvor mange ping (målinger) som kan utføres. Er begrenset av vanddypet.
Midlingsintervall	1 til 600 sekunder	Forteller om hvor lenge målingene utføres før det beregnes et vektorielt middel for hver celle.

Tabell 4.2.1
Spesifikasjoner for RDI VM-ADCP 150 kHz

4.3 SEACAT Temperatur- og Saltholdighetsmåler

Til å måle temperatur- og saltholdighet i overflatelaget ble det installert en temperatur- og saltholdighetsmåler av typen SEACAT THERMOSALINOGRAPH produsert av Sea-Bird Electronics, Washington, USA, om bord på F/F "Trygve Braarud".

Instrumentet pumper inn vann 2 m under vannlinjen, hvoretter vannet passerer temperatur- og konduktivitetssensorer. Dataene blir sendt fra sensorene til en datalagrings- og styreenhet hvor rådataene blir lagret i heksagonalt format. Lagrings- og styreenheten er koblet opp mot en datamaskin (IBM XT). Det er også mulig å se på dataene i sann tid på datamaskinen. Frekvensen for lagring av dataene kan styres fra datamaskinen. Den raskeste lagringsfrekvensen er 0.2 Hz. For toktene 1989 ble lagringsfrekvensen satt til 0.1 Hz. I tabell 4.3.1 er det satt opp de viktigste spesifikasjonene for Seacat'en.

Datalagringskapasiteten i styreenheten er 15625 datasett. Med oppsettet av instrumentet som ble brukt (0.1 Hz dataregistrering) kan Seacat'en lagre data i 43 timer før dataene må føres over til et annet lagringsmedium.

	Temperatur	Saltholdighet
Måleintervall	-5°C til +35°C	0.0 til 6.5 Sm ⁻¹
Oppløsning	10 ⁻³ °C pr. måned	10 ⁻⁴ Sm ⁻¹
Nøyaktighet	10 ⁻² °C pr. 6 måneder	10 ⁻³ Sm ⁻¹ pr. måned

Tabell 4.3.1
Spesifikasjoner for Seacat Thermosalinigraph

4.4 Behandling av data fra Seacat

Dataene som ble samlet inn av instrumentet ble under toktet først lagret i en egen elektronisk styrings- og lagringsenhet. Ved avslutningen av toktene, eller når ca. 90% av lagerkapasiteten var fylt opp, ble dataene overført til en diskett på PC'en som ble brukt til å kommunisere med styreenheten.

Deretter ble dataene konvertert fra heksagonalt format til desimalt, og omregnet fra instrumentinterne størrelser til vanlige enheter (temperatur, konduktivitet, saltholdighet og tid) ved hjelp av et eget program. Posisjon fra DECCA og tid ble lagret kontinuerlig i en egen PC. Ved hjelp av tid som felles parameter for de to datasettene, kunne Seacat dataene deretter merkes med riktig posisjon.

Som nevnt ovenfor, kunne det oppstå feil ("spiker") i dataene pga. luftbobler i vannet. Disse "spikene" medfører gale måleverdier, særlig for målingene av konduktivitet. Luftbobler i vannet vil føre til fall i målte konduktivitetsverdier. For å fjerne disse feilene, måtte dataene korrigeres. VERITEC utviklet derfor en egen rutine for å gjøre dette. Fremgangsmåten i denne rutinen er som følger :

- Først ble store kortvarige forskjeller fjernet ("despiking") ved hjelp av et filter som ble konstruert slik at det fjernet store forskjeller mellom data, men beholdt trenden i dataene.
- Deretter ble påvirkningen fra et datapunkt til neste redusert ved å bruke et løpende filter (0.25 + 0.5 + 0.25).

I figurene 4.4.1/A/ og 4.4.2/A/ er vist fordeling av konduktivitetsmålingene for toktet fra august før og etter "despiking" og filtrering. Klasseinndelingen som er brukt i histogrammene er 0.0395.

Figurene viser at vi har oppnådd to vesentlige ting med denne fremgangsmåten:

- For det første er måledata med verdier mindre enn 1.75 fjernet fra datasettet. Effekter av luftbobler i vannet er dermed fjernet. Dette skyldes den første delen av behandlingen.

- For det andre er kurven etter behandling blitt mye glattere enn før. Dette skyldes vesentlig filteret som er brukt.

I analysen av Seacat dataene er brukt fremgangsmåten som er beskrevet ovenfor både på temperatur- og konduktivitetsdataene. Sammenligning av temperaturdataene før og etter "despiking" og filtrering viser at "despiking" av temperaturdatene kun har fjernet data som skyldes målefeil.

Tettheten (σ_t) er blitt beregnet etter at temperatur- og saltholdighetsdata er blitt "despiked" og filtrert.

Virkningen av etterprosesseringen av dataene er at meget lokale endringer i vannmassene er blitt midlet bort, men dataene er dermed blitt enklere å behandle, og gir en bedre oversikt over viktige fenomener med romlig utstrekning.

FORTTRAN koden for programmene som er vist til, er gjengitt i kapittel 10.

5 FELTARBEID

Etter rammene som ble trukket opp for feltmålingene av strøm og hydrografi innenfor hovedprosjektet i 1989, ble det planlagt å gjennomføre følgende tokt i løpet av året:

Tokt #	Dato
1	13 - 14 mars
2	11 - 12 april
3	22 - 23 mai
4	juni
5	8 - 12 august
6	4 - 6 september
7	2 - 4 oktober

Tabell 5.1
Planlagte Strøm/Hydrografiske tokt i Oslofjorden i 1989

Som tabell 5.1 viser, ble noen av toktene planlagt med 2 døgns tokttid, mens andre ble planlagt med 3 døgns tokttid. Forskjellen i tid som ble avsatt til å gjennomføre toktene ble satt for å ivareta hindringer og forsinkelser pga. dårlig vær, og for eventuelt å undersøke enkelte avgrensede områder mer intensivt. Den faktiske gjennomføringen av feltarbeidet ble som det går frem av tabell 5.2.

Tabellen viser at det først etter sommeren 1989 ble gjennomført tokt med god kvalitet i ADCP-målingene. Årsaken til den reduserte datakvaliteten under toktene i mars og april var en kombinasjon av flere forhold.

Tokt #	Dato	Gjennomført etter plan ?	Kommentarer
1	13-14 mars	Nei	Toktet ble utført i området Filtvet til Struten. ST-sonden fungerte bra under toktet og ga gode data. Toktet ble avbrutt pga. dårlig vær og at ADCP ikke fungerte som forutsatt (ga feil pga. sjøgangen).
2	11-12 april	Nei	Toktet ble gjennomført i området Filtvet-Horten. Toktet ble avbrutt pga. meget dårlige ADCP data. ST-sonden fungerte tilfredsstillende.
3	22-23 mai	Nei	Toktet ble avlyst pga. erfaring fra tidligere tokt, og fordi ADCP-utstyret ble sendt tilbake til fabrikken for reparasjon og ettersyn.
4	juni	Nei	Toktet ble avlyst av samme grunn som tokt 3.
5	8-12 august	Nei	Toktet ble gjennomført med et snitt ut i Skagerrak, samt snitt innenfor Slagentangen. ADCP fungerte akseptabelt. ST-sonden fungerte under hele toktet. Toktet måtte avbrytes mellom Færder og Slagentangen pga. dårlig vær.
6	4-6 september	Nei	Toktet ble gjennomført med ADCP og ST-sonde mellom Filtvet og Rauøy. Ved Rauøy måtte toktet avbrytes pga. for mye sjøgang.
7	2-4 oktober	Ja	Toktet ble gjennomført som planlagt med ST-sonden og ADCP.

Tabell 5.2
Strøm/Hydrografiske tokt i Oslofjorden i 1989

6 RESULTATER FRA TS - FELTMÅLINGER

I de følgende avsnittene er kommentert og vist resultater fra Seacat instrumentet. Gjennomgangen er lagt opp med toktvis beskrivelse av måleresultatene.

I avsnittene nedenfor er kommentert og vist observert fordeling av temperatur (T), saltholdighet (S) og beregnet tetthet (σ_t) i 2m dyp. Resultatene fra målingene er vist som isolinjer i kartutsnitt fra områdene hvor målingene er utført. Avstanden mellom isolinjene er tilpasset resultatene fra hvert tokt for å få best mulig oppløsning av viktige strukturer, men er også valgt "grov" nok til at mindre og lokale endringer ikke "forstyrrer" det storstilte bildet.

6.1 Tokt 13.-15. mars 1989

Toktet ble gjennomført i området mellom Filtvet og Struten. I Ytre Oslofjord var det så mye vind og sjø inn fra Skagerrak, at både på grunn av slingringen som gjorde det vanskelig å få data av tilstrekkelig kvalitet, og fordi sjøgangen var på grensen av hva båten kunne tåle, at valgte man å avbryte toktet ved Struten.

6.1.1 Temperaturfordeling 13.-15 mars 1989

Figur 6.1.1/A/ viser temperaturfordelingen som ble observert under toktet. Figuren viser at i ytre deler av fjorden var temperaturen høyere enn 4.4°C, og avtok innover fjorden til mindre enn 3.8°C nord for Filtvet og mindre enn 3.7°C innenfor Rødtangen mot Drammensfjorden. Figuren viser videre at mens gradientene i området mellom Struten og Jeløya var små, så var det en kraftig gradient i området øst for Mølen i Breidangen.

Formen på isolinjene i området syd for Jeløya indikerer at transporten av relativt kaldt vann fra Drammensfjorden *enten* gikk ut på vestsiden av fjorden sydover mot Fulehuk, *eller* at innstrømningen av relativt varmere vann fra Skagerrak foregikk nordover på østsiden av fjorden. Fra området utenfor Fulehuk finnes ikke data.

6.1.2 Saltholdighetsfordeling 13.-15. mars 1989

Figur 6.1.2/A/ viser saltholdighetsfordelingen som ble observert under toktet. Figuren viser flere signifikante forhold :

- * I Breidangen mellom Mølen og Rødtangen er det en meget stor saltholdighetsgradient, hvor verdien faller fra 22.5 til 15 ‰. Dette er grenseområdet mellom det vanlige fjordvannet, og vann med lav saltholdighet som strømmer ut av Drammensfjorden. Pga. den sterke sydlige vinden som det var under toktet, ble trolig dette lette vannet presset inn i vestre delen av Breidangen. (Jfr. også temperaturfordelingen som er omtalt ovenfor).

- * På høyde med Slagentangen stiger saltholdigheten fra 23.5 til 24.5 ‰. Lenger ute, på østsiden av fjorden, synker igjen saltholdigheten. Minimumet som er observert her, er trolig dannet av ferskvannsutstrømming fra Glomma-estualet.

6.1.3 Tetthetsfordeling 13.-15. mars 1989

Figur 6.1.3/A/ viser den beregnede tetthetsfordelingen. Fordi det ble observert små temperaturforskjeller i fjorden under toktet, viser denne figuren stort sett den samme fordeling som saltholdighetsfordelingen.

6.2 Tokt 10.-12. april 1989

Dette toktet måtte avbrytes like syd for Horten fordi dårlig vær med sterk vind og høy sjø fra syd og sydvest førte til at ADCP instrumentet ikke ga data med tilstrekkelig god kvalitet. Den dårlige datakvaliteten skyldtes også at svingeren under båten var begrodd. Der er derfor ikke data fra området syd for Horten for dette toktet.

6.2.1 Temperaturfordeling 10.-12. april 1989

Figur 6.2.1/A/ viser fordelingen av overflatetemperatur i området. Figuren viser at i hele området var de horisontale temperaturforskjellene mindre enn 0.1°C, $T_{\{<4.6-4.7>\}}$, bortsett fra et lite maksimum som ble observert i fjorden øst for Filtvet.

6.2.2 Saltholdighetsfordeling 10.-12. april 1989

Figur 6.2.2/A/ viser saltholdighetsfordelingen i overflatelaget. Figuren viser at det er en sterk gradient i området fra Jeløya og vestover i Breidangen. I dette området synker saltholdigheten fra 23.0 til 15 ‰. Gradienten skyldes trolig vindoppstuvning av brakkvann fra Drammenselven i den vestre del av Breidangen.

6.2.3 Tetthetsfordeling 10-12. april 1989

Fordi temperaturgradientene i området var meget små, ble de beregnede tetthetsgradientene svært like saltholdighetsgradientene. Tetthetsfordelingen er vist i figur 6.2.3/A/.

6.3 Tokt 10.-11. august 1989

Dette toktet var det første i 1989 som dekket også området utenfor Færder. Fra området mellom Slagentangen og Færder finnes ingen data fra ADCP instrumentet fordi sterk vind fra sydvest og høy sjø førte til stor usikkerhet i dataene. TS-instrumentet (Seacat) ble operert gjennom hele området. For å behandle sammenlignbare data, er datarepresentasjonen splittet i to områder. Det ene området er Breidangen, mens det andre er området syd for Færder.

6.3.1 Temperaturfordeling 10.-11. august 1989

Figur 6.3.1.a/A/ viser temperaturfordelingen i Breidangenområdet. Figuren viser et maksimum i området mellom Horten og Jeløya (T større enn 17.3°C) mens laveste temperatur finnes i området mot Drammensfjorden innenfor Rødtangen (T mindre enn 17.0°C). For området sydvest for Færder er temperaturfordelingen vist i figur 6.3.1.b/A/. Figuren viser et maksimum i området rett nord for Store Færder (T større enn 16.9°C), hvoretter temperaturen faller mot omlag 16.1°C ute i Skagerrak. Sydøst for Færder finnes en kjerne av relativt kaldt vann (T mindre enn 15.8°C), som indikerer en transport av vann i overflatelaget østfra.

6.3.2 Saltholdighetsfordeling 10.-11. august 1989

Saltholdighetsfordelingen i Breidangenområdet er vist i figur 6.3.2.a/A/. Figuren viser at det er et maksimum i den østre delen av Breidangen (S større enn 21.5 ‰), mens saltholdigheten synker mot Drammensfjorden (S mindre enn 19.5 ‰) ved Rødtangen, nordover mot Drøbaksundet (S mindre enn 19.5 ‰) og sydover mot Bastø (S mindre enn 20 ‰). Fordelingen indikerer at den sterke sydvestlige vinden presser brakkvannet i Breidangen mot Drøbaksundet og Sandebukta.

I området syd for Færder finnes vi saltholdighetsmaksimum (S større enn 30 ‰) i det samme området som temperaturminimumet ble funnet. Laveste saltholdighet finnes i området nord for Færder (S mindre enn 27 ‰), og dette er det samme området hvor det var et temperaturmaksimum (se figur 6.3.1.b/A/).

6.3.3 Tetthetsfordeling 10.-11. august 1989

Tettheten i overflatelaget i Breidangen er vist i figur 6.3.3.a/A/. Figuren viser at det er et tetthetsmaksimum i østre del av Breidangen (σ_t større enn 15), mens det er avtagende tetthet mot Drøbaksundet (σ_t mindre enn 14), mot Drammensfjorden ved Rødtangen (σ_t mindre enn 13), og mot syd ved Bastø (σ_t mindre enn 14).

Tettheten for de ytre områdene er vist i figur 6.3.3.b/A/. Største tetthet (σ_t større enn 22) ble funnet i et område rett syd for Færder. Dette er vann med relativt høy saltholdighet og lav temperatur, mens den laveste tettheten ble funnet i området nord for Færder (σ_t mindre enn 19.5), som er vann med relativt lav saltholdighet og høy temperatur. Tetthetsfordelingen i ytre Oslofjord og indre Skagerrak tyder på at fjordvann presses ut av fjorden langs vestsiden av fjorden (ved Færder), mens det er en transport av Skagerrakvann i overflatelaget rett syd for Færder, som i området ved Svenner deler seg. En del går sydvestover, mens tetthetsfordelingen i området vestsydvest for Færder også tyder på at noe av Skagerrakvannet dreies mot nordøst og mot ytre Oslofjord.

6.4 Tokt 5.-6. september 1989

Dette toktet måtte avbrytes syd for Rauøy på grunn av sterk vind fra sydvest og for høy sjø i fjorden, som gjorde at man ikke kunne operere fartøyet. I hele fjorden var det relativt høy sjø, som førte til at kvaliteten på ADCP målingene er dårlig.

6.4.1 Temperaturfordeling 5.-6. september 1989

Figur 6.4.1/A/ viser temperaturfordelingen i det området av fjorden hvor det ble utført målinger. Figuren viser isotermer som går langs fjorden i nord-syd retning. Høyeste temperatur (T større enn 15.9°C) er i et område rett nord for Rauøy. Lavest temperatur (T mindre enn 15.5°C) er i den sydvestre del av Breidangen.

6.4.2 Saltholdighetsfordeling 5.-6. september 1989

Figur 6.4.2/A/ viser saltholdighetsfordelingen i fjorden. I Breidangen er det en sterk gradient mellom Jeløya og utløpet av Drammensfjorden (Rødtangen), hvor saltholdigheten synker fra 22 ‰ til 11.5 ‰ . Den lave saltholdigheten ved Rødtangen skyldes trolig utstrømming av brakkvann fra Drammensfjorden. Noe av denne gradienten finnes igjen i sundet vest for Bastø. Syd for Slagentangen går isolinjene langs fjordens hovedakse, med høyeste saltholdighet på vestsiden av fjorden. I området syd for Rauøy finnes et lokalt minimum som kan skyldes utstrømming av brakkvann fra Glomma's vestre utløp.

6.4.3 Tetthetsfordeling 5.-6. september 1989

Figur 6.4.3/A/ viser tetthetsfordelingen i fjorden. Figuren viser stort sett de samme fenomener som saltholdighetsfordelingen. Imidlertid viser figuren enkelte lokale ekstremer vest og syd for Rødtangen. Dette indikerer at det finnes en småskala struktur i den storstilte gradienten i Breidangen-området. I den vestre del av Breidangen er σ_t større enn 16.0 , for så å synke til σ_t mindre enn 9 i området ved Rødtangen. Den høyeste tettheten (σ_t større enn 17.5) finnes i den sydvestre del av ytre fjord. I områdene sydøst for Rauøy finnes et lokalt minimum med σ_t mindre enn 17.0 , som kan skyldes utstrømming av brakkvann fra Glomma's vestre utløp.

6.5 Tokt 2.-4. oktober 1989

Toktet i oktober 1989 var det første som ble gjennomført hvor både været gjorde det mulig å dekke hele området uten at dataene ble "ødelagt" av slingring i fartøyet, og hvor alle instrumentene fungerte tilfredsstillende.

6.5.1 Temperaturfordeling 2.-4. oktober 1989

Figur 6.5.1.a/A/ viser temperaturfordelingen i fjorden innenfor Færder-Torbjørnskjær. Figuren viser at det er et minimum i den nordøstre delen av fjorden (langs Jeløya hvor T mindre enn 12.6°C), hvoretter temperaturen stiger mot vest i Breidangen og sydover i Oslofjorden. Figuren viser at det

i midtre del av fjorden (mellom Horten og Fulehuk) er små gradienter på tvers, mens temperaturen øker utover fjorden. Utenfor Fulehuk blir gradienten på tvers mer utpregede, og med et maksimum øst for Færder.

Figur 6.5.1.b/A/ viser temperaturfordelingen fra Slagentangen og sydover. Figuren viser et temperaturmaksimum i Skagerrak vest for Koster (T større enn 13.6°C), med gradienter mot kaldere vann langs kysten østover (T mindre enn 12.8°C). Mot vest er gradientene svakere, men viser avtagende temperatur mot et minimum vest for Færder.

6.5.2 Saltholdighetsfordeling 2.-4. oktober 1989

Figur 6.5.2.a/A/ viser saltholdighetsfordelingen i fjorden innenfor Færder-Torbjørnskjær. Figuren viser at det er et minimum vest for Rødtangen ved utløpet av Drammensfjorden (S mindre enn 24.5). Det dominerende fenomenet i midtre fjord er at isolinjene går på langs av fjorden, dvs. at dominerende gradienter er på tvers av fjorden. Vann med høyest saltholdighet finnes på østsiden av fjorden. Dette kan tolkes som om det *enten* strømmer vann fra Skagerrak inn i fjorden på østsiden, *eller* at ferskvannet fra Drammensfjorden strømmer ut på vestsiden. Den høyeste saltholdigheten i overflatelaget (S større enn 30) finnes sydvest for Hankø, rett nord for Glomma's vestlige utløp.

Figur 6.5.2.b/A/ viser saltholdighetsfordelingen fra Slagentangen og sydover. Figuren viser at det sydvest i Skagerrak er et maksimum (S større enn 31), og at saltholdigheten deretter avtar østover og nordover. Langs kysten mot øst (ved Koster) finnes en overgangssone mellom det relativt salte vannet i Skagerrak, og en kystvannmasse hvor S mindre enn 25. Vannmassen med relativt lav saltholdighet langs kysten kan sees som en kile fra Glomma's østre utløp. Saltholdighetsfordelingen i figuren indikerer en relativt salt vannmasse som strømmer nordover vest for Koster og inn mot Oslofjorden, mens brakkvannmasser fra Glomma's østre utløp strømmer sydover øst for Koster. Den relativt lave saltholdigheten syd og øst for Færder indikerer at dette er brakkvannstransport fra midtre fjord som når ut til Skagerrak.

6.5.3 Tetthetsfordeling 2.-4. oktober 1989

Tetthetsfordelingen som ble beregnet på grunnlag av målt temperatur og saltholdighet er vist i figurene 6.5.3.a,b/A/. Figurene viser de samme hovedtrekk som saltholdighetsfordelingen som er omtalt ovenfor, med isolinjer på langs av fjorden innenfor Færder; med et lokalt tetthetsmaksimum sydvest for Hankø; og med en struktur i tetthetsfordelingen syd og vest for Hvaler som tyder på en nordgående transport vest for Koster, og en sydgående transport av brakt vann fra Glomma's østre løp øst for Koster.

7 STRØMMÅLINGER

Dette kapitlet gir en gjennomgang av strømmålingene som ble utført med ADCP. Fordi utstyret ikke kunne opereres på en tilfredsstillende måte før etter sommeren 1989, starter gjennomgangen med data fra toktet i august 1989. Kapitlet er organisert på følgende måte :

- * For hvert tokt gjennomgås data fra 2 eller 3 dyp. Dypene vil være 10/12 m og 1 eller 2 andre dyp i de øverste 30 m.
- * Fra hvert enkelt dyp vises figurer, hvor fart og retning som ble observert er vist ved hjelp av stolper. Stolpenes retning viser strømrretningen (retning som strømmen går *mot*), mens stolpenes lengde er proporsjonal medfarten. Som det vil gå frem av figurene, er kvaliteten av dataene dårligst for toktet i august, og best for toktet i oktober.
- * På grunnlag av figurene som er vist for et enkelt tokt og dyp, vil det følge en oppsummering som viser hovedstrømforholdene i området.
- * Fra toktet i oktober vises for enkelte områder den målte vertikalfordelingen av strømmen, gitt som strømmens fart, nord- og østkomponent.

7.1 Strømmålinger fra toktet 10.-11. august 1989

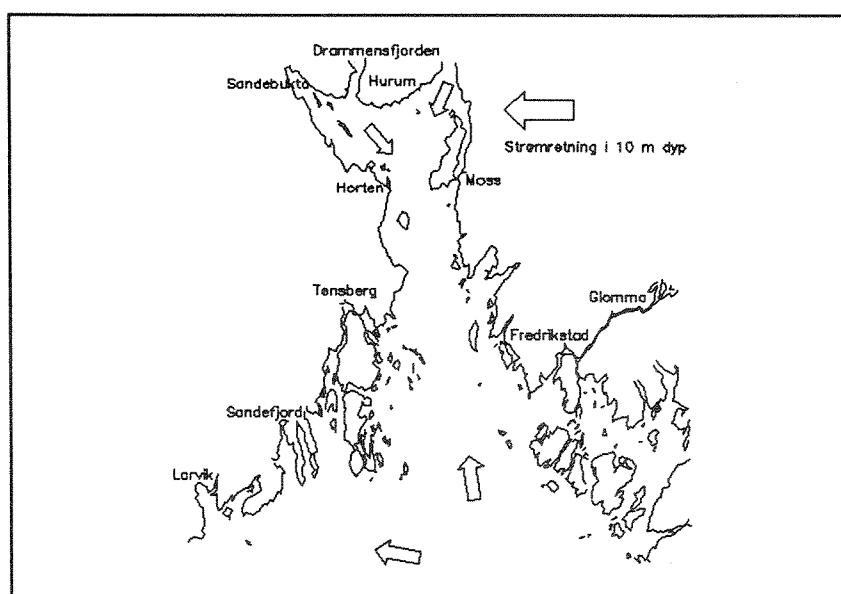
Dataene fra dette toktet har den dårligste kvaliteten av de toktene som gjennomgås. Toktet startet ute i fjorden ved Søstrene og ble gjennomført under økende sydvestlig vind i de ytterste områdene og i Skagerrak. Da båten kom til Færder etter det første snittet i Skagerrak, var vinden og sjøen blitt så kraftig at målingene i Skagerrak ikke kunne fortsette, men man måtte gå innover fjorden til Slagentangen før målingene igjen kunne fortsette. Data fra dypene -10, -18 og -26 m gjennomgås. 0 m er overflaten, dyp under overflaten er angitt med negative tall.

7.1.1 Strømdata fra -10 m i perioden 10.-11. august 1989

I figur 7.1.1.1/A/ vises målingene fra -10 m i Breidangenområdet. Dataene viser at strømmen går vestover langs Hurumlandet, og sydover i fjorden vest for Jeløya. I den østre del av Breidangen (nord for Horten) er strømmen rettet mot syd og sydøst. Det er også indikasjoner på en transport fra Rødtangenområdet og mot Sandebukta. Typiske strømhastigheter er i hele området mindre enn 30 cm/s, og med de største hastighetene mellom Jeløya og Hurumlandet.

Fra den midtre delen av fjorden, mellom Slagentangen og Færder, er dataene av så dårlig kvalitet pga. sjøgangen at de er utelatt. For områdene ved og syd Færder er det valgt å splitte dataene i to figurer for at strømfordelingen skal kunne vises klarere.

Figur 7.1.1.2/A/ viser målte strømhastigheter fra Torbjørnskjær via Færder, ut i Skagerrak og inn mot land ved Svenner. Figuren viser at strømmen i snittet mellom Torbjørnskjær og Færder var rettet nordøstover, med hastigheter mindre enn 20 cm/s. I snittet sydover fra Færder når strømmen et maksimum større enn 50 cm/s ca. 7 n.m. syd for Færder. Det samme maksimumet finnes på det nordgående snittet mot Svenner. Syd for dette maksimumet var sjøgangen så stor at dataene er av synlig redusert kvalitet. Figur 7.1.1.3/A/ viser data fra snittene fra Svenner og mot østsiden av Oslofjorden nord for Søstrene. Figuren viser at strømmen sydvest for Færder er rettet mot vest og nordvest, med maksimalhastigheter større enn 50 cm/s. Øst for Færder er strømmen rettet nordover (inn Oslofjorden), med de største hastighetene på østsiden av fjorden ved Søstrene.



Figur 7.1.1.4
Sammendrag av strøm i 10 m i August 1989

Figur 7.1.1.4 viser et sammendrag av strømmålingene i -10 m. Figuren viser at strømmen i Skagerrak er rettet vestover, med en transport rettet nordover mot munningen av Oslofjorden. I de indre områdene av fjorden er strømmen rettet utover. At strømmen i hver sin ende av fjorden er rettet mot hverandre kan skyldes tidsforskjellen mellom målingene i indre og ytre fjord.

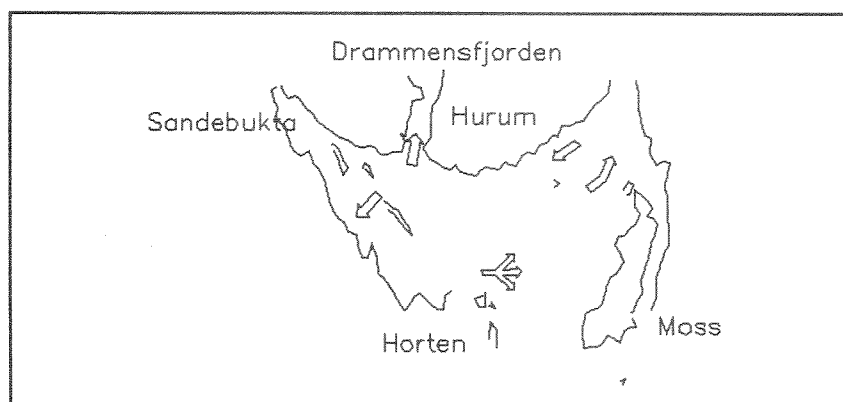
7.1.2 Strømdata fra -18 m i perioden 10.-11. august 1989

Strømmen i -18 m i Breidangen området er vist i figur 7.1.2.1/A/. Figuren viser at strømmen ut av Drøbaksundet er rettet langs Hurumlandet og sydover mellom Mølen og Jeløya. I områdene nord for Horten er strømmen rettet mot sydøst, dvs. ut av Breidangenområdet mellom Horten og Jeløya.

På samme måten som for behandlingen av dataene fra 10 m dyp, er også dataene fra 18 m dyp i ytre Oslofjord delt opp dataene i to figurer (7.1.2.2/A/, 7.1.2.3/A/). Begge figurene viser at strømmen i snittet mellom Færder og Torbjørnskjær er rettet nordover (inn i Oslofjorden), og at strømmen syd for Færder er rettet mot vest omtrent på samme måte som i -10 m. Figur 7.1.1.4 som gir et sammendrag av strømmen i -10 m, gir dermed også et tilnærmet riktig bilde av strømmen i -18 m.

7.1.3 Strømdata fra -26 m fra perioden 10.-11. august 1989

Strømmen i -26 m viser en annen fordeling enn i de to andre dypene som er behandlet. Figur 7.1.3.1/A/. viser strømmen i -26 m i Breidangen området. Figuren viser at syd for Drøbaksundet er strømmen nærmest Hurumlandet rettet mot sydvest, og dataene viser at i området lenger østover er strømmen rettet mot nordnordøst, dvs. mot indre Oslofjord. Lenger vestover i Breidangen er også fordelingen i -26 m en annen enn i vannlagene nærmere overflaten. Lengst i vest er strømmen rettet fra Rødtangenområdet og mot Sandebukta. I syd ved Horten er strømmen rettet mot sydøst, dvs. ut av Breidangen. Ved Rødtangen er strømmen rettet mot nord, dvs. innover mot Drammensfjorden. Som et sammendrag av denne gjennomgangen vises hovedstrømretningene i figur 7.1.3.2.



Figur 7.1.3.2

Sammendrag av strøm i Breidangen -26 m 10.-11. august 1989

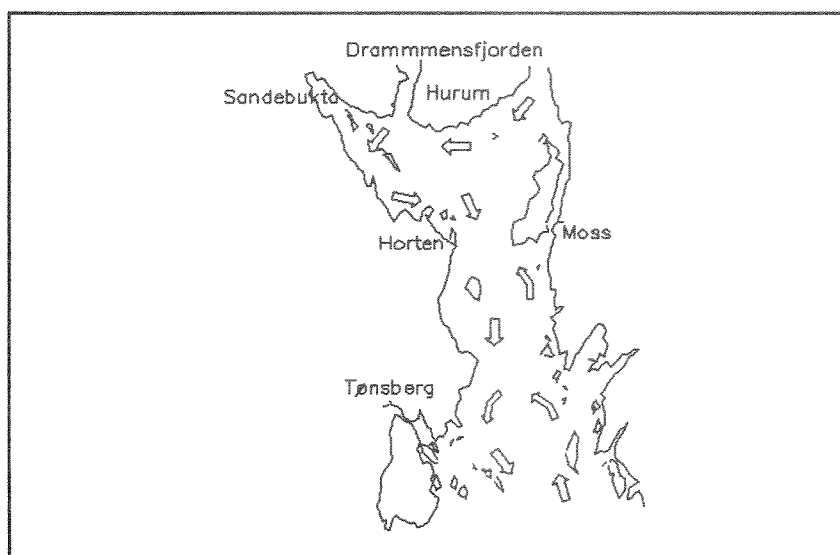
Figurene 7.1.3.3/A/ og 7.1.3.4/A/ viser strømmen i -26 m i området øst og syd for Færder. Figurene viser det samme som for vannlagene ovenfor: at strømmen i ytre Oslofjord er rettet nordover, og at strømmen syd for Færder er rettet vestover.

7.2 Strømmålinger fra toktet fra perioden 5.-6. september 1989

Dette toktet ble gjennomført i området mellom Drøbaksundet i nord og Rauøy i syd. Ved Rauøy måtte toktet avbrytes på grunn av for mye vind og sjø. Som gjennomgangen av dataene vil vise, førte sjøgangen under toktet til at kvaliteten av dataene ble redusert allerede ved Horten. Data fra -12, -20 og -28 m er vist.

7.2.1 Strømdata fra -12 m fra perioden 5.-6. september 1989

Figurene 7.2.1.1/A/-7.2.1.3/A/ viser målt strøm i -12 m i Drøbaksundet og Breidangen. Figurene viser at strømmen langs Hurumlandet er liten, men stort sett rettet mot sydvest. Rett vest for nordenden av Jeløya er strømmen sydlig. Vest i Breidangen er strømmen rettet sydvover ved Rødtangen, med en gren inn i Sandebukta. Nord for Horten er strømmen mot sydvest. Rett syd for Horten-Jeløya viser strømmen et skjær, med sydgående strøm på vestsiden og nordgående på østsiden. Figur 7.2.1.4/A/ viser at dette skjæret også finnes i snittet mellom Bastøya og Larkollen. Syd for Slagentangen viser figur 7.2.1.5/A/ indikasjoner på en virvel mot klokka, hvor strømmen går mot sydøst nord for Bolærne. Figur 7.2.1.6/A/ viser at strømmen rett sydvest for Rauøy er rettet mot nordnordøst.



Figur 7.2.1.7

Sammendrag av strøm i -12 m i perioden 5.-6. september 1989

Figur 7.2.1.7 viser at sammendrag av strømretningene i -12 m. Figuren viser at strømmen på vestsiden av fjorden stort sett er rettet ut fjorden, mens den på østsiden er rettet innover. Det er indikasjon på hvirvler og resirkulasjon både mellom Rauøy og Slagentangen og mellom Moss og Horten.

7.2.2 Strømdata fra -20 m i perioden 5.-6. september 1989

I figurene 7.2.2.1-3/A/ vises målt strøm -20 m i Drøbaksundet og Breidangen. I grenseområdet mellom Drøbaksundet og Breidangen (fig. 7.2.2.1/A/) er fordelingen av strøm i -20 m mer komplisert enn i -12 m. Nær land finnes en kraftig strøm sydvestover, mens strømmen lenger sydstover først er rettet mot nordøst, og deretter mot sydsydøst. Mellom Jeløya og Hurumlandet finnes lengst i øst en strøm som er rettet sydover; videre mot vest snur strømmen mot nordøst for deretter tett langs land å snu mot sydvest.

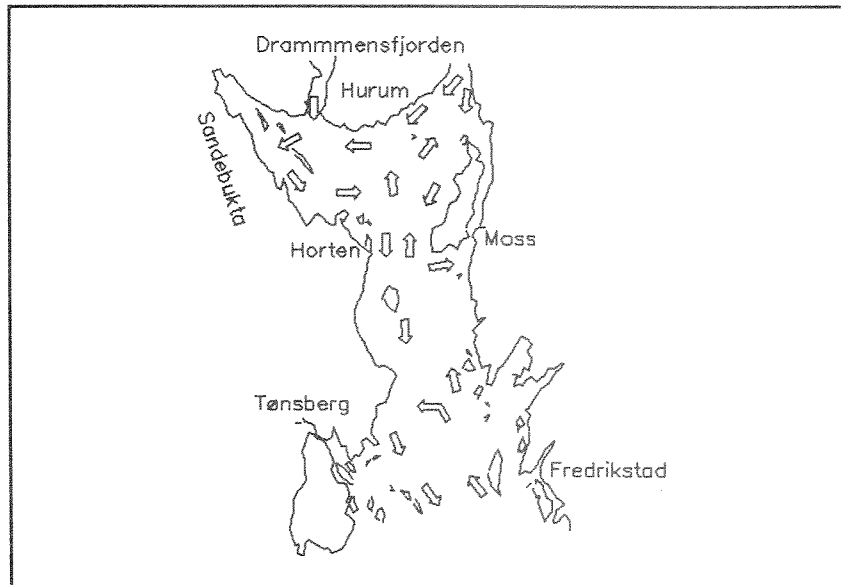
Målingene fra den nordvestre delen av Breidangen er vist i figur 7.2.2.2/A/. Figuren viser at sydvest for Hurumlandet er strømmen rettet mot vestnordvest. Ved Rødtangen er strømmen rettet mot syd, og med en betydelig transport inn i Sandebukta. I Sandebukta er strømmen stort sett rettet mot sydøst.

Figur 7.2.2.3/A/ viser strømmen i den sydlige delen av Breidangen og området mellom Jeløya og Bastø. Nordvest for Horten er strømmen tett langs land rettet mot øst, mens strømmen snur mot nord lenger fra land. Mellom Jeløya og Horten er strømmen mot nord, men syd i dette snittet er strømmen rettet mot vest og sydvest.

Figur 7.2.2.4/A/ viser strømmen mellom Jeløya og Larkollen. Figuren viser at på østsiden av Bastø er strømmen mot syd tett ved land, mens den østover dreier mot nord og videre mot øst. Syd for Moss (ved Verlebukta) er det indikasjoner på strøm mot syd langs land.

Strømforholdene mellom Larkollen og Bolærne er vist i figurene 7.2.2.5/A/ og 7.2.2.6/A/. Figurene viser at på østsiden av fjorden (vest for Rauøy) er strømmen mot nord og nordvest, og at den snur mot vest gjennom syd mot sydøst i området nord for Bolærne. Dette indikerer at det i området rett nord for Bolærne er en virvel med strømretning mot klokka. Rett øst av sydlige delen av Bolærne er strømmen rettet mot sydsydøst dvs. ut fjorden.

Figur 7.2.2.7 viser hovedtrekkene i strømbanene som ble observert i fjorden i -20 m under toktet i september.



Figur 7.2.2.7
Sammendrag av strøm i -20 m 5.-6. september 1989

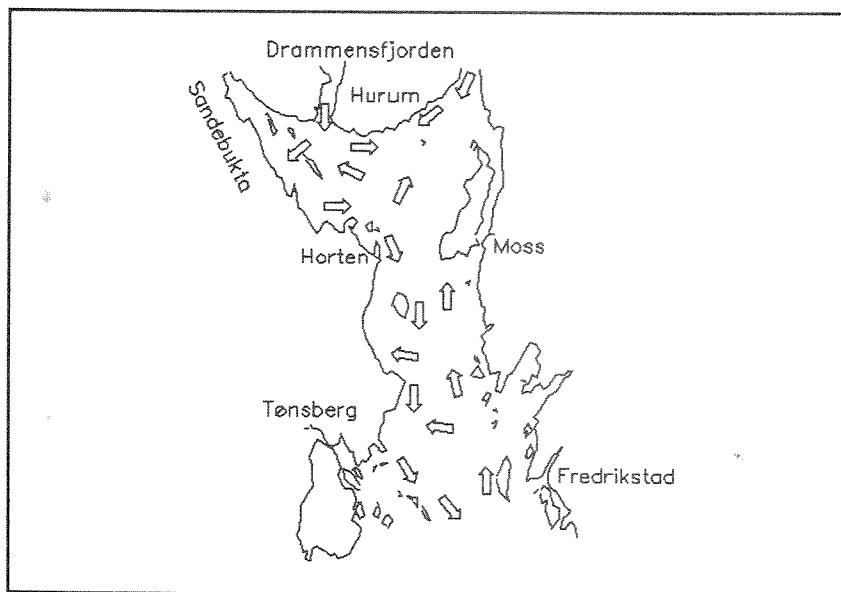
7.2.3 Strømdata fra -28 m fra perioden 5.-6. september 1989

Den målte strømmen i -28 m i Drøbaksundet og Breidangen er vist i figurene 7.2.3.1-3/A/. I området ved sydenden av Drøbaksundet er strømmen rettet mot syd og sydvest. I den vestre delen av Breidangen (figur 7.2.3.2/A/) er strømmen ved munningen av Drammensfjorden rettet sydover, og sydvestover mot Sandebukta. I midtre del av Breidangen er strømmen mot nordvest, mens den rett syd for Hurumlandet er rettet mot øst og sydøst.

Figur 7.2.3.3/A/ viser strømmen i sydlig del av Breidangen og mellom Bastøy og Jeløya. Nord for Horten er strømmen rettet mot øst. Nordøst for Horten dreier strømmen mot nordøst, mens en annen del av strømmen går sydover mot Bastø. I figur 7.2.3.4/A/ er strømmen rett øst av Bastø rettet mot syd, mens strømrretningen videre østover dreier om vest mot nord og nordøst. Rett syd av Bastø dreier strømmen mot vest, mens snittet mellom Bastø og Larkollen viser at strømmen stort sett er rettet mot øst og sydøst.

Mellom Larkollen og nordsiden av Bolærne er strømmen i den østre delen rettet mot nordvest, for så videre sydvestover å dreie mot vest og videre mot sydvest (se figurene 7.2.3.5/A/ og 7.2.3.6/A/). Mellom Bolærne og Rauøy er strømmen på vestsiden rettet mot sydøst, mens den på østsiden er rettet mot nordøst.

I figur 7.2.3.7 er det laget et sammendrag av informasjonene om strømretningene som ble målt i -28 m.



Figur 7.2.3.7
Sammendrag av strøm i -28 m 5.-6. september 1989

7.3 Strømmålinger fra toktet fra perioden 2.-4. oktober 1989

Toktet som ble gjennomført i oktober 1989 var det første toktet hvor værforholdene ikke satte begrensninger for hvor man kunne arbeide; hvor alle instrumentene virket som forutsatt og hvor data fra hele området ble samlet inn.

Årsaken til at sammenhengen i de målte dataene ikke er god i de nordligste snittene kan være at strømmålingene ble avbrutt i mer enn 6 timer syd for Hurumlandet pga. båtproblemer, samtidig som vindstyrken og vindretningen endret seg betraktelig i denne perioden.

I løpet av den første natten løyet vinden, og neste dag var det vindstille. Deretter økte vinden til ca 10 m/s fra sydvest ute i Skagerrak. I et senere avsnitt behandles virkningen av den kraftige vinden inne i fjorden.

Fordi dette toktet ga best data, er datapresentasjonen utvidet i forhold til gjennomgangen av de andre toktene. Som i gjennomgangen av de andre toktene, vises detaljutsnitt for enkeltområder, og et sammendrag av strømretningene. I tillegg vises stolpeplott for fjordområdet og fra målingene i Skagerrak.

7.3.1 Strømdata fra -12 m fra perioden 2.-4. oktober 1989

Kartutsnittene for målt strøm i Breidangenområdet er vist i figurene 7.3.1.1/A/ og 7.3.1.2/A/. Figurene viser at under toktet var strømmen langs Hurumlandet mot øst og nordøst, mens man finner en strøm sydover langs vestsiden av Jeløya. Fra utløpet av Drammensfjorden finnes igjen transport sydvestover inn i Sandebukta ved Holmestrand, og strøm rettet mot øst nord for Horten. I midten av Breidangen var strømmen rettet mot nord. Figur 7.3.1.3/A/ indikerer at den sydlige strømmen på vestsiden av Jeløya dreier vestlig, og videre mot nord, nord for åpningen mellom Horten og Jeløya. I denne åpningen er strømmen rettet sydover på vestsiden og nordover inn i Breidangen på østsiden.

Rett øst av Bastø er strømmen rettet mot syd, med en kraftig strøm mot nord lenger øst i fjorden. I snittet mellom Slagentangen og Larkollen er strømmen i -12 m i hele snittet (bortsett fra et lite område midt i fjorden) rettet sydover. Det er også indikasjoner på resirkulasjon (mot nord) på vestsiden av Bastø.

Figur 7.3.1.4/A/ viser strømmen videre sydover i fjorden. På vestsiden av fjorden, mellom Bolærne og Slagentangen viser strømmålingene en virvel *med klokka*, hvilket er motsatt retning av hva som tidligere er funnet. Mellom Rauøy og Bolærne er strømmen i hele snittet rettet mot syd, bortsett fra et lite område rett syd for Rauøy.

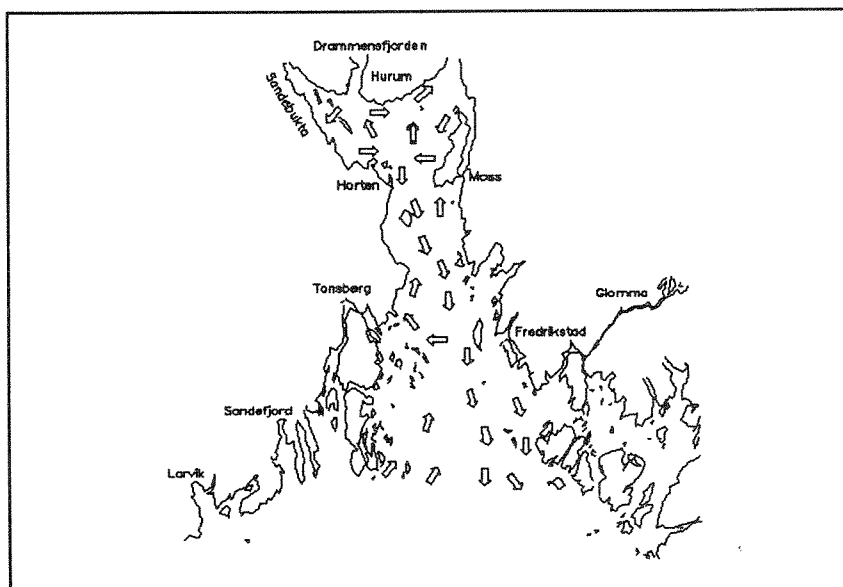
Data fra området mellom Bolærne og Færder er vist i figur 7.3.1.5/A/. I den nordlige delen av dette området er strømmen rettet mot syd. Lenger syd, rett nord for Færder, er strømmen rettet nordover på vestsiden av fjorden, og sydover på østsiden. Igjen tyder dataene på en virvel *med klokka* i le av øyene på vestsiden av fjorden. Figur 7.3.1.6/A/ viser resultater fra områdene mellom Færder og Torbjørnskjær. Figuren viser at vest for Færder er strømmen rettet innover fjorden (mot nordøst). Rett øst for Færder er strømretningen den samme, mens strømmen videre østover skifter retning mot øst og syd. I området rett syd for Færder er strømmen rettet mot nord og øst.

I figur 7.3.1.7 er vist et sammendrag som viser retningen av strømmen slik den ble målt i -12 m i fjorden.

Stolpediagrammer som viser sammendrag av alle strømmålingene i -12 m i fjorden nord for Færder er vist i figur 7.3.1.8/A/.

Figur 7.3.1.9/A/ viser resultater fra målingene i området mellom Hvaler og grunnområdene lenger syd. Målingene viser at strømmen stort sett er rettet mot sydøst, bortsett fra i den østligste delen, hvor strømmen dreier mot sydvest. Figuren indikerer en kraftig sydøstlig strøm lengst ute, mens strømmen er mot nordvest kloss i land ved Hvaler.

Resultatene fra strømmålingene i Skagerrak er samlet i figur 7.3.1.10/A/. Figuren viser følgende hovedtrekk :



Figur 7.3.1.7
Sammendrag av strøm i -12 m 2.-4. oktober 1989

- * I den sydvestre delen av området er det en tydelig strøm (med store hastigheter) som går mot vestnordvest. Denne strømmen er trolig den nordligste utstrekningen av kyststrømmen i Skagerrak.
- * Nord og vest for 58.9°N 10.2°E dreier en del av kyststrømmen mot nord og nordøst og strømmer mot munningen av Oslofjorden.
- * Ved munningen av Oslofjorden går det meste av transporten sydøstover langs kysten av Bohuslän, men vest for Koster. Det er ingen data fra østsiden av Koster som kan fortelle hvordan strømforholdene var i Kosterfjorden.

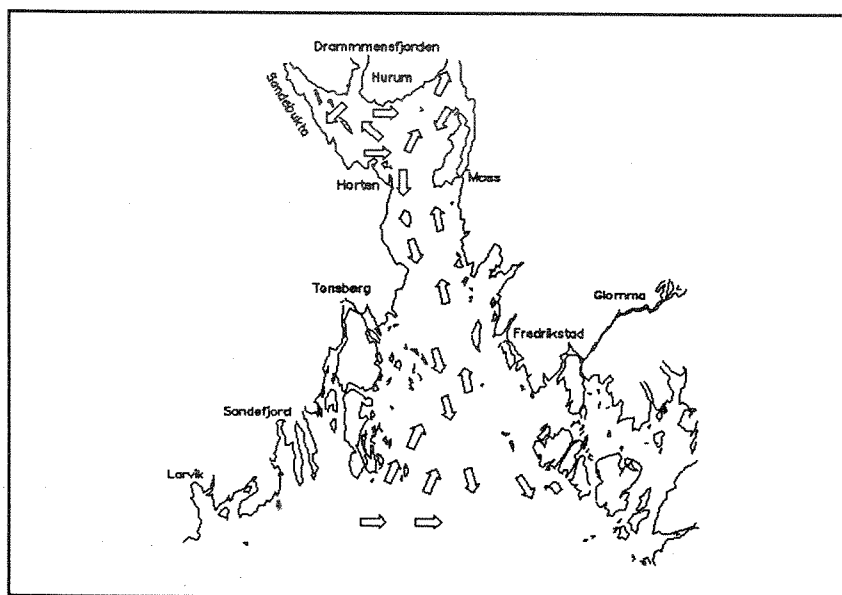
Strømforholdene i -12 m under toktet i oktober 1989 ved munningen av Oslofjorden er dermed karakterisert av kyststrømmen i syd, en virvel som roterer med klokka rett syd for Færder-Torbjørnskjær, samt transport ut av Oslofjorden og mot sydøst langs kysten av Bohuslän på østsiden av ytre Oslofjord.

7.3.2 Strømdata fra -20 m fra perioden 2.-4. oktober 1989

Strømforholdene i -20 m er vist i figurene 7.3.2.1/A/-7.3.2.10/A/. Generelt viser dataene fra -20 m at strømmen innover fjorden (mot nord) er sterkere i -20 m enn i -12 m. Ved munningen av Drøbaksundet (figur 7.3.2.1/A/) er strømmen langs Hurumlandet rettet mot nordøst, mens strømmen lenger øst i fjorden dreier mot sydvest. I Breidangenområdet viser figur 7.3.2.2/A/ at strømmen langs hele Hurumlandet er rettet mot øst og nordøst. I østre deler av Breidangen

er strømmen stort sett rettet mot nord, men tett mot vestsiden av Jeløya er strømmen rettet mot syd og sydvest. I de vestre delene av Breidangen går strømmen inn i Sandebukta, mens strømmen i sentrale deler av Breidangen deler seg mot nordvest og nordøst. Rett nord for Horten er strømmen østlig og nordøstlig.

Mellom Horten og Larkollen er strømmen i midten og på østsiden av fjorden stort sett rettet mot nord, men det er en transport sydover (ut fjorden) tett ved land på vestsiden (figur 7.3.2.3/A/). Mellom Larkollen og Bolærne (figur 7.3.2.4/A/) er strømmen stort sett rettet innover fjorden, bortsett fra sydøst for Bolærne hvor det er en transport tett ved land hvor strømmen er rettet mot sydøst. Figur 7.2.3.5/A/ viser strømmen mellom Bolærne og Færder. På vestsiden av fjorden nord av Færder er strømmen rettet mot nord og nordøst, mens den lenger øst i fjorden dreier mot syd. På østsiden av fjorden er det store variasjoner både i strømhastighet og retning, som skyldes påvirkning fra grunnområdene syd for Rauøy. I området øst og syd for Færder (figur 7.3.2.6/A/) er det stort sett samme strømmønster som i -12 m. Rett syd for Færder er det en relativt kraftig strøm mot øst, som dreier først mot nord og deretter mot sydøst.



Figur 7.3.2.7
Sammendrag av strøm i -20 m 2.-4. oktober 1989

Stolpediagrammer som viser sammendrag av alle strømmålingene i -20 m i fjorden innenfor Færder er vist i figur 7.3.2.8/A/.

Figur 7.3.2.9/A/ viser resultater fra målingene sydvest for Hvaler. Figuren viser at strømmen i området stort sett er rettet mot sydøst. I området lengst ned mot Koster dreier strømmen mot sydvest.

Figur 7.3.2.10/A/ viser målingene i munningen av Oslofjorden og i Skagerrak. Målingene viser stort sett det samme mønsteret som i -12 m. Rett syd for Færder er det en virvel som frakter vann østover rett syd for munningen av fjorden. Mellom Færder og Torbjørnskjær går strømmen inn i fjorden på vestsiden, og ut av fjorden på østsiden. Utenfor Hvaler og Kosterøyene går strømmen mot syd, mens det lengst syd i området er en kraftig strøm mot vest, som deler seg rett syd for Færder med en gren videre vestover og en annen gren mot vest og nord (mot munningen av Oslofjorden).

7.3.3 Strømdata fra -28 m fra perioden 2.-4. oktober 1989

Resultater fra strømmålingene i -28 m i Breidangen er vist i figur 7.3.3.1/A/. Langs Hurumlandet er strømmen i området fra utløpet av Drammensfjorden til Drøbaksundet rettet mot øst og nordøst. Helt øst i Breidangen, langs vestsiden av Jeløya, finnes igjen en strøm rettet mot sydvest. I de sentrale delene av Breidangen er strømmen rettet mot nord. Nord for Horten er strømmen mot sydøst og øst.

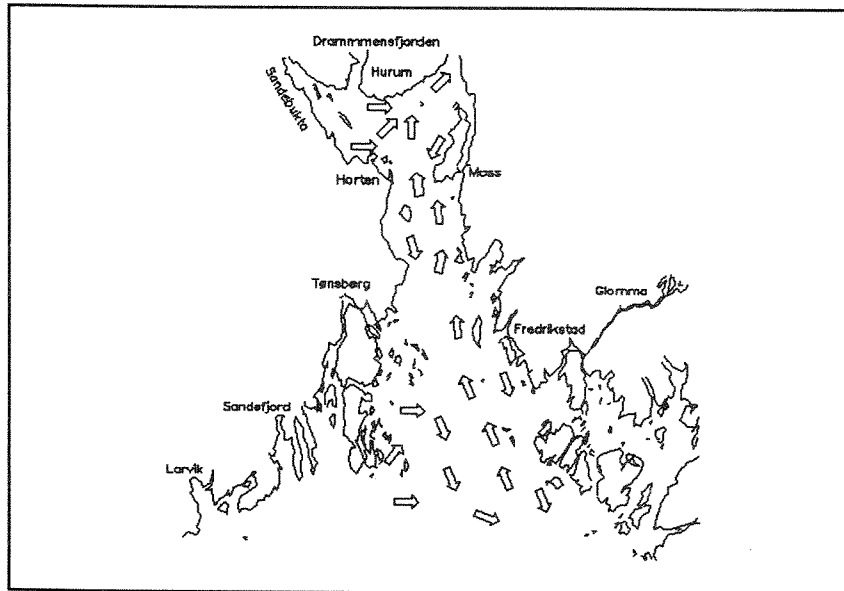
Mellom Horten og Slagentangen er strømmen innover fjorden, mot nordvest (se figur 7.3.3.2/A/). Lengst vest i fjorden finnes en transport mot sydøst (utover fjorden). Lenger syd, mellom Larkollen og Bolærne er strømmen rettet mot nord og nordvest. Sydøst og syd for Rauøy er det antydning til transport mot sydøst. Figur 7.3.3.4/A/ viser strømmen i -28 m mellom Rauøy og Bolærne. Rett nord for Færder finnes en svak strøm mot nord, hvoretter strømmen dreier mot sydøst og deretter mot nordvest.

Figur 7.3.3.5/A/ viser strømmen i området ved Færder. Rett syd for Færder er det en kraftig strøm mot øst, som både fortsetter videre mot øst, og også dreier av en gren mot nord og nordvest. Rett vest av Søstrene er strømmen rettet mot nordvest, for så lenger vest å dreie mot sydøst og deretter mot nordvest.

Alle målingene fra Oslofjorden innenfor Færder i -28 m er vist i figur 7.3.3.6/A/. I figur 7.3.3.7 viser hovedretningene for strømmen i dette nivået.

Figur 7.3.3.8/A/ viser målt strøm fra områdene utenfor Hvaler. Også i -28 m er strømmen stort sett rettet mot sydøst, for så lengst i sydøst å dreie mot sydvest.

Figur 7.3.3.9/A/ viser resultatene fra målingene i Skagerrak. Også i dette dypet ser vi at det rett syd for Færder er en virvel med klokka. Rett syd for Færder er strømmen mot øst. Langs Hvaler og Koster er strømmen rettet mot sydøst, for så å dreie mot syd gjennom sydvest mot vest. I Ytre Oslofjord er strømmen midt i fjorden rettet mot syd, mens det er en transport ut av fjorden både på øst- og vestsiden.



Figur 7.3.3.7
Sammendrag av strøm i -28 m 2.-4. oktober 1989

7.4 Vertikalprofiler fra toktet 2.-4. oktober 1989

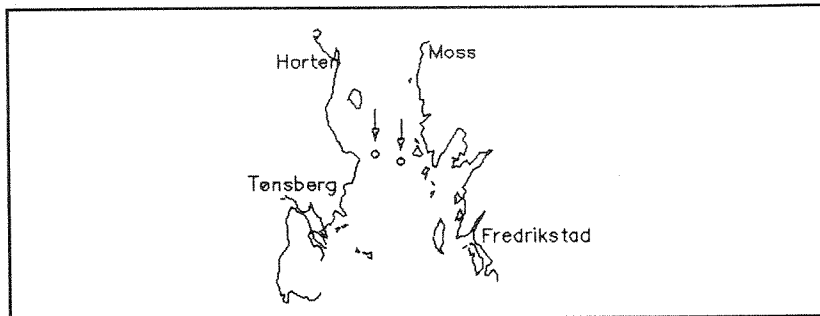
Dataene fra toktet i oktober 1989 viser at det var en stor transport inn i fjorden, og at det bare på noen små områder fantes transport ut av fjorden. Videre viste målingene i Skagerrak en virvel med klokka rett syd for Færder.

For å vurdere omfanget av transportmønsteret som ble funnet i de øverste 30 m, og om transportene i overflatelaget under dette toktet er representative for transportene i dypere vannlag, gjennomgås i det følgende vertikalprofiler fra enkelte snitt på tvers av fjorden og ute i Skagerrak.

7.4.1 Vertikalfordeling av strøm ved Slagentangen

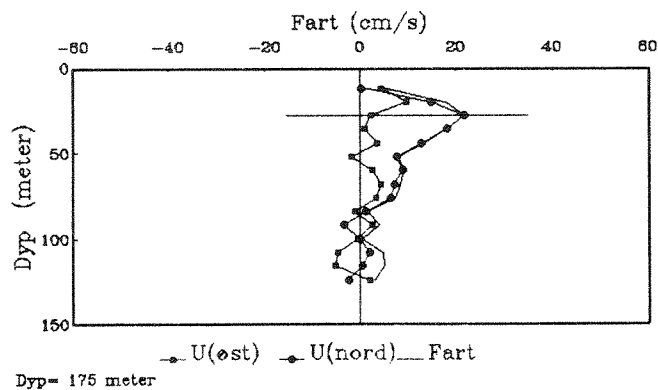
Det første snittet som viser variasjonen i vertikalfordeling av strøm fra, er ved Slagentangen. I figur 7.4.1.1, vises midlere posisjon for 2 delsnitt. Hvert delsnitt representerer en distanse på om lag 185 m. Vertikalfordelingen av strøm i hvert av delsnittene er vist i figurene 7.4.1.2 og 7.4.1.3.

Målingene fra vestsiden av fjorden er utført rett øst for området hvor bunnen skrånner sterkest. Minste vanddyp i delsnittet var 175 m. Figur 7.4.1.2 viser et maksimum i farten i -28 m, hvor denne er større enn 20 cm/s. Strømmen i dette dypet er rettet omtrent rett mot nord. I overflaten er strømmen rettet rett mot øst, for deretter å dreie mot nord. Det er en positiv nordkomponent mellom -12 m og ca. -90 m. Østkomponenten er stort sett positiv i hele



Figur 7.4.1.1
Posisjoner for delsnitt ved Slagentangen

måledypet. Dette viser at, bortsett fra de øverste 12 m hvorfra det ikke er data, strømmen mellom overflatelaget og ca. -90 m er rettet innover (nordover) på vestsiden av fjorden.

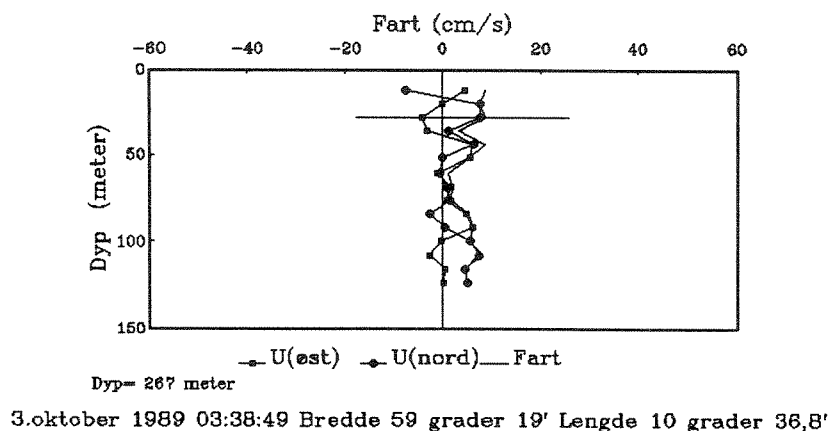


3.oktober 1989 03:30:49 Breddre 59 grader 19.25' Lengde 10 grader 35'

Figur 7.4.1.2
Vertikalprofil av strøm, vestsiden av Oslofjorden (Slagentangen) 3.oktober 1989

Målingene i det andre delsnittet ble utført sydvest for Eldøya, og gjennom den dypeste delen av tverrsnittet mellom Slagentangen og Eldøya. Minste vanddypp gjennom delsnittet var 267 m. Figur 7.4.1.3 viser at i dette området var strømmen i -12 m rettet mot sydøst. Allerede i -20 m snur strømmen mot nord,

og er deretter rettet mot nord gjennom resten av måleprofilen. Den sterkeste nordlige strømmen finnes vi -28 m (det samme som på vestsiden av fjorden) og i vannlagene under -100 m.



Figur 7.4.1.3

Vertikalprofil av strøm, østsiden av Oslofjorden (Eldøya) oktober 1989

Følgende kommer frem i sammenligningen av de 2 profilene:

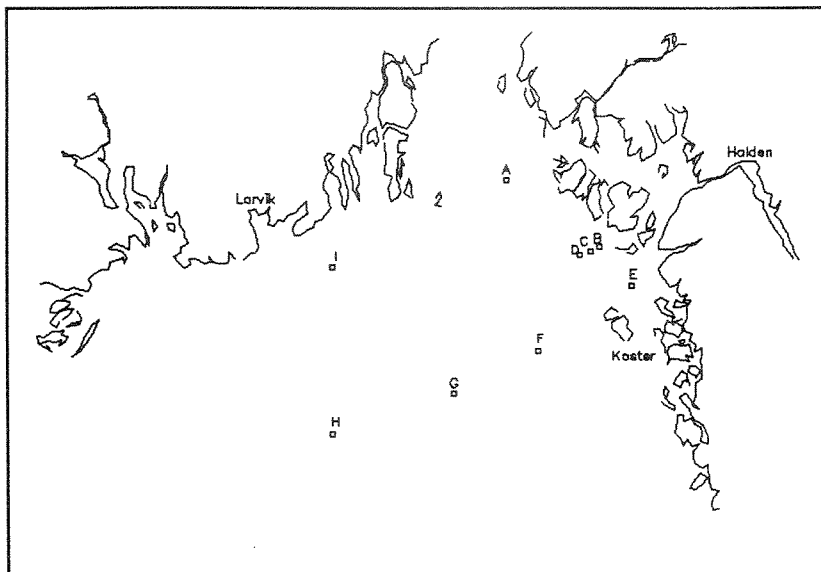
- * Strømhastighetene på vestsiden av fjorden er sterkere enn på østsiden;
- * På østsiden av fjorden finnes en transport mot sydøst under -12 m, denne transporten finnes ikke på vestsiden.

Dette tyder på at virkningen av den kraftige nordlige vinden under toktet har større direkte påvirkning på strømmen i overflatelaget på østsiden enn på vestsiden. En konsekvens av dette er at farten i innstrømningen til fjorden (med kjerne i om lag -28 m på vestsiden) er kraftigere på vestsiden enn på østsiden. I begge profilene er det en transport mot sydøst i omlag -90 m.

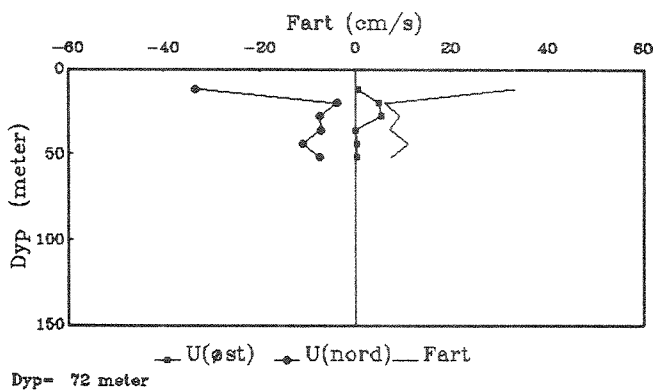
7.4.2 Vertikalfordeling av strøm mellom Færder og Søndre Søstrene

I figur 7.4.2.1 vises posisjoner i ytre Oslofjord og Skagerrak fra hvilke det behandles vertikallprofiler av strømmen som ble målt under toktet i oktober 1989.

Figur 7.4.2.2 viser en vertikallprofil fra snittet mellom Færder og Søndre Søstrene. Posisjonen er merket med "A" i figur 7.4.2.1. Profilen viser en kraftig strøm mot syd i de øverste 20 m. I hele måledypet er strømmen rettet mot syd og sydøst.



Figur 7.4.2.1
Posisjoner for vertikalprofiler i Ytre Oslofjord og Skagerrak oktober 1989



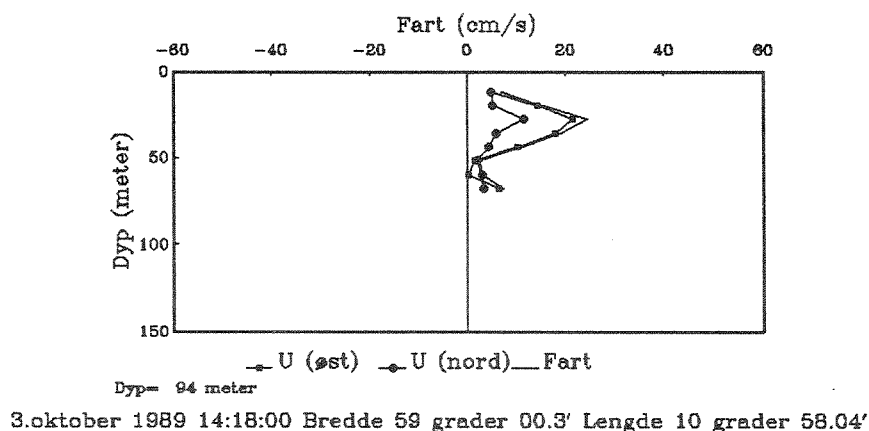
3.oktober 1989 11:44:12 Breddre 59 grader 03.7' Lengde 10 grader 41.9'

Figur 7.4.2.2
Vertikalprofiler fra snittet mellom Færder og Søstrene (Posisjon "A")
3.oktober 1989

7.4.3 Vertikalfordeling av strøm mellom Asmaløy og Tisler

Mellom Torbjørnskjær og Koster er det et utstrakt grunnområde, med store områder hvor vanddypet er mindre enn 20 m. På innsiden av dette grunnområdet er det en dyp renne, som starter i nord mellom Torbjørnskjær og Søstrene og fortsetter mot sydøst mot Kosterfjorden. Vanddypet i rennen er større enn 200m. For å få en oversikt over strømforholdene i rennen, er flere snitt lagt opp på tvers av den. Et av disse snittene går fra Lauersvæljen sydøst på Kirkøy og mot sydvest til nordenden av Tisler. Tre profiler fra dette snittet er vist, hvor posisjonene er merket B,C og D i figur 7.4.1.1.

Figur 7.4.3.1 viser vertikalprofilene fra posisjon B. Figuren viser at strømmen i dette området stort sett er rettet mot nordnordøst. Største hastighet finnes i -28 m (ca. 25 cm/s). I om lag -50 m dreier strømmen mot rett nord.

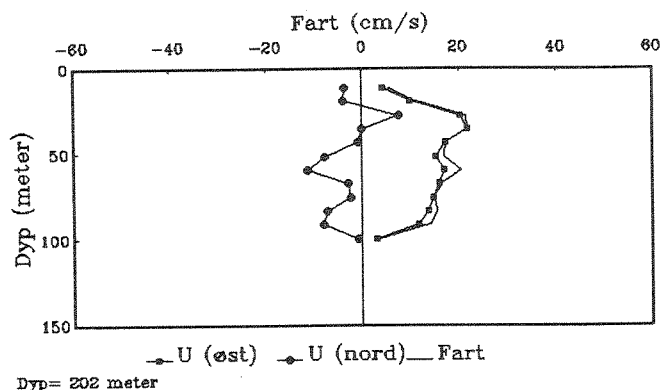


Figur 7.4.3.1

Vertikalprofiler fra snittet mellom Kirkøy og Tisler (Posisjon B) 3.oktober 1989

Figur 7.4.3.2 viser vertikalprofiler fra posisjon "C". Profilen fra denne posisjonen viser at det er høye hastigheter i hele profilet mellom -28 m og ca -90 m (tilsvarende hva som ble funnet som et enkelt maksimum i -28 m i posisjon "B"). Strømmen har også endret retning sammenliknet med posisjon "B". Bortsett fra i -28 m, er strømmen rettet mot østsydøst, og med et maksimum mot sydøst i ca. -60 m.

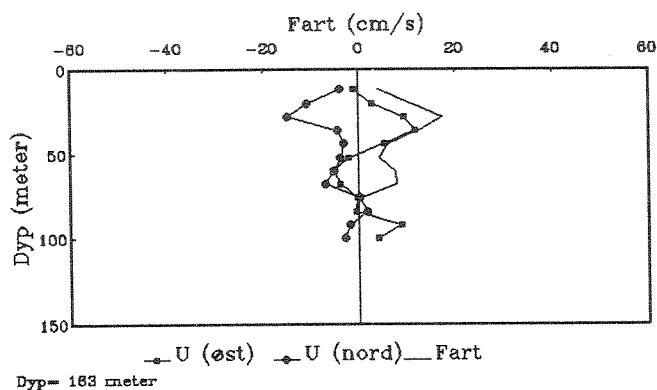
Figur 7.4.3.3 viser vertikalprofiler fra posisjon "D". Profilen viser at strømmen i -12 m er rettet mot nordvest. Deretter dreier strømmen nedover i dypet og har retning mot sydøst til ca. -50 m. Mellom -50 og -70 m er strømmen rettet mot sydvest, for deretter å dreie mot sydøst.



3.oktober 1989 14:27:00 Breddre 58 grader 59.97' Lengde 10 grader 58.33'

Figur 7.4.3.2

Vertikalprofiler fra snittet mellom Kirkøy og Tisler (Posisjon C) 3.oktober 1989



3.oktober 1989 14:31:00 Breddre 59 grader 59.81' Lengde 10 grader 55.58'

Figur 7.4.3.3

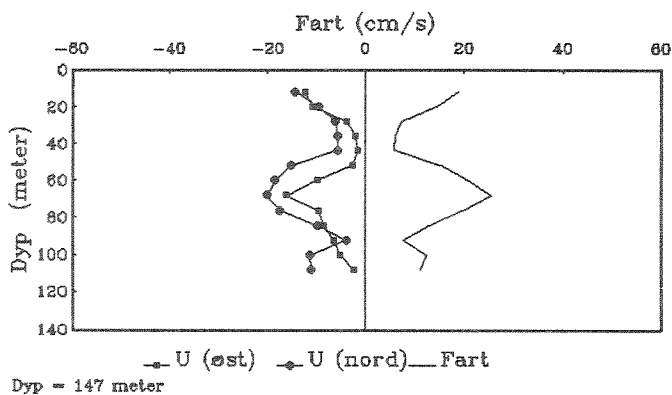
Vertikalprofiler fra snittet mellom Kirkøy og Tisler (Posisjon D) 3.oktober 1989

De tre profilene viser at strømmen i dette snittet lengst mot land er rettet mot nordøst. Lenger ute dreier strømmen mot sydvest. Det er trolig at denne spredningen i strømretningene skyldes topografisk styring av strømmen. Syd for snittet ligger Tisler, og mellom Tisler og Kirkøy er det relativt grunt.

Strømmen som kommer på utsiden av Hvalerlandet, tvinges derfor enten til å dreie mot nordøst (posisjon B) eller mot sydvest (posisjonene C og D). Hovedretningen for strømmen i dette området er mot sydøst.

7.4.4 Vertikalfordeling av strøm i nordenden av Kosterfjorden

Fra nordenden av Kosterfjorden det plukket ut vertikallprofiler fra en posisjon som er merket "E" i figur 7.4.2.1. Målingene er fra den dypeste delen av fjorden, som fortsetter som en dyprenne videre mot syd på innsiden av Koster-øyene. Målingene er vist i figur 7.4.4.1. Profilene viser at gjennom hele vandypet er strømmen rettet mot syd og vest. Den sterkeste strømmen finner vi i intervallet -70 til -80 m, hvor hastigheten er større enn 20 cm/s. I intervallet -40 til -60 m er strømmen rettet mot sydsydvest. Målingene fra denne posisjonen indikerer at transporten mot sydøst som ble funnet utenfor Hvaler-øyene, med stor sannsynlighet fortsetter mot syd på innsiden av Kosterøyene.



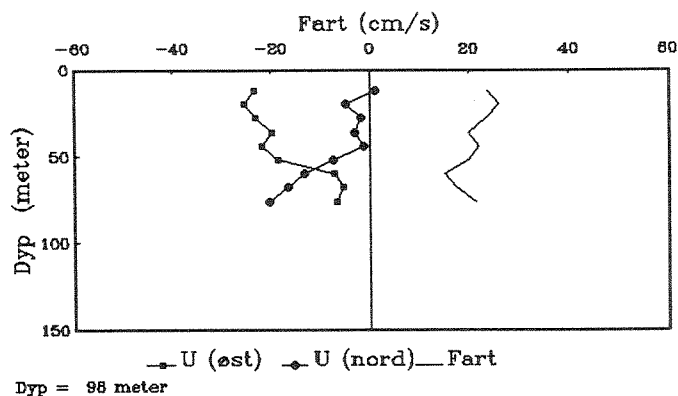
3.oktober 1989 16:18:04 Bredde 59 grader 58.73' Lengde 11 grader 02.7'

Figur 7.4.3.3
Vertikalprofiler fra Kosterfjorden (Posisjon E) 3.oktober 1989

7.4.5 Vertikalfordeling av strøm fra snitt "47"

Snitt "47" ble tatt fra nordsiden av Koster og langs rettvise kurs 059 grader til posisjon 58° 45'N, 10° 26'E. Vi skal vise vertikallprofiler fra to posisjoner langs dette snittet som viser hvordan strømmen endrer seg fra land og utover i Skagerrak. Posisjonene er vist med "F" og "G" i figur 7.4.2.1.

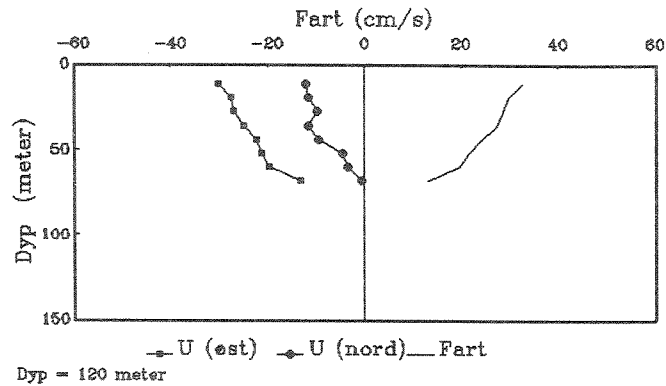
Figur 7.4.5.1 viser vertikalfordelingen av strømmen i posisjonen nærmest land (F). I de øverste 45 m er strømmen rettet mot vest, for så i dypere vannlag å dreie mot sydvest og tilbake mot vestsydvest nærmest bunnen. Nord, øst og syd for stasjon F er det grunne områder, som trolig virker inn på strømmen i overflatelaget.



3.oktober 1989 17:48:14 Breddre 58 grader 51.1' Lengde 10 grader 46.5'

Figur 7.4.5.1
Vertikalprofiler vest for Koster (Posisjon F) 3.oktober 1989

Vertikalfordelingen av strøm i posisjon G er vist i figur 7.4.5.2. Strømmen i overflatelaget på denne stasjonen er sterkere enn på stasjon F. I hele vannsøylen er strømmen rettet mot vestnordvest, og jevnt avtagende mot bunnen. På denne stasjonen har man kommet ut av strømsystemet langs kysten, og kommet inn i forlengelsen av den Baltiske strømmen, eller begynnelsen av Den Norske Kyststrømmen.



3.oktober 1989 18:45:14 Bredder 58 grader 47.7' Lengde 10 grader 37.0'

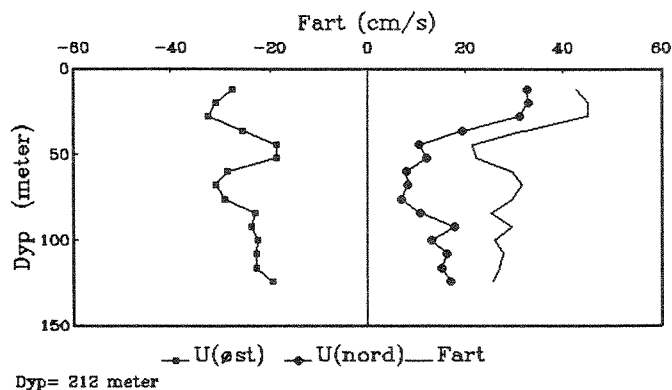
Figur 7.4.5.2
Vertikalprofiler fra Skagerrak-Koster (Posisjon G) 3.oktober 1989

7.4.6 Vertikalfordelinger fra snitt "42"

Snitt "42" ble kjørt fra posisjon $58^{\circ} 45'N 10^{\circ} 15.6'E$ og rett nordover mot land. To vertikalfordelinger av strømmen fra dette snittet er vist. Posisjonene er merket "H" og "I" i figur 7.4.2.1.

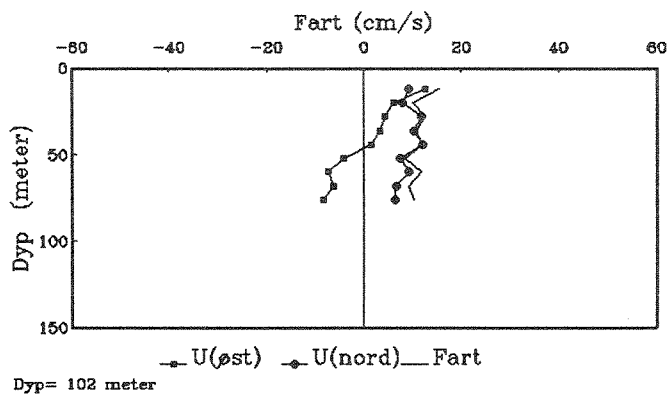
Vertikalprofilene fra stasjon "H" er vist i figur 7.4.6.1. Profilen viser at strømmen i overflatelaget (øverste 50 m) er rettet mot nordvest og at den største farten (ca. 50 cm/s) er i -20 m. Under dette dypet synker farten til ca. 20 cm/s i -50 m, mens strømmens retning dreier mot vestnordvest. Under minimumet i -50 m øker farten til om lag 30 cm/s ned mot 130 m, mens retningen er mellom vestnordvest og nordvest. Det er det nordlige området av kyststrømmen som her måles.

Figur 7.4.6.2 viser vertikalprofilene fra posisjon "I". Denne posisjonen er nord for kyststrømrådet. Fra tidligere gjennomgang av dataene vet man at dette er et område hvor det er en overflatestrøm langs kysten mot munningen av Oslofjorden. Profilene viser at strømmen i overflatelaget er rettet mot nordøst, for deretter å dreie jevnt om øst mot sydøst i -75 m. Farten avtar fra om lag 15 cm/s i overflatelaget til ca 10 cm/s i -75 m.



4.oktober 1989 02:44:39 Bredde 58 grader 45.0' Lengde 10 grader 15.7'

Figur 7.4.6.1
Vertikalprofiler fra Skagerrak (Posisjon H) 4.oktober 1989



4.oktober 1989 04:37:39 Bredde 58 grader 57.5' Lengde 10 grader 16'

Figur 7.4.6.2
Vertikalprofiler fra Skagerrak-Sandefjord (Posisjon I) 4.oktober 1989

7.4.7 Syntese av resultater fra feltmålingene

Strømmålingene som er blitt utført med ADCP fra båt i 1989 har ny informasjon i forhold til hva man har hatt kunnskap om tidligere. Det viktigste er :

- * Strømmen i store deler av fjorden kan ikke betraktes som en "kanalstrøm", eller som en strøm inn og ut av fjorden. I en rekke områder, f.eks. på nordsiden av Bolærne, nord for Færder, i Verlebukta og i Breidangen er det storstilte virvler. Disse virvlene oppstår gjerne i le av land i strømmens hovedretning, eller når fjorden blir smalere, som f.eks. når nordgående strøm kommer opp mot Verlebukta syd for Jeløya.

I Breidangen, hvor det er en rekke øyer, undervannsrygger og grunner, finner man virvler rundt disse øyene. F.eks. ser det ut til at transporten inn i Sandebukta ved Holmestrand fra Rødtangenområdet er en ofte forekommende foreteelse. Videre ser man at det lett danner seg en stor virvel i Breidangen som roterer mot klokka. Når strømmen i sentrale deler av Breidangen går nordover, danner det seg en sydgående strøm langs vestsiden av Jeløya nord for Gullholmen.
- * Ved kraftig nordlig vind, som f.eks. under toktet i oktober 1989, kan strømmen i overflatelaget ut fjorden trekke seg helt over på østsiden av fjorden, mens det danner seg en virvel *med klokka* nord for Bolærne. Ved sydlig eller lite vind er denne virvelen *mot klokka*.

En viktig konsekvens av den hyppige tilstedeværelsen av store og ofte forekommende virvler i fjorden er at tiden vannmasser bruker på å bli fraktet ut av fjorden forlenges. Det vil si at oppholdstiden av vannmassene øker. Videre fører det til øket grad av resirkulasjon, dvs. at vannet som strømmer inn i fjorden for å skifte ut "gammelt" vann, blandes opp med "gammelt" vann, som er på vei ut fjorden. Dermed reduseres effekten av utskifting av vannmasser som strømmer inn fra Skagerrak.

Det er ikke utført noen analyser av dataene for å undersøke omfanget av denne resirkulasjonen, eller hvilken reduksjon i utskifting av "gammelt" vann, som resirkulasjonen medfører.

Dårlig vær og problemer med instrumentene har ført til at man bare har et tokt med fullstendige data fra området utenfor Oslofjordens munning. Strømforholdene som ble funnet under toktet var karakterisert av at kyststrømmen var skjøvet 6-8 nautiske mil ut fra Færder, med en virvel med klokka på nordsiden av kyststrømmen. Denne transporten, *med klokka*, kunne følges gjennom hele området, fra Sandefjord i vest til nordenden av Kosterfjorden i øst. Omtrent det samme strømmønsteret ble registrert under toktet i august 1988.

Den tidligere antagelsen om strømforholdene utenfor Oslofjordens munning har vært at den nordlige grensen for kyststrømmen har gått helt nord i fjordmunningen, med transport fra øst mot vest. Pga. det reduserte omfanget av datamaterialet for dette området i 1989, kan det ikke avgjøres om forholdene som ble målt i oktober 1989 er uvanlige, eller om de er del av et vanlig sirkulasjonsmønster. De numeriske simuleringene som utføres av VERITEC med modeller over Oslofjorden og Skagerrak vil kunne gi svar på under hvilke værforhold det foregår en transport fra øst mot vest, eller fra vest mot øst.

Imidlertid kan strømmålingene som ble utført ved Grisebådarna i 1988 (forankrede Aanderaa strømmålere) gi informasjon om hvor hyppig en transport fra vest mot øst eller omvendt, finner sted. VERITEC har derfor reanalyisert disse målingene, og resultatene fra reanalysene er gitt i tabell 7.5.1.

Periode	Antall observasjoner	% av transport i sektor [90,200] grader	% av tiden i sektor [90,200] grader.
Mai	826	11.1	16.7
Juni	2161	26.7	27.9
Juli	2233	14.6	19.2
August	620	49.1	43.7
September	1686	31.5	34.7
Oktober	2065	14	29.7
For perioden	9591	-	27.5 (2639 obs.)

Tabell 7.4.1

Sammendrag av strømmålinger i -10 m ved Grisebådarna i 1988
Strøm/transport i sektor [90,200] grader.

Måleintervallet for målingene i 1988 var 20 minutter. 9591 målinger tilsvarer dermed om lag 133 døgn av perioden mai-oktober.

Tabellen viser at for målingene i perioden mai-oktober 1988 var strømmen rettet i sektoren (90,200) grader i om lag en fjerdedel av tiden. Dette tyder på at sirkulasjonen med klokka utenfor Oslofjordens munning ikke er den dominerende transportretningen, men den kan karakteriseres som et vanlig forekommende transportmønster.

8 KONKLUSJONER

De nye måleteknikkene som er blitt benyttet under dette prosjektet har gjort det mulig å "dekke" Oslofjordområdet med kontinuerlige observasjoner av strøm og hydrografi på en helt nye måte. Forsøk med forskjellige hastigheter på fartøyet viste at 6 knots fart ga den beste kombinasjonen av datakvalitet og raskest mulig gjennomføring. Når fartøyet ble operert med denne hastigheten, viste gjennomføringen av undersøkelsene at man under forhold med relativt lav sjøgang kan "dekke" hele området mellom Drøbaksundet i nord og områdene i Skagerrak, ca. 15 nautiske mil utenfor Færder-Torbjørnskjær, i syd i løpet av 36 timer.

Denne relativt raske gjennomføringen av målingene gjør det mulig å beskrive strømforholdene i fjorden under antagelse av kvasi-stasjonærhet (når man ser bort fra tidevannsdrevne bevegelser). Bildene av strøm og hydrografiske forhold i fjorden som kommer frem fra målingene i løpet av et tokt, kan med god tilnærming brukes til å sammenlikne det storstilte mønsteret som man finner ved å bruke numeriske modeller eller fjernmålinger.

Omfanget av måleresultatene som er samlet inn, er ikke blitt så stort som forutsatt i det opprinnelige programmet. Dette skyldes både at VERITEC hadde vanskeligheter med å operere ADCP instrumentet på en tilfredsstillende måte, og at flere tokt måtte avbrytes på grunn av for høy sjøgang i ytre Oslofjord.

Erfaring fra tidligere undersøkelser i det samme området med andre fartøyer, tilsier at selv med fartøyer på størrelse opp til 150 fot ville man trolig ikke ha kunnet utføre målinger under de toktene som måtte avbrytes på grunn av høy sjøgang. Mannskapet på "Trygve Braarud" viste godt sjømannskap i manøvrering av fartøyet i situasjoner med høy sjøgang hvor en ellers skulle ha ventet at målingene måtte avbrytes.

8.1 Konklusjoner fra de hydrografiske målingene

Værforholdene under toktene var stort sett preget av mye vind og sjø fra syd, bortsett fra toktet i oktober 1989 hvor det den første dagen var storm fra nordvest. Kraftig vind fra syd fører til oppstuvning av vannmasser i de midtre og indre deler av fjorden. Måleresultatene viser at ved sydlig vind finner man kraftige saltholdighets- og tetthetsgradienter i den midtre og vestre delen av Breidangen. Dette er ferskvann fra Drammensfjorden som ikke får anledning til å strømme fritt utover fjorden, men stuves opp i området fra Mølen og vestover. Særlig under toktene i mars, april og september fantes disse sterke gradientene i midtre og vestre deler av Breidangen.

Fra Mølen og mot øst er det et tydelig skille i fordelingen av saltholdighet, som indikerer at brakkvann fra Drammenselven ikke "når" bort til Jeløya under perioder med sterk sydlig vind. Videre tyder dataene på at de grunne områdene rett vest for Jeløya er et område hvor det kan finne sted heving (upwelling) til overflaten av vannmasser fra underliggende dyp ved sterk sydlig og sydvestlig vind.

Under toktet i oktober 1989 var det kraftig vind fra nord mens målingene i Breidangen ble utført. Dataene viser (se figur 6.5.2.a) at under denne situasjonen er gradientene i den østre delen av Breidangen sterkere enn i den vestre. Dette tyder på at brakkvannet som strømmer ut fra Drammenselven først blandes med vannmassene i den østre delen av Breidangen, rett vest for Jeløya, ved nordlig vind.

I den midtre delen av fjorden (ref. figur 2.1) viser målingene også vesentlige forskjeller mellom de hydrografiske fordelingene som følge av sydlig og nordlig vind. Under toktene i mars og september gikk isolinjene stort sett på tvers av fjorden, med en tendens til å følge rekken av øyer langs østsiden. Det er trolig at den lavere tettheten øst for øyene fra Søstrene og nordover skyldes brakkvannstransport innover fjorden fra Glomma.

Under toktet i oktober 1989 (med sterk nordlig vind) var det en helt annen hydrografisk situasjon enn under toktene i mars og september. Isolinjene for saltholdighet var stort sett på langs av fjorden. F.eks. var 27.5 ‰-linjen for saltholdighet (se figur 6.5.2.a) ubrutt langs midten av fjorden fra Hurumlandet og ut i Skagerrak. I oktober var høyeste saltholdighet og dermed tetthet langs østsiden av fjorden. Dette tyder på at ved sterk nordlig vind skjer transporten av brakkvann fra Drammenselven stort sett langs vestsiden av fjorden. Vindstresset fører også til transport mot vest i overflatelaget på østsiden, og dermed "upwelling". Det er støtte for denne antagelsen i dataene, som viser høyeste saltholdigheter i området mellom Strømtangen og Rauøy.

Fra områdene i ytre Oslofjord og Skagerrak finnes få data. Bare under toktet i oktober 1989 kunne målingene gjennomføres som planlagt. Disse målingene viser at det er et utstrakt område med brakkvann langs land ved og sydvest for Færder, mens det lenger ute i Skagerrak finnes vannmasser med høyere saltholdighet og tetthet. Brakkvannet ved Færder er trolig utstrømning av brakkvann fra Oslofjorden, som møter brakkvann som strømmer østover syd for Vestfold. Vannmassene med høy saltholdighet ute i Skagerrak er begynnelsen av kystrømmen.

Langs Hvalerlandet var det et skifte av vannmasser ved Tisler. Nord for Tisler er det vann med relativt høy saltholdighet, mens det øst og syd for Tisler var vannmasser med betydelig lavere saltholdighet. Dette tyder på at i situasjoner med sterk nordlig vind strømmer ferskvannet fra Glomma i liten utstrekning ut i Oslofjorden ved Strømtangen, men presses østover til utløpene ved Løperen og i Sækken. De sterke gradientene som ble funnet mellom Tisler og Koster tyder på at brakkvannet fra Glomma under toktet i oktober ikke gikk ut i Skagerrak eller Oslofjorden, men fortsatte mot syd og øst (mot Koster og Kosterfjorden).

8.2 Konklusjoner fra strømmålingene

Strømmålingene som er blitt utført med ADCP fra båt i 1989 har gitt mye ny informasjon om strømforholdene i ytre Oslofjord og indre Skagerrak i forhold til tidligere kunnskap. Det viktigste er :

- * Strømmen i store deler av fjorden kan ikke betraktes som en "kanalstrøm", eller som en strøm inn og ut av fjorden. I en rekke områder, f.eks. på nordsiden av Bolærne, nord for Færder, i Verlebukta og i Breidangen er det storstilte virvler. Disse virvlene oppstår gjerne i le av land i strømmens hovedretning, eller når fjorden blir smalere, som f.eks. når nordgående strøm kommer opp mot Verlebukta syd for Jeløya.

I Breidangen, hvor det er en rekke øyer, undervannsrygger og grunner, finnes virvler rundt disse øyene. F.eks. ser det ut til at transporten inn i Sandebukta ved Holmestrand fra Rødtangenområdet er en ofte forekommende foreteelse. Det dannes lett en stor virvel i Breidangen som roterer mot klokka. Når strømmen i sentrale Breidangen går nordover, danner det seg en sydgående strøm langs vestsiden av Jeløya nord for Gullholmen.

- * Ved kraftig nordlig vind som i oktober 1989, kan strømmen i overflatelaget ut fjorden trekke seg helt over på østsiden av fjorden, mens det danner seg en virvel *med klokka* nord for Bolærne. Ved sydlig eller lite vind er denne virvelen *mot klokka*.

En viktig konsekvens av den hyppige tilstedeværelsen av store og semipermanente hvirvler i fjorden er at tiden vannmassene bruker på å bli fraktet ut av fjorden forlenges. Det vil si at oppholdstiden av vannmassene øker. Videre fører det til øket grad av resirkulasjon, dvs. at vannet som strømmer inn i fjorden for å skifte ut "gammelt" vann, blandes opp med "gammelt" vann, som er på vei ut fjorden. Dermed reduseres effekten av utskifting av vannmasser som strømmer inn fra Skagerrak.

Det er ikke utført noen analyser av dataene for å undersøke omfanget av denne resirkulasjonen, eller hvilken reduksjon i utskifting av "gammelt" vann, som resirkulasjonen medfører.

Strømforholdene under toktet i oktober i Skagerrak var karakterisert av at kyststrømmen var skjøvet 6-8 nautiske mil ut fra Færder, med en virvel med klokka på nordsiden av kyststrømmen. Denne transporten, *med klokka*, kunne følges gjennom hele området, fra Sandefjord i vest til nordenden av Kosterfjorden i øst. Omtrent det samme strømmønsteret ble funnet under toktet i august 1988.

Tidligere antagelser om strømforholdene utenfor Oslofjordens munning har vært at den nordlige grensen for kyststrømmen har gått helt nord i fjordmunningen, med transport fra øst mot vest. Pga. det reduserte omfanget av datamaterialet fra dette området i 1989, kan man ikke avgjøre om forholdene som ble målt i oktober 1989 er uvanlige, eller om de er del av et vanlig sirkulasjonsmønster.

Strømmålingene som ble utført ved Grisebådarne i 1988 ved hjelp av forankrede Aanderaa strømmålere, kan gi informasjon om hyppigheten av transport fra vest mot øst, og omvendt. Reanalyse av disse dataene viser at for målingene i perioden mai-oktober 1988 var strømmen rettet i sektoren (90,200) grader i om lag en fjerdedel av tiden. Dette tyder på at sirkulasjonen med klokka utenfor Oslofjordens munning ikke er den dominerende transportretningen, men den kan karakteriseres som et vanlig forekommende transportmønster.

9 REFERENSER

- Dahl, F.-E., 1990. Strømmålinger i Oslofjorden - Et sammendrag. Delprosjekt 3.5.c. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT) Rapport. Veritec. Godkjent SFT 15.8.90.
- Dahl, F.-E. og B.Hackett, 1988. Data atlas : Strøm-, vær- og hydrografiske målinger i faste punkter, mai-november 1988. Delprosjekt 3.4a. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Veritec.
- Hackett, B. og F.-E.Dahl, 1989. Strømmålinger med en akustisk doppler strømmåler (ADCP) på F/F "Trygve Braarud" August 1988. Delprosjekt 3.5.a. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Veritec, 56 s.
- Skåtun, H. og L.P.Røed, 1988. Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord. Rapport 1: Modellen og dens åpne grenseflate. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Notat. Veritec. 40 s.
- Røed, L.P. og H.Skåtun, 1989. Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord. Rapport 2: Resultater fra simuleringene; En analyse og oppsummering. Delprosjekt 3.3b. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport 396/90. Veritec.165 s.

10 VEDLEGG

10.1 EDB-programmer

Nedenfor er vist FORTRAN-koden for to EDB programmer som er spesielt utviklet i dette prosjektet for å behandle dataene fra den TS-sonden som er montert fast ombord i F/F Trygve Braarud. Programmene er kommentert ved egne kommentarer i kodene.

10.1.1 Program CATSPIKE

```
PROGRAM CATSPIKE
C
C THIS PROGRAM FILTERS SPIKES FROM SEACAT DATA FILES.
C SPIKES ARE FILTERED FROM CONDUCTIVITY DATA, USING
C LINEAR INTERPOLATION BETWEEN GOOD DATA POINTS.
C THE DATASET WRITTEN TO FILE, CONSIST OF TEMPERATURE
C AND CONDUCTIVITY DATA.
C
C VERSION 1.0
C DATE : 08.01.1990
C
C
C DIMENSION A(100,4),NCOUNT(100)
C CHARACTER*15 FNAME,GNAME
C DMAX=0.09
C NKOR=0
C
C OPEN NEW FILE FOR COMPUTED DATA. GIVE FILE NAME
C
C WRITE(6,*) 'GIVE NAME OF DATA OUTPUT FILE AS MAX A15'
C READ(5,101) FNAME
101 FORMAT(A15)
C
C OPEN OLD FILE FOR INPUT DATA. GIVE FILE NAME
C
C WRITE(6,*) 'GIVE NAME OF DATA INPUT FILE AS MAX A15'
C READ(5,101) GNAME
C
C OPEN INPUT AND OUTPUT FILES
C
C OPEN(UNIT=21,FILE=GNAME,STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
C OPEN(UNIT=22,FILE=FNAME,STATUS='NEW',FORM='FORMATTED')
C
C CHECK IF YOU WANT TO CHANGE MAX ALLOWABLE DIFFERENCE
C FOR CONDUCTIVITY. THE DEFAULT VALUE IS 0.09 (IN SEACAT
C UNITS)
C
C WRITE(6,*) 'DEFAULT MAX DIFFERENCE IS 0.09. PRESS 1 FOR CHANGE'
C READ(5,*) ITST
C IF(ITST.NE.1) GO TO 500
C WRITE(6,*) 'GIVE NEW MAX ALLOWABLE DIFFERENCE'
C READ(5,*) DMAX
C
C READ DATA FROM DATA FILE. CALCULATE MIN AND MAX
C
500 CONTINUE
C WRITE(6,*) ' READING DATA AND CALCULATING'
```

```
      J=0
C
C      READ THE FIRST DATA SET
C
      1 CONTINUE
        J=J+1
        READ(21,50,ERR=51,END=100) (A(J,I),I=1,4),NCOUNT(J)
50    FORMAT(4(3X,F7.4),6X,I4)
        GO TO 52
51    J=J-1
        GO TO 1
C
      52 IF(J .EQ. 1) GO TO 1
C
C      CALCULATE DIFFERENCE AND CHECK
C
        DIFF=ABS(A(2,4)-A(1,4))
        IF(DIFF .GE. DMAX) GO TO 5
        WRITE(22,50) (A(1,I),I=1,4),NCOUNT(1)
        DO 3 I=1,4
          A(1,I) = A(2,I)
3    CONTINUE
        NCOUNT(1) = NCOUNT(2)
        J=1
        GO TO 1
C
C      YOU HAVE FOUND SOME DATA WHERE THE DIFFERENCE EXCEEDS DMAX
C
      5 CONTINUE
C
C      READ ANOTHER DATASET
C
        J=J+1
        READ(21,50,ERR=5,END=100) (A(J,I),I=1,4),NCOUNT(J)
C
C      CHECK THE DIFFERENCE
C
        DMAX1 = DMAX*(J-1)
        DIFF = ABS(A(J,4)-A(1,4))
        IF(DIFF .GE. DMAX1) GO TO 5
C
C      CALCULATE NEW NUMBERS
C
        CJ = J-1
        DELP = (A(J,4)-A(1,4))/CJ
C
C      CALCULATE INTERPOLATED VALUES AND WRITE NEW DATA TO FILE
C
        WRITE(22,50) (A(1,I),I=1,4),NCOUNT(1)
        DO 8 K=2,J-1
          A(K,4) = A(1,4) + (DELP*(K-1))
          WRITE(22,50) (A(K,I),I=1,4),NCOUNT(K)
8    CONTINUE
C
C      RESET REFERENCE DATA
C
        NKOR = NKOR +1
        JJ = J-2
        WRITE(6,9) NKOR,JJ
```

```

    9 FORMAT(5X,'CORRECTION NO ',I4,5X,I3,'DATA CORRECTED')
      DO 10 I=1,4
        A(1,I) = A(J,I)
    10 CONTINUE
      NCOUNT(1) = NCOUNT(J)
      J=1
      GO TO 1
C
    100 CLOSE(21)
      CLOSE(22)
      STOP
      END
```

10.1.2 Program CATSALDE

```

      PROGRAM CATSALDE
C
C      THIS PROGRAM CALCULATES SALINITY AND DENSITY FOR SEACAT
C      DATA USING DESPIKED TEMPERATURE AND CONDUCTIVITY DATA.
C      STANDARD UNESCO ALGORITHMS ARE USED FOR CALCULATION OF BOTH
C      PARAMETERS. NEW DATASET IS WRITTEN TO FILE IN SAME FORMAT
C      AS ORIGINAL SEACAT DATA.
C
      DIMENSION A(100,4),B(10),NCOUNT(100)
      CHARACTER*15 FNAME,GNAME
      P=0.0
C
C      OPEN NEW FILE FOR COMPUTED DATA. GIVE FILE NAME
C
      WRITE(6,*) 'GIVE NAME OF DATA OUTPUT FILE AS MAX A15'
      READ(5,101) FNAME
    101 FORMAT(A15)
C
C      OPEN OLD FILE FOR INPUT DATA. GIVE FILE NAME
C
      WRITE(6,*) 'GIVE NAME OF DATA INPUT FILE AS MAX A15'
      READ(5,101) GNAME
C
C      OPEN INPUT AND OUTPUT FILES
C
      OPEN(UNIT=21,FILE=GNAME,STATUS='OLD',FORM='FORMATTED')
      OPEN(UNIT=22,FILE=FNAME,STATUS='NEW',FORM='FORMATTED')
C
C      READ THE FIRST DATA SET
C
    1 CONTINUE
      J=J+1
      READ(21,50,ERR=51,END=59) (A(J,I),I=1,4),NCOUNT(J)
    50 FORMAT(4(3X,F7.4),6X,I4)
      GO TO 54
```

```
51 IF(J. EQ. 1) GO TO 53
   NCOUNT(J) = NCOUNT(J-1)
   DO 52 I=1,4
   A(I,J) = A(I,J-1)
52 CONTINUE
   WRITE(22,50) (A(I,J),I=1,4),NCOUNT(J)
53 J=J-1
   GO TO 1
C
54 IF(J .EQ. 1) GO TO 1
C
C   CALCULATE SALINITY
C
   T=A(J,1)
   CND=A(J,4)
   CALL SUBSAL(P,T,CND,S)
C
C   CALCULATE DENSITY
C
   CALL SUBDEN(P,T,S,SIGT)
   A(J,2) = S
   A(J,3) = SIGT
   WRITE(22,50) (A(J,I),I=1,4),NCOUNT(J)
   J=J-1
   GO TO 1
C
C   CHECK TO FILTER RESULTS
C
59 CONTINUE
   WRITE(6,*) ' IF YOU WANT TO FILTER DATA, PRESS 1 '
   READ(6,*) ITST
   IF(ITST .NE. 1) GO TO 100
   REWIND(22)
   WRITE(6,*) ' GIVE NAME OF FILE FOR FILTERED DATA '
   READ(5,101)FNAME
C
C   OPEN DATA FILE FOR FILTERED DATA
C
   OPEN(UNIT=23,FILE=FNAME,STATUS='NEW',FORM='FORMATTED')
C
C   READ DATA AND FILTER
C
   J=0
60 CONTINUE
   J=J+1
   READ(22,50,END=99) (A(J,I),I=1,4),NCOUNT(J)
   IF(J .LT. 3) GO TO 60
```

C

```
DO 61 I=1,4
  B(I) = 0.25*(A(J-2,I)+A(J,I))+0.5*A(J-1,I)
61 CONTINUE
  NC = NCOUNT(J-1)
  WRITE(23,50) (B(I),I=1,4),NC
  DO 63 JJ=J-1,J
  DO 62 I=1,4
  A(JJ-1,I) = A(JJ,I)
62 CONTINUE
  NCOUNT(J-1) = NCOUNT(J)
63 CONTINUE
  J= J-1
  GO TO 60
```

C

```
99 CLOSE(23)
100 CLOSE(21)
  CLOSE(22)
  STOP
  END
```

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, Korsvoll
0808 Oslo 8

ISBN 82-577 -1795-9