

# Resipientovervåking i **Vollsfjorden i Telemark**

Oppfølgende undersøkelser i 1989

# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 43 033	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 Telefax (065) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen-Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90
--	---	--	--

Prosjektnr.: 0-89241
Undernummer:
Løpenummer: 2390
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Resipientovervåking i Vollsfjorden i Telemark Oppfølgende undersøkelser i 1989.	Dato: April 1990.
Forfatter (e): Lars G. Golmen Jarle Molvær	Prosjektnummer: 0-89241
	Faggruppe: Marin eutrofi
	Geografisk område: Telemark
	Antall sider (inkl. bilag): 43

Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelinga.	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Rapporten omhandler vannfaglige data som ble innsamla i Vollsfjorden i Telemark sommeren 1989. Dataanalysen viser at næringssaltkonsentrasjonene i Vollsfjorden (og Frierfjorden) i 1989 var 10-30% lavere for Tot-P og ca. 40% lavere for Tot-N i forhold til 1978. Dette tilsvarer omtrentlig den reduksjon i tilførsler som har funnet sted i tilsvarende tidsrom. Oksygenforholdene i dypvannet var ikke vesentlig endret fra 1978. Vannkvaliteten i Vollsfjorden domineres av forholdene i Frierfjorden.

4 emneord, norske:

1. Marin eutrofi
2. Strømmåling
3. Fjordsirkulasjon
4. Næringsalter

4 emneord, engelske:

1. Marine eutrophication
2. Current measurements
3. Fjord circulation
4. Nutrients

Prosjektleder:

Lars G. Golmen

For administrasjonen:

Bjørn Olav Rosseland

ISBN 82-577-1683-9

**O - 89241**

**Resipientovervåking i  
Vollsfjorden i Telemark**

**Oppfølgende undersøkelser i 1989**

Bergen/Oslo april 1990  
Lars G. Colmen, prosj.leder  
Jarle Molvær, medarbeider

## FORORD

Det foreligger planer om utarbeidelse av en fjordbruksplan for Grenlandsfjordene i Telemark. I denne sammenheng skal det gjøres en særskilt tiltaksanalyse for Volls fjorden, som har et viktig potensiale som framtidig friluft- og rekreasjonsområde. En slik analyse krever blant annet kjennskap til Volls fjordens vannkvalitet og resipientkapasitet.

Miljøvernavdelinga hos Fylkesmannen i Telemark finansierte gjennom "Miljøpakka for Grenland" en relativt omfattende innsamling av vannprøver i og utenfor Volls fjorden sommeren 1989. Feltarbeid og analyser av vannprøver blei utført av Vannlaboratoriet i Telemark. Miljøtilstanden for Volls fjorden blei første gang undersøkt i 1978-79. Et sentralt mål for 1989-undersøkelsen var å undersøke om tilstanden hadde endret seg i det mellomliggende tidsrommet. Samtidig var man interessert i en oppdatert status på tilstanden i fjorden før iverksetting av planlagte rensetiltak i 1990.

Sommeren 1989 blei det også foretatt noen strømmålinger for å få bedret kunnskapen om vannutskiftingen mellom Frierfjorden og Volls fjorden. Bearbeiding av strømdataene blei gjort av NIVA.

I regi av "Statlig program for forurensingsovervåking" er det fra midten av 1970-årene foretatt mer eller mindre kontinuerlig prøvetaking i Frierfjorden. En del av dette datamaterialet er også vurdert i denne rapporten, men prosjektets økonomiske og tidsmessige ramme har ikke tillatt omfattende analyser.

Lars G. Golmen ved NIVAs Vestlandsavdeling har vært ansvarlig for utarbeidelsen av rapporten. Jarle Molvær ved NIVA i Oslo har vært faglig medarbeider. Hos Miljøvernavdelinga i Telemark har avd. ing. Ann Kristin Schartau vært ansvarlig kontaktperson. Inger Midttun, Terje Hopen og Unni Efraimsen ved NIVA takkes for bistand med h.h.v. skrivning, behandling av strømmålerdata og organisering av vannprøvedata.

Bergen, mars 1990

Lars G. Golmen

## VOLLSFJORDEN

SAMMENDRAG . . . . .	1
1. INNLEDNING . . . . .	2
1.1. <u>Områdebeskrivelse</u> . . . . .	2
1.2. <u>Forurensingssituasjonen</u> . . . . .	2
1.3. <u>Formål med undersøkelsen i 1989</u> . . . . .	5
2. FELTARBEID OG DATAINNSAMLING . . . . .	6
2.1. <u>Tidligere undersøkelser</u> . . . . .	6
2.2. <u>Vannkjemiske målinger i 1989</u> . . . . .	7
2.3. <u>Strømmåling</u> . . . . .	8
3. DATAPRESENTASJON . . . . .	11
3.1. <u>Strømmålinger</u> . . . . .	11
3.1.1. Middelstrøm . . . . .	11
3.1.2. Tidsvariasjon . . . . .	15
3.2. <u>Hydrografi og kjemiske data</u> . . . . .	21
3.2.1. Hydrografi . . . . .	21
3.3. <u>Kjemiske data</u> . . . . .	28
3.3.1. Overflatelaget . . . . .	28
3.3.2. Dypvannet . . . . .	34
4. OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER . . . . .	37
4.1. <u>Strømmålingene fra 1989</u> . . . . .	37
4.2. <u>Hydrografi og kjemiske data</u> . . . . .	38
LITTERATUR . . . . .	43

## SAMMENDRAG

I regi av Miljøvernavdelinga i Telemark blei det i 1989 foretatt prøvetaking og strømmålinger i Volls fjorden og i Frierfjorden. NIVA er blitt bedt om å vurdere de innsamlede data med tanke på vannutskifting og forurensingstilstand i Volls fjorden. Det blei i 1978 gjennomført en liknende undersøkelse i Volls fjorden. Resultatene fra den undersøkelsen har gitt grunnlag for å vurdere eventuelle tilstandsendringer.

Vannmassene i Volls fjorden påvirkes sterkt av vannmassene i Frierfjorden. Dette resulterer i at de to fjordene har tilnærmet lik brakkvannskaraktistikk, til tross for svært ulik tilrenning. Også for vannkjemiske parametre er det relativt liten forskjell mellom konsentrasjonene i de to fjordene, til tross for langt større tilførsler til Frierfjorden.

Strømmålingene i Volls fjorden viste hastigheter rundt 10 cm/sek i øvre lag, med vekslende retning ut-inn fjorden. I 20 meters dyp var nettostrømmen av størrelsesorden 2 cm/s, og rettet inn fjorden. Det var kun kortvarige perioder med svak eller null strøm. Større deler av observasjonsperioden i 1989 hadde vind med regelmessig døgnvariasjon (solgangsbris). Denne vinden forårsaket en tilsvarende døgnvariasjon i strømmen 2 meters dyp. Målingene indikerer at strømmen i 2 meters dyp hadde motsatt retning av vindgenerert strøm i overflaten. I sentrale deler av Volls fjorden anslås oppholdstiden til 1/2 døgn for overflate-laget.

Nitrogen og fosforkonsentrasjonene i overflatelaget i Volls fjorden var av størrelsesorden resp. 40 % og 10-30 % lavere i 1989 i forhold til 1978. Tilførslene til Frierfjorden har i samme tidsrom minket omtrent tilsvarende både for Tot-N og Tot-P.

Dypvannet i indre deler av Volls fjorden bar preg av overbelastning i 1989. Forholdene med omsyn til oksygeninnhold og næringssalter i dypvannet var tilnærmet som i 1978, og indikerer fortsatt sårbarhet overfor øket belastning.

Siktedypsmålingene i 1989 indikerte tilfredsstillende verdier med omsyn til badevannskriteriet fra slutten av august, mens verdiene i mai og juni var lave, og ned mot akseptert minste-verdi. Målinger av siktedyp fra den mest sentrale del av badesesongen (juli-august) mangler.

## 1. INNLEDNING

### 1.1. Områdebeskrivelse

Vollsfjorden utgjør en del av Grenlandsfjordene i Telemark. Grenlandsfjordene er generelt sterkt preget av menneskelig aktivitet, med mye industriell virksomhet og tettbebyggelse i området rundt. Dette fjordsystemet har siden 1970-årene vært gjenstand for regelmessig overvåking av vannkvaliteten.

Vollsfjorden munner ut i Frierfjorden (fig. 1.1). Vannutskifting og vannkvalitet er således sterkt avhengig av tilstand og fysiske prosesser i Frierfjorden. Ved munningen av Vollsfjorden er det en terskel, med minste dyp ca. 20 meter. Største dyp innenfor terskelen er 35 meter. Lengde og bredde på fjorden er h.h.v. ca. 3.5 km og 400-600 meter. Fjorden er topografisk sett relativt oppsplittet med flere mindre øyer (fig. 1.1).

Overflatearealet til Vollsfjorden er om lag 1.8 km<sup>2</sup>. Totalt vannvolum er om lag 22 mill m<sup>3</sup>, hvorav "øvre lag" (0-3 m) utgjør 25 %. Til sammenlikning er Frierfjordens overflateareal om lag 18 km<sup>2</sup>, og totalt vannvolum om lag 760 mill m<sup>3</sup> (60 mill m<sup>3</sup> for øvre lag).

### 1.2. Forurensingssituasjonen

#### **Tilførsler til Vollsfjorden**

Rundt Vollsfjorden er det stort sett spredt bebyggelse. Svanvik innerst i fjorden er eneste tettsted, som inntil nå har representert en konsentrert kilde for forurensingsutslipp (kloakk). Samlede tilførsler var i 1988 ca. 11 tonn N og ca. 1 tonn P pr. år (Ibrekk og Gulbrandsen, 1989). For 1978 kan total belastning fra befolkning, dyrka mark, skog/utmark samt nedbør på sjø beregnes til ca. 1.1 tonn P og 20 tonn N pr. år. Avrenning fra dyrka mark utgjorde i 1978 ca. 2/3 av totalen, mens tilsvarende bidrag i 1988 var neglisjerbart som følge av nedtrapping i

landbruket rundt Volls fjorden de seinere åra. Ellers bidrar utslipp fra næringsmiddelindustri til ikke uvesentlige organiske tilførsler til fjorden. Fjorden tilføres også forurensing gjennom vannutskiftingen med den sterkt forurensede Frierfjorden (Molvær m. fl., 1980).

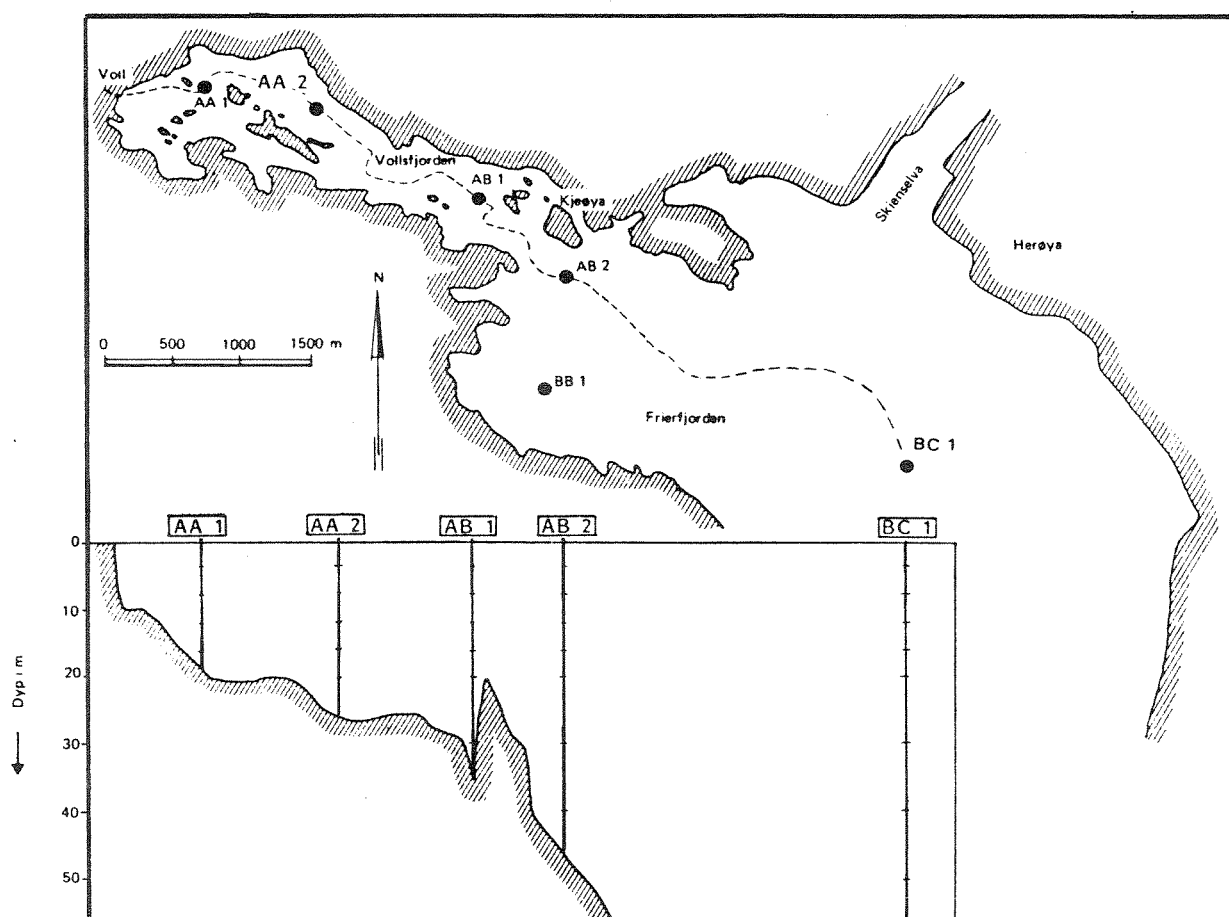


Fig. 1.1. Kart over Volls fjorden, som viser beliggenhet for prøvetakingsstasjonene i 1978 og 1989. (Stasjon AA2 var ny i 1989). Et dybdeprofil langs djupålen i fjorden er innfelt nederst. (Modifisert etter Molvær m.fl. 1980).



### Tilførsler til Frierfjorden

Frierfjorden får de største tilførslene av N og P fra Skienselva og fra Hydro Porsgrunn. I følge SFT tilsvarte de samlede tilførslene til Frierfjorden i 1978 149400 p.e. og 1.55 mill p.e. for h.h.v. fosfor og nitrogen. Dette tilsvarer 136 tonn fosfor og 6770 tonn nitrogen pr. år (1 p.e. tilsvarende 12 g N og 2.5 g pr. døgn). Utover i 1980 årene sank tilførselstallene gradvis for nitrogen (fig. 1.2). For fosfor lå verdiene inntil 1987 relativt konstant, mellom 120-140 tonn/år. I 1988 var utslippene 106 tonn P og 3600 tonn N. SFT sine (foreløpige) tall for 1989 viser 92 tonn P og 3560 tonn N. Forutsatt at samme beregningsmetoder er brukt, innebærer dette en reduksjon i tilførslene på nesten 40% for N og ca. 25% for P i perioden 1978 - 1989.

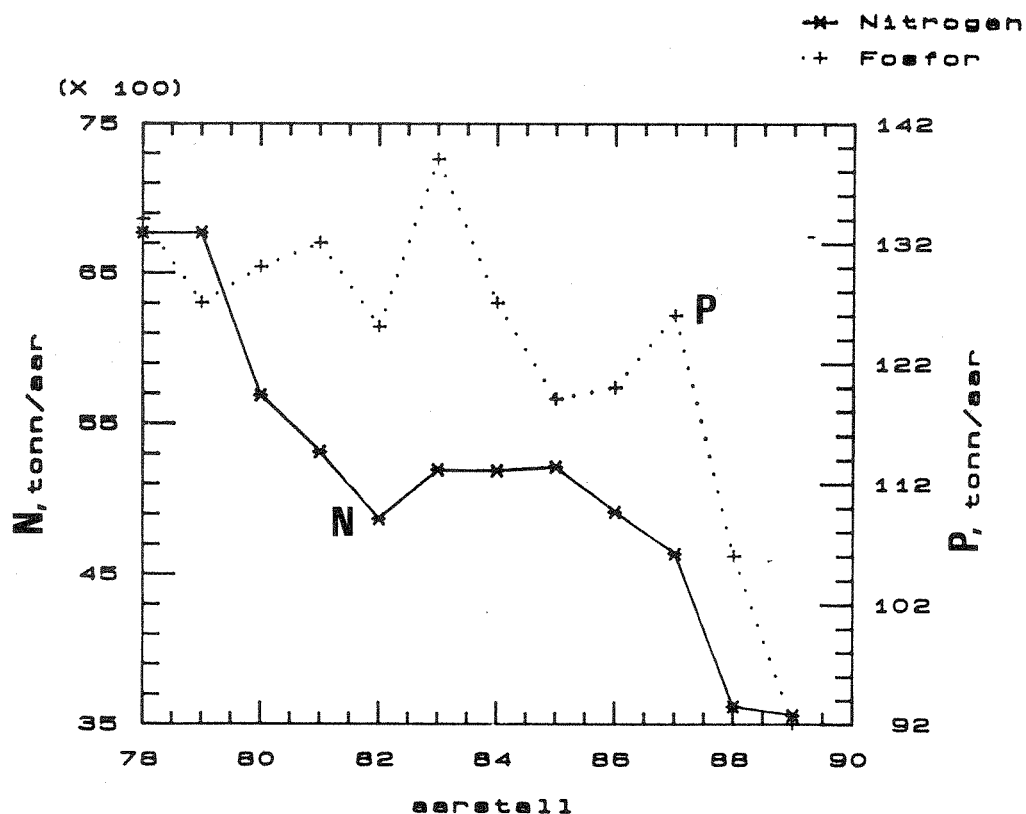


Fig. 1.2. Årlige tilførsler av N og P til Frierfjorden i perioden 1978-1989. Kilde: SFT.

### 1.3. Formål med undersøkelsen i 1989

Den lokale overvåking av Vollsfjorden som blei gjennomført i 1989 har to hovedformål:

1. Å kunne beskrive nåværende belastningstilstand, og å relatere eventuelle endringer fra 1978-79 til endringer i forurensingstilførsler som måtte ha funnet sted i den mellomliggende perioden.
2. Å vurdere vannutskiftingen i Vollsfjorden, og den relative betydningen av lokale forurensingstilførsler, og tilførsler fra Frierfjorden.

I slutten av 1990 vil renseanlegget på Knarrdalstrand stå klart. Både kommunale avløp og avløp fra næringsmiddelindustri ved Vollsfjorden skal overføres til dette anlegget. Dette vil fjerne en stor del av den kjemiske forurensingsbelastningen. Rensingen er ledd i en plan for å utvikle Vollsfjorden i retning av friluftsområde, med de økte krav til vannkvalitet som dette medfører.

Foreliggende rapport vil kunne utgjøre en del av grunnlaget for en framtidig fjordbruksplan for hele Grenlandsfjord området. Det skal også utarbeides en særskilt tiltaksanalyse for Vollsfjorden. Opplysninger om eksisterende tilstand i fjorden skal danne grunnlag for en videre prioritering av tiltak for å kunne opprettholde tilfredstillende vannkvalitet i framtida. Sentralt her er "Miljøpakka for Grenland", som bl. a. har som målsetning å oppnå badevannskvalitet i Vollsfjorden innen 1994.

Eksisterende datamateriale fra Vollsfjorden vil også utgjøre en referanse m.h.t. evaluering av iverksatte og framtidige rense- eller forurensingshindrende tiltak.

## 2. FELTARBEID OG DATAINNSAMLING

### 2.1. Tidligere undersøkelser

Den første kjente undersøkelsen av tilstanden i Vollsfjorden blei utført i forbindelse med den 3-årige basisundersøkelsen av Grenlandsfjordene som foregikk i tidsrommet 1974-76 (Molvær m. fl. 1979). Det blei da påvist høye kvikksølvkonsentrasjoner i bunnsedimentene nord for Lauvøyane.

Våren 1977 gjorde NIVA oksygenmålinger i Vollsfjordens ytre del i forbindelse med overvåkingsprogrammet for Grenlandsfjordene. Prøvene blei tatt etter en større dypvannsfornyelse i Frierfjorden, og viste dårlige - kritiske oksygenforhold under ca. 16 m dyp. Det var imidlertid uvisst om dette skyldes påvirkning av gammelt dypvann fra Frierfjorden.

I tidsrommet mai 1978-mai 1979 utførte NIVA en egen resipientundersøkelse av Vollsfjorden på oppdrag av Byingeniøren i Skien (Molvær, m. fl. 1980). Undersøkelsen omfattet vannkjemi, bløtbunnsfauna og bunnsedimenter. Konklusjonen var at fjordområdet var betydelig forurensset, i vesentlig grad fra Frierfjorden. Siktedypet var dårlig hele året. Dypvann og bløtbunnsfauna var preget av dårlige oksygenforhold. Bunnsedimentene var forurensset av metaller og organiske mikroforurensninger som stammet fra Frierfjorden.

Undersøkelsene av vannkvalitet i overflatelag og av oksygenforhold i dypvannet blei fulgt opp i 1980, 1981 og 1982 (Molvær og Skei 1981, Knutzen m. fl. 1982, Knutzen m. fl. 1983). Resultatene underbygget hovedkonklusjonene fra resipientundersøkelsen i 1978-79.

Vinteren 1988 blei det statlige overvåkingsprogrammet for Grenlandsfjordene utvidet til å omfatte en bredt anlagt undersøkelse av eutrofitilstanden i fjordområdet (Molvær m. fl.

1988). En stasjon i Volls fjorden (st. AB1, fig. 1.1), inngikk i denne undersøkelsen som blei avsluttet høsten 1989. Resultatene rapporteres høsten 1990.

## 2.2. Vannkjemiske målinger i 1989

Undersøkelsene blei utført i tidsrommet mai - oktober. Det blei gjennomført i alt fire hovedtokt med fire prøvetakingsstasjoner. Datainnsamling i forbindelse med resipientundersøkelsene i 1989 blei utført av Vannlaboratoriet i Telemark.

Posisjonene for tre av prøvetakingsstasjonene var identisk med de posisjonene som blei benytta av NIVA under den forrige resipientundersøkelsen i 1978-79, h.h.v. AA1, AB1 og AB2. Sistnevnte stasjon er utenfor munningen. Undersøkelsene i 1989 blei utvida med en ekstra stasjon; AA2, for bl. a. å få et mer representativt bilde av forholdene i sentrale deler av fjorden.

Vannprøvene blei innsamla med vannhenter og håndvinsj, sistnevnte med påmontert meterhjul. Siktedyp blei målt med Secchi skive.

Tabell 1 viser parametre som blei samla inn på de ulike toktene i 1989. Blandprøve fra overflatelaget (0-2 m dyp) er tatt på alle stasjonene. Næringssalt-resultatene består av nitrat, fosfat, ammonium, Tot-N og Tot-P. TOC (totalt organisk karbon i vannfasen) foreligger det kun sporadiske resultater fra. Grunnlaget for sammenlikning med tidligere år for denne parameterens vedkommende er derfor naturligvis spinkelt.

Tabell 1. Oversikt over prøvetakingsprogrammet i Vollsfjorden i 1989. X indikerer full profil (flere dyp). (X) indikerer kun ett dyp - blandprøve 0 - 2 m. Toktnr refererer seg til datoene 16/5, 16/6, 31/8 og 3/10 1989. N-salt representerer næringssaltene Tot-N, Tot-P, nitrat, fosfat og ammonium.

		S,T	O <sub>2</sub>	N-salt	BOF	TOC	Klf-a	Sikt
<b>Stasj toktnr</b>								
AA1	1	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)	X
"	2	X	X	X	X	-	X	X
"	3	X	X	X	X	-	X	X
"	4	-	X	X	X	-	X	-
AA2	1	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)	X
"	2	X	X	X	X	-	X	X
"	3	X	X	X	X	-	X	X
"	4	-	X	X	X	-	X	X
AB1	1	X	X	(X)	(X)	X	(X)	X
"	2	X	X	X	X	-	X	X
"	3	X	X	X	X	-	X	X
"	4	X	X	X	X	(X)	X	X
AB2	1	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)	X
"	2	X	X	X	X	-	X	X
"	3	X	X	X	X	-	X	X
"	4	X	X	X	X	-	X	X

I løpet av sommeren var det fire hovedtokt som også inkluderte prøver fra dypere lag. I tillegg er det innsamlet overflateprøver innimellom på stasjon AB1, slik at samlet antall overflateprøver fra AB1 fra mai til oktober er 9 eller 10. Fra stasjon AB1 foreligger det også resultat fra månedlig prøvetaking i overflatelaget fra perioden februar 1988 - april 1989.

### 2.3. Strømmåling

Undersøkelsene i Vollsfjorden i 1989 innbefattet strømmålinger. I følge våre opplysninger er det ikke tidligere gjort strømmålinger i Vollsfjorden. Strømmålingene kan gi nyttige opplysninger om vannutskiftingen på kortere tidsskala i fjorden.

Tabell 2 gir en kortfattet oversikt over omfang av strømmålingene.

Tabell 2. Oversikt over strømmålingene i Volls fjorden sommeren 1989.

Riggposisjon	Bunndyp	Måledyp	Effektiv periode 1989
AB1	35 m	2 m	29/6 1010 - 20/7 0710
AB1	"	20 m	29/6 1030 - 20/7 0730
AB2	45 m	2 m	29/6 1128 - 20/7 0748
AB2	"	20 m	29/6 1128 - 20/7 0648

Målerene var plassert i h.h.v. 2 og 20 meters dyp, i posisjon AB1 og AB2. Strømmålerene var opphengt i en fast forankret rigg, med overflatebøye. Valget av måleposisjoner var gjort ut fra tanken om å få kartlagt strømforholdene både innenfor og utenfor Volls fjorden, og om mulig få avdekket samspillet mellom vannmassene i Friervfjorden og Volls fjorden.

2 meters måledyp var antatt som et midlere dyp for øvre lag i den aktuelle perioden. Strømmen i overflatelaget er ofte vesentlig kraftigere enn dypere nede, med markert strømskjær (hastighetsendring) i nærheten av sprangsjiktet (se Molvær, 1980). Tykkelsen av øvre lag vil variere noe med årstiden, og det kan også oppstå mer kortvarige endringer, f. eks. som følge av sterk nedbør (tilrenning). Ved å plassere måleren et lite stykke under overflaten, vil en unngå måleforstyrrelser p.g.a. overflatebølger.

Målerene som stod i 20 meters dyp gir et bilde av strømforholdene i nærheten av terskeldypet i den aktuelle måleperioden. Det kan der forventes roligere strømforhold enn ved overflaten. Innut strømning over terskelen kan representere utskifting av

dypvannet innenfor terskelen. Oftest er det imidlertid et markert skille (skjær) mellom strømmen like over og like under terskeldypet. Fra like under terskeldypet og ned mot bunn vil vannet i det aller meste av tiden være i ro. Det finnes som oftest et sekundært sprangsjikt inne i fjorden like under terskeldypet.

Til målingene blei det benyttet strømmålere av typen Sensordata SD-2000. Disse instrumentene kan lagre inntil 2000 målinger i et internt elektronisk minne. Instrumentene registrerer sjøtemperatur, i tillegg til strømhastighet- og retning. I dette tilfellet var instrumentene programmert til å registrere hvert 20. minutt. Målerriggene blei klargjort av NIVA og satt ut/tatt opp av personer fra Vannlaboratoriet i Telemark. Vi har ikke fått opplysninger om observasjoner som kan tyde på uregelmessigheter ved målerne eller riggene. Datagjenfangsten var 100%.

### 3. DATAPRESENTASJON

#### 3.1. Strømmålinger

##### 3.1.1. Middelstrøm

Resultat av strømmålingene har vi valgt å framstille grafisk, som strømfordelings-"roser" og tidsserieplott.

Fig. 3.1.1. og 3.1.2. viser strømfordelings-"roser" for observasjonene fra de forskjellige instrumentene, h.h.v. for rigg AB1 og AB2. Disse rosene gir et bilde av middelstrømmen basert på hele måleserien, med gir ingen informasjon om tidsutviklingen (dynamikken).

#### **Forklaring til strømfordelingsrosene**

Fordelingsrosene er laget på grunnlag av "opptelling" av strømobservasjoner i forskjellige retningsintervaller. Antall observasjoner innenfor hvert intervall framkommer i rosen til venstre. Rosen til høyre viser midlere strømstyrke innenfor hvert intervall. Denne gir ikke noe reelt bilde av middelstrømmen. Viss f. eks. et intervall har kun én observasjon, og denne representerer uvanlig kraftig strøm, vil utslaget i rosen til høyre bli stort, men intervallets bidrag til det midlere strømbildet er lite (husk kun én observasjon av i alt 2000 for hele serien).

I rosen i midten er fluksen (= transporten som strømmen representerer) innenfor hvert intervall presentert. Denne rosen er midlere strømstyrke innenfor intervallet (= rosen til høyre) ganget med antall observasjoner innenfor intervallet (= rosen til venstre). Rosen i midten gir derfor et bilde av middelstrømmens retning og styrke, og er således i vår sammenheng den viktigste.



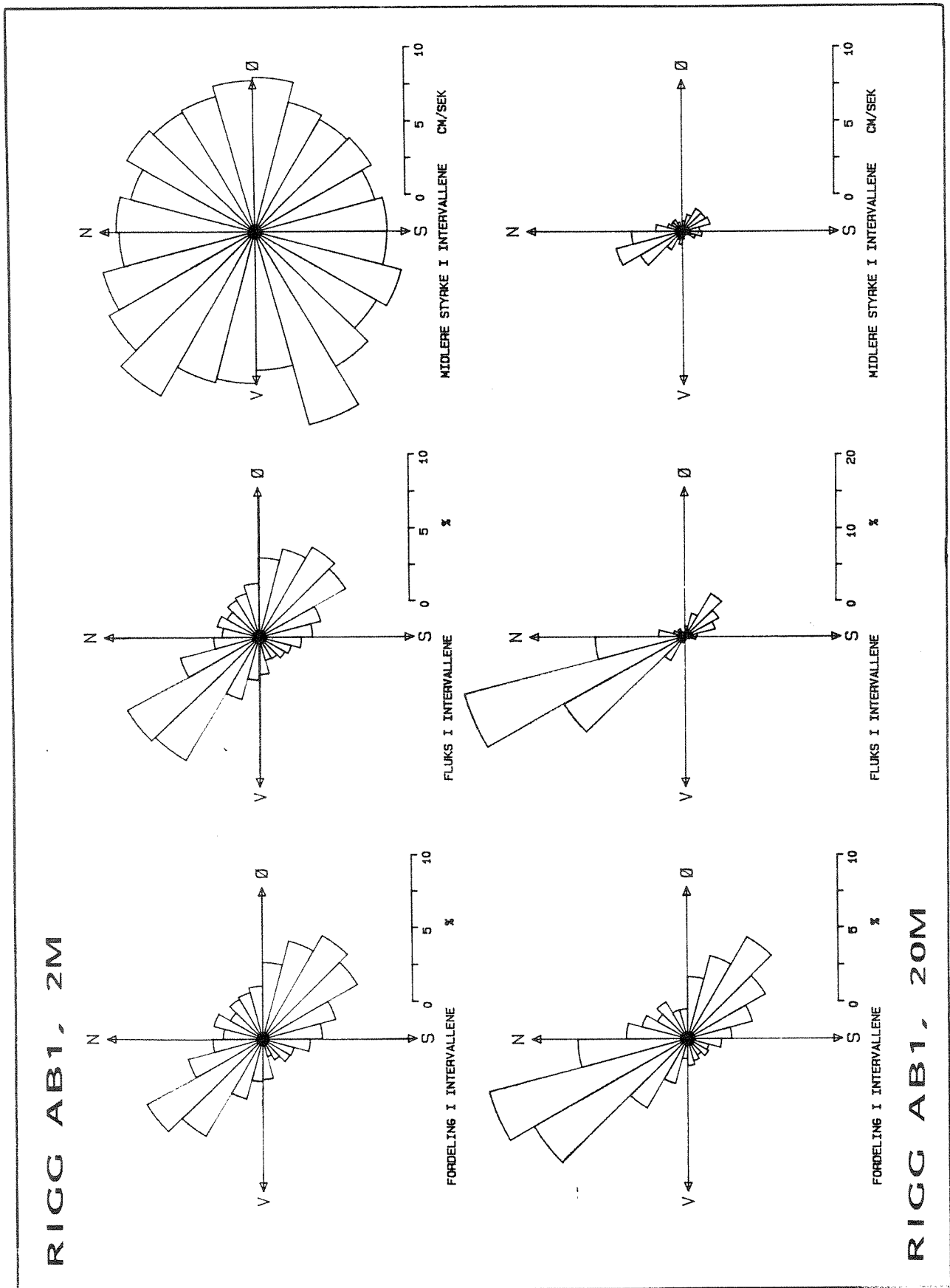


Fig. 3.1.1.

Strømobservasjonene fra 2 meter (øverst) og 20 meters dyp på stasjon AB1 i 1989, fordelt i retningsintervaller. Se avsnitt 3.1.1 for forklaring av framstillingsmåten.

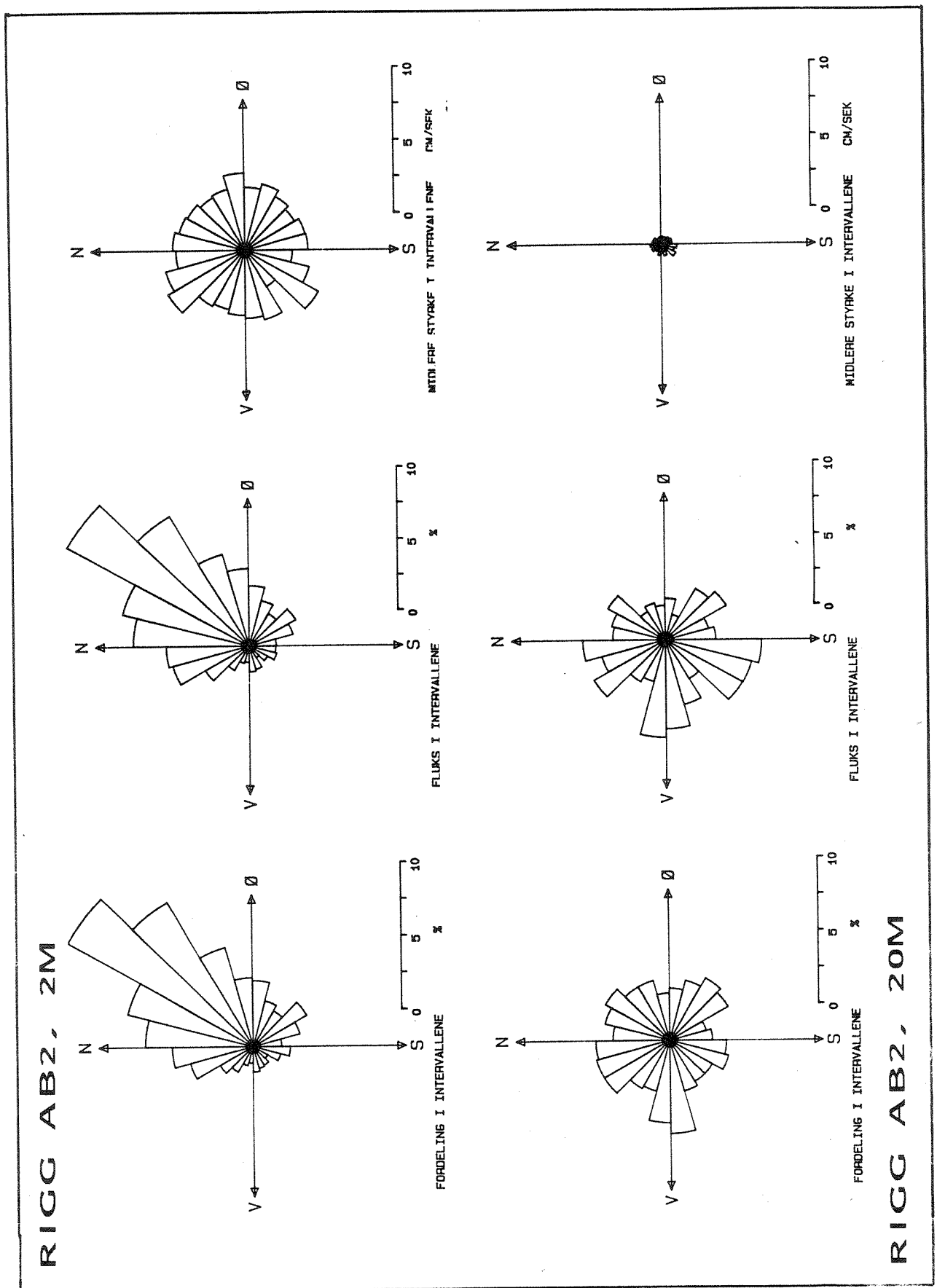


Fig. 3.1.2. Strømobservasjonene fra 2 meter (øverst) og 20 meters dyp på stasjon AB2 i 1989, fordelt i retningsintervaller. Se avsnitt 3.1.1 for forklaring av framstillingsmåten.

## RESULTAT

### Rigg AB1, innenfor terskelen

I 2 meters dyp (fig. 3.1.1. øverst) har middelstrømmen en hovedakse i retning NV-SØ. Dette er temmelig nært retningen for den topografiske lengdeaksen inn-ut Volls fjorden. Dette virker rimelig ut fra generelle betraktninger om strøm, og indikerer at strømmåleren har fungert bra i måleperioden (ikke hengt seg opp e.l.).

Middelstrømstyrken for innoverrettet og uttoverrettet strøm er tilnæmet lik, ca 10-12 cm/sek. Dette faktum, sammen med den observerte retningssymmetrien, indikerer at strømmen i 2 m dyp i Volls fjorden i måleperioden har vært vekselvis innover og utoverrettet. Dersom fjordsirkulasjonen var markert påvirket av ferskvannstilrenning (estuarin sirkulasjon) eller vind med retning ut fjorden, ville en ha observert en relativt større utoverrettet fluks. Forbehold må her taes om at våre målinger virkelig er representative for det øvre laget, noe som diskuteres i avsnitt 3.1.2.

I 20 meters dyp (fig. 3.1.1. nederst) er også hovedstrømaksen rettet i fjordens lengdeakse. Hastighetene i dette dypet er som ventet vesentlig lavere enn ved overflaten. Strøm rettet inn fjorden er kraftigst, med midlere styrke 2-3 cm/sek. Strømmen er ikke retningssymmetrisk som ved overflaten. Volumfluksen rettet inn fjorden er større enn den utoverrettede. Siden målingene er gjort ned mot terskeldypet, tyder dette på at det må foregå en tilsvarende utoverrettet strøm lenger oppe i vannsøylen, som i middel opprettholder en konstant volumfluks ved utløpet av fjorden. Mer om dynamikken diskuteres seinere.

### Rigg AB2, utenfor terskelen

I 2 meters dyp (fig. 3.1.2 øverst) er middelstrømmen av nordøstlig retning. Dersom strømforholdene ved AB2 er vesentlig påvirket av inn- eller utstrømming fra Volls fjorden kan dette indikere at denne strømmen i området ved AB2 entrer Volls fjorden sørvest for riggen, og at utstrømmende vann fra Volls fjorden går langs nordsiden av munningsområdet og videre i østlig retning. Dersom jordens rotasjon (Coriolis-effekten) var viktig i munningsområdet, skulle en forvente utstrømming på sørsiden og innstrømming i nord.

Corioliseffekten kan imidlertid være svak i forhold til andre effekter, f. eks. utstrømmingen fra Skienselva (fig. 1.1). Den såkalte Rossby deformasjonsradius for Volls fjorden er av størrelsesorden 10 ganger fjordbredden, og indikerer dermed liten Corioliseffekt. Ut fra kartet kan en tenke seg at vannet fra Skienselva først strømmer vestover, og så dreier i en sirkelbevegelse sørover og ut Frierfjorden. Dette kan da generere en sirkulær vannbevegelse rettet med klokka utenfor munningen av Volls fjorden. En slik sirkelbevegelse er også registrert (J. Molvær, pers. komm.).

I 20 meters dyp (fig. 3.1.2 nederst) konstaterer vi at strømmen er svært svak (for det meste under deteksjonsgrensen på 1.5 cm/sek for instrumentet). P.g.a. dette sløyfes kommentarer med hensyn til middelstrøm etc., da usikkerheten er stor.

#### 3.1.2. Tidsvariasjon

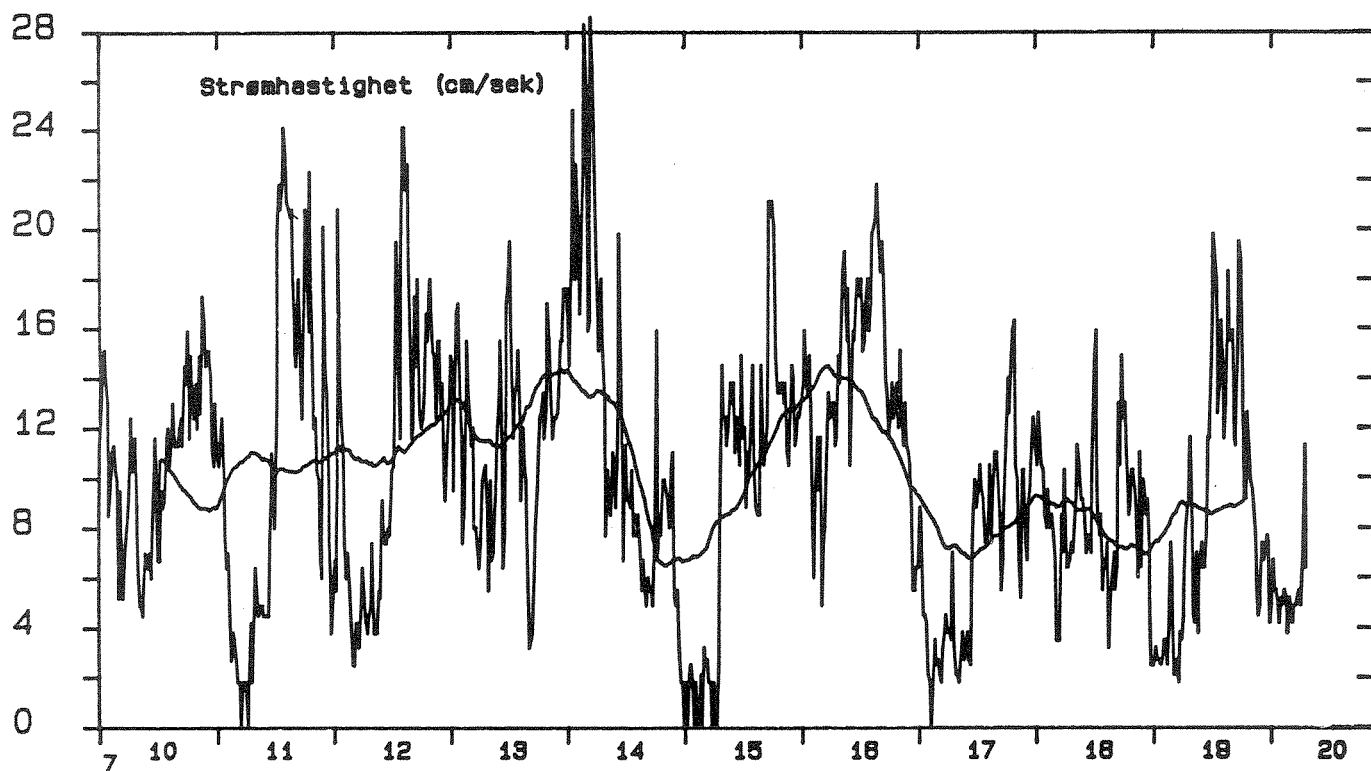
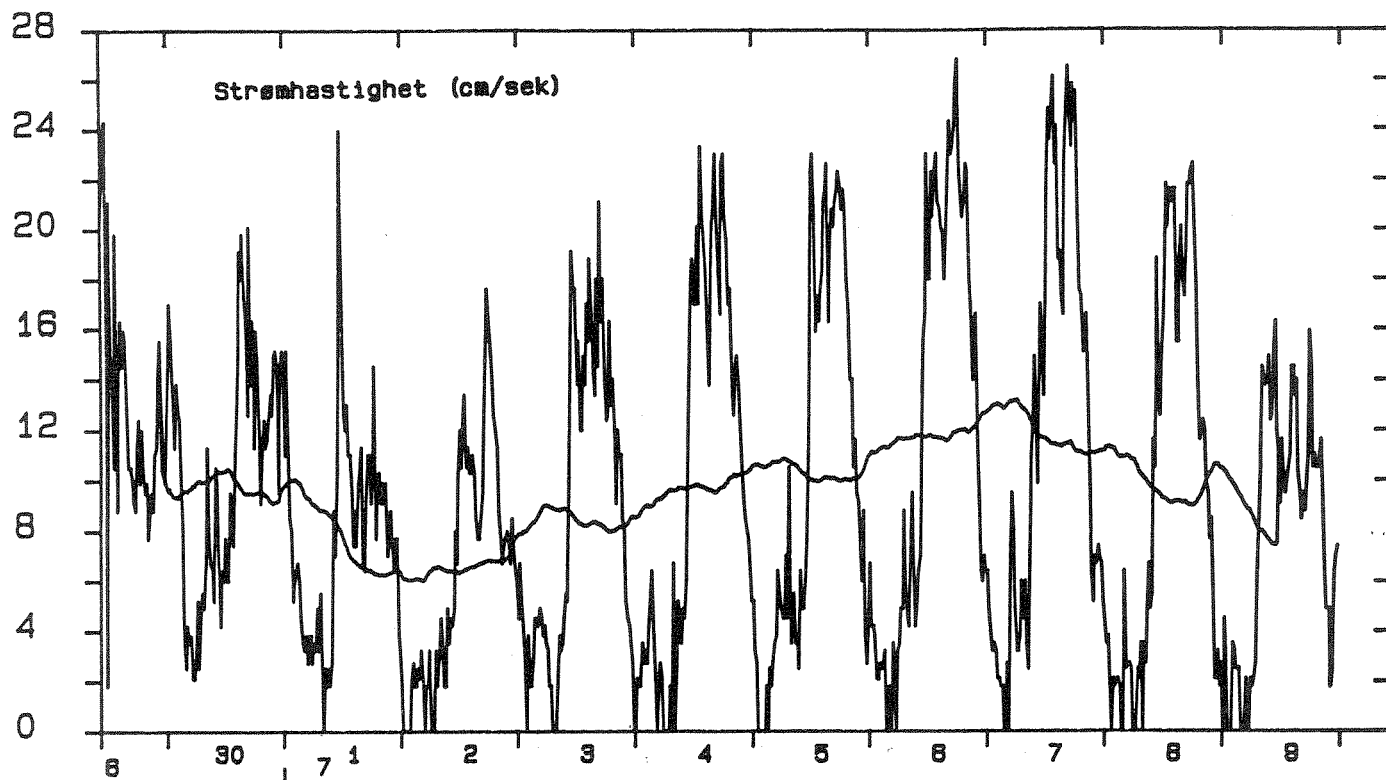
Tidsforløpet for strømhastighet er vist i fig. 3.1.3 - 3.1.6. I øvre lag (2 meter) viser strømmen sterk og regelmessig variasjon i de første to ukene av observasjonsserien. Høyeste hastighet inne i Volls fjorden var ca. 25 cm/sek, eller om lag det dobbelte for observasjonene utenfor fjorden. Både innenfor og utenfor fjorden er det daglige perioder med strøm ned mot null styrke.

Varigheten for disse periodene kan tidvis være av noen timers varighet.

Den dominerende perioden i de nevnte variasjonene er heldaglig, med et typisk strøm-minimum om natten, og maksimum om ettermiddagen. Denne formen for regelmessighet kan indikere at andre effekter enn tidevannet har kontrollert strømbildet i denne måleperioden. Tidevannsdominans ville ha medført en faseforskyving på knapt en time pr. dag, eller 1/2 døgn i løpet av nevnte periode. Teoretisk midlere tidevannstrøm i området ved AB1 er også relativt liten. Størrelsesordenen er 1-2 cm/sek om en regner med at tidevanns-inn/ut-strømming fordeler seg jevnt over hele vannsøylen over terskelnivået. Dette er vesentlig mindre enn de faktisk observerte strømhastighetene. Månefasene (nymåne og fullmåne h.h.v. 3/7 og 18/7) synes heller ikke å ha gitt utslag i strømmålingene.

Det er rimelig å anta at daglige variasjoner i vindforhold (solgangsbris), eventuelt i sjiktningsforholdene, har påvirket observasjonene i denne delen av måleperioden (jamfør også diskusjon om temperaturmålingene i neste avsnitt). Meteorologiske observasjoner fra Grenlandsområdet (SFTs kontrollstasjon) viser i tilsvarende periode en typisk døgnvariasjon i vind, med retning 250°-300° (fra vest-nordvest) om natten, og østavind om ettermiddagen. Perioden hadde også relativt høye dagtemperaturer, noe som til en viss grad kan ha påvirket sjiktningen i øverste lag av Volls fjorden.

Strømmen i 2 meters dyp i Volls fjorden var tilsynelatende 180° ut av fase med denne "solgangsbrisen" i den aktuelle perioden. Ettermiddagen hadde utgående strøm, mens om kvelden og natten strømmet det inn fjorden. Dette kan indikere at det vannsjiktet som strømmåleren stod i, representerte et kompensasjonslag for strømmen i det vindpåvirkede øverste laget.



AB1-2M

Fig. 3.1.3. Tidsserie av observert strømfart (cm/sek) på stasjon AB1 i 2 meters dyp i perioden 29/6-20/7 1989. Den glattede kurven representerer midling over 25 timer.

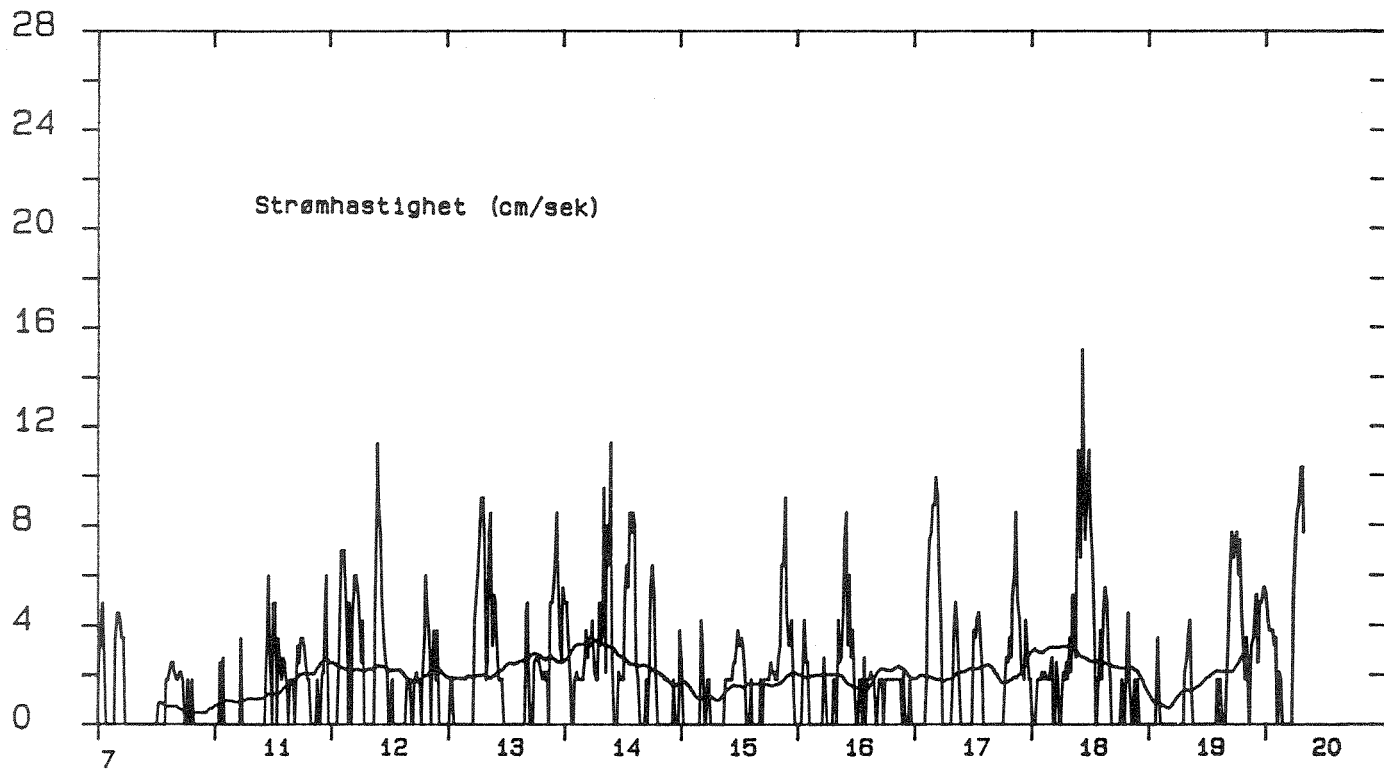
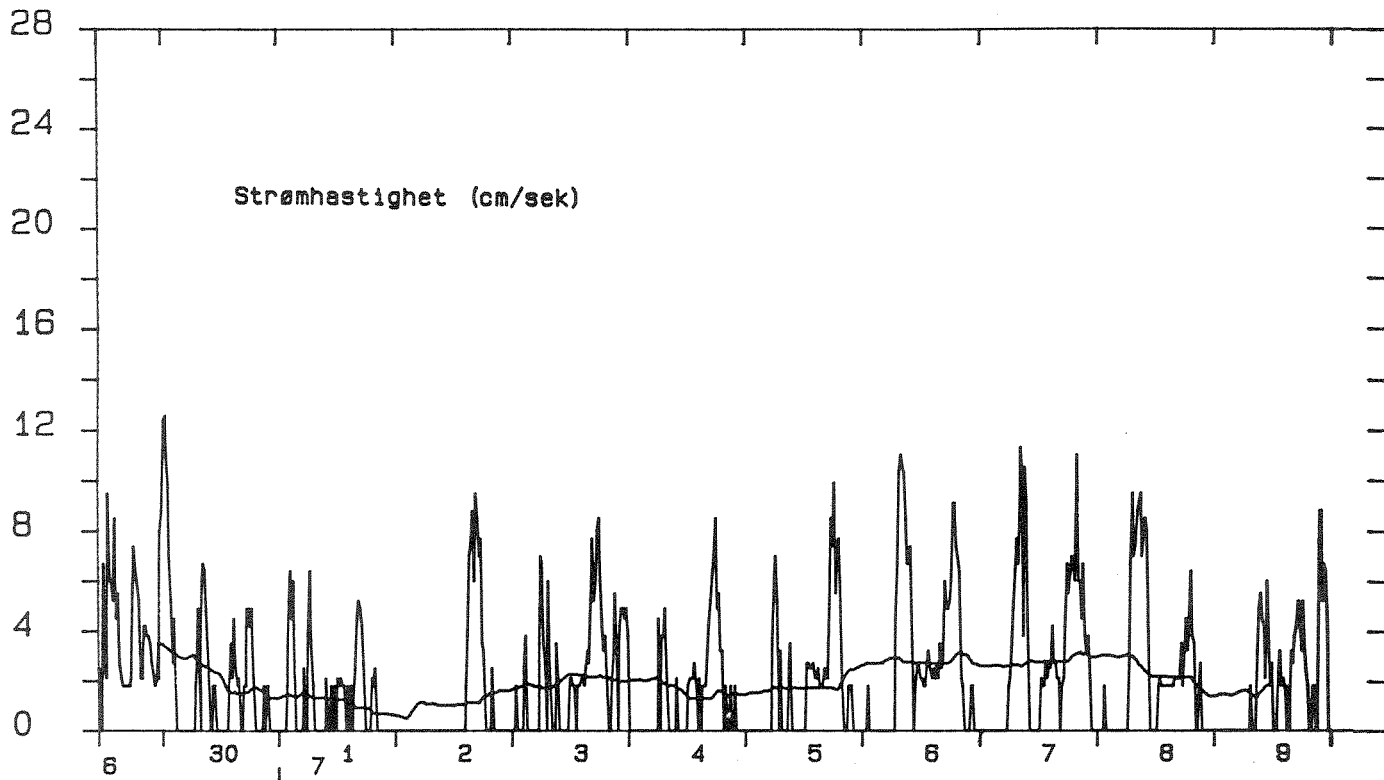
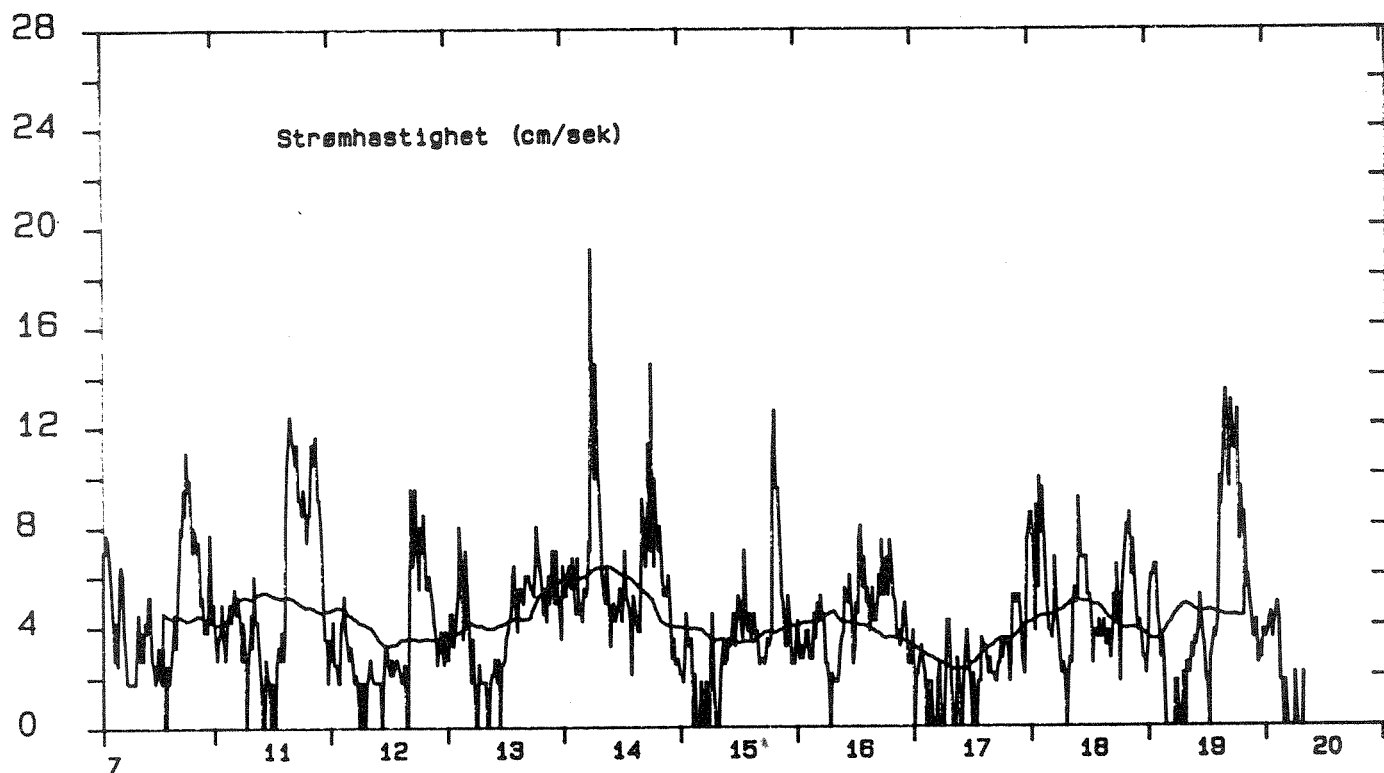
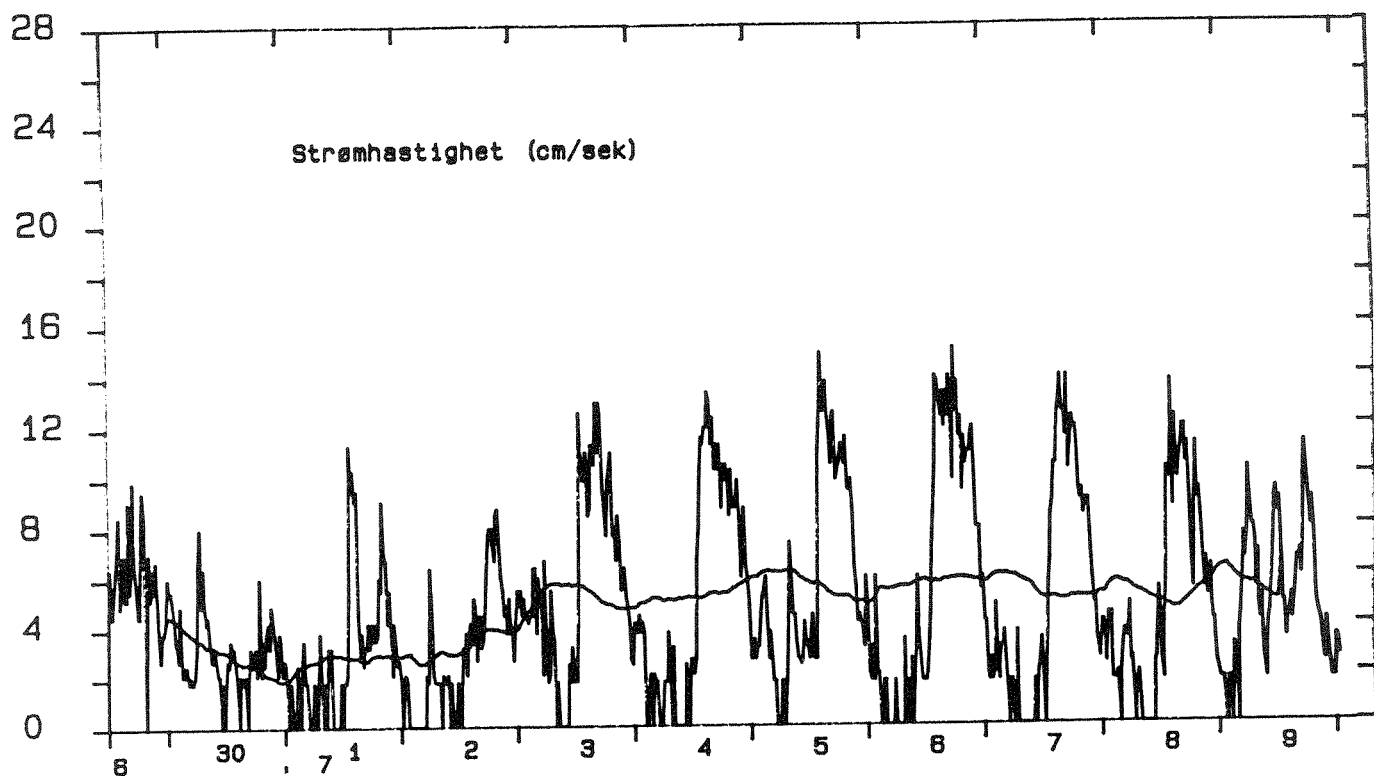
**AB1-20M**

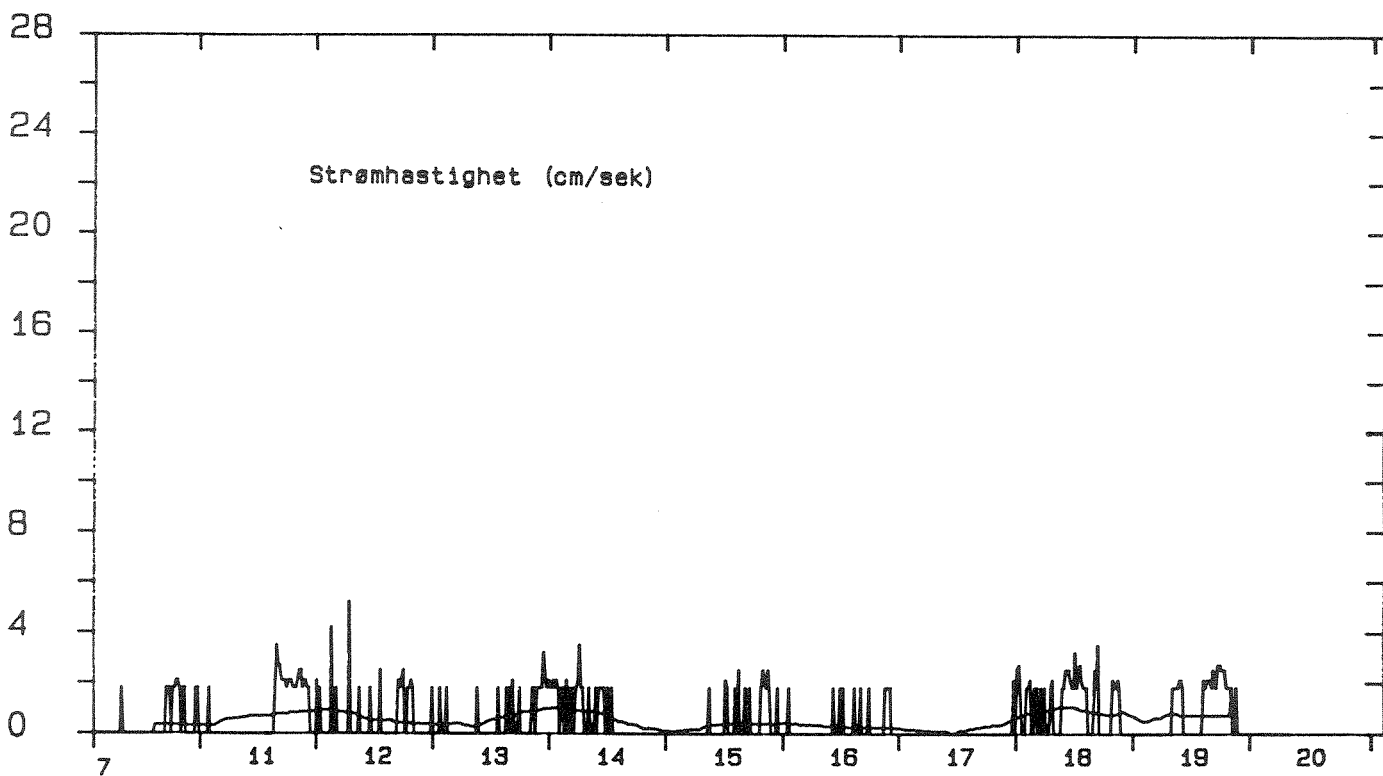
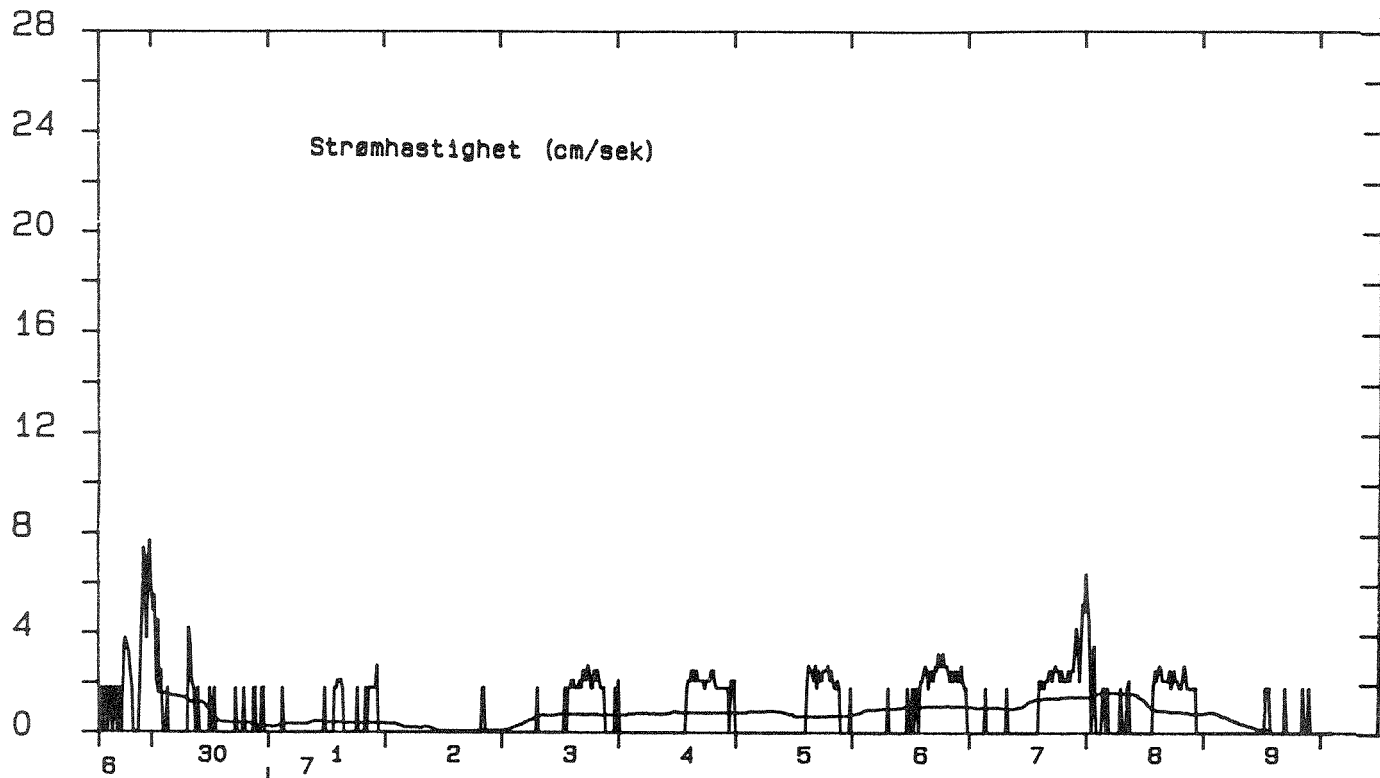
Fig. 3.1.4. Tidsserie av observert strømfart (cm/sek) på stasjon AB1 i 20 meters dyp i perioden 29/6-20/7 1989. Den glattede kurven representerer midling over 25 timer.



AB2-2M

Fig. 3.1.5. Tidsserie av observert strømfart (cm/sek) på stasjon AB2 i 2 meters dyp i perioden 29/6-20/7 1989. Den glattede kurven representerer midling over 25 timer.





AB2-20M

Fig. 3.1.6. Tidsserie av observert strømfart (cm/sek) på stasjon AB2 i 20 meters dyp i perioden 29/6-20/7 1989. Den glattede kurven representerer midling over 25 timer.

Vi har viet en viss oppmerksomhet på tolking av strømbildet i øvre lag i den nevnte "godvårsperioden". I en slik periode, med høye temperaturer, er fjorden mest attraktiv som rekreasjonsområde og til bading. Likeså er det i en slik periode at uøskede effekter av bakteriell og biologisk aktivitet (algeoppblomstring) lettest kan skje, særlig p.g.a. høy temperatur i sjøen.

I 20 meters dyp er det signifikant strøm inne i Volls fjorden, med midlere styrke ca. 2 cm/sek, og maksimalstyrke opp i 10-12 cm sek. Varigheten av periodene med svak eller null strøm er av størrelsesorden 3 timer til over et døgn (en episode). Grovt sett følger middelstrømmen i 20 meter samme relative forløp som i 2 meter inne i fjorden. Den midlede kurven i fig. 3.1.3 og 3.1.4 viser at perioder med h.h.v. lav og høy styrke er rimelig korrelert i tid.

Utenfor fjorden, i posisjon AB2 (fig. 3.1.6.) er det svak strøm i 20 meters dyp. En viss periodisitet kan spores, med et maksimum i strøm om ettermiddagen, m.a.o. sammenfallende med observert maksimum i 2 meter. Middelstrømmen er av størrelsesorden 1 cm/sek (usikkert anslag). Typisk daglig maksimumshastighet er 2 cm/sek.

## 3.2. Hydrografi og kjemiske data

### 3.2.1. Hydrografi

De hydrografiske observasjonene fra 1989 består av vertikalprofiler av salinitet og temperatur. Disse gir et inntrykk av lagdelingen, og av eventuell tidsvariasjon. Vertikalprofilene er tatt såpass sjelden at en ikke får et fullstendig bilde av variasjoner i sprangsjiktsdyp m.m. I tillegg til disse dataene registrerte strømmålerne også temperatur, slik at en fra disse har tre uker lange tidsserier av temperatur, som presenteres nedenfor.

### Tidsserier

Tidsseriene av temperatur for strømmålingsperioden er presentert i fig. 3.2.1 og fig. 3.2.2. På begge stasjoner varierte temperaturen i 2 meters dyp mellom 14° og 21°. Temperaturkurvene fra 2 meters dyp viser en økende tendens den første uken av juli, med verdier over 20° den 7/7. Dette er sannsynligvis en effekt av godværsperioden i denne uken. Det framtrer en tydelig døgnsyklus i 2 meters dyp, med en max. amplitude rundt 1-2°. Nærmere overflaten må døgnvariasjonene ha vært vesentlig større. I 2 m dyp er det ikke særlig forskjell i temperaturutviklingen på AB1 og AB2. Døgnvariasjonen i den nevnte perioden var noe større på AB2, men i dette dypet kan selv små forskjeller i faktisk måledyp (evt. forskjell i riggarrangement eller i oppdrift av overløpebøyen) ha resultert i ulikt måleresultat.

I 20 meters dyp er temperaturkurvene vesentlig flatere. Verdiene varierte mellom 8° og 10°, og det er liten forskjell mellom AB1 og AB2. AB2 (utenfor terskelen) har et noe høyere nivå av småskala variasjon, trolig som følge av mer turbulens/mixing der.

Et karakteristisk temperaturmaksimum opptrer 8/7 på begge stasjoner i 20 meters dyp, med AB2 6-7 timer før AB1. I 2 meters dyp opptrådte maksimumet 7/7 på AB2 og 8/7 på AB1, med om lag 26 timers mellomrom. Dersom maksimumet i 20 meter var en direkte effekt av den nylige soloppvarmingen, skulle en med den relativt sterke sjiktningen (se neste avsnitt) ha ventet en større tidsforskyving mellom temp. maksimum i 2 meter og 20 meter enn det observasjonene indikerer.

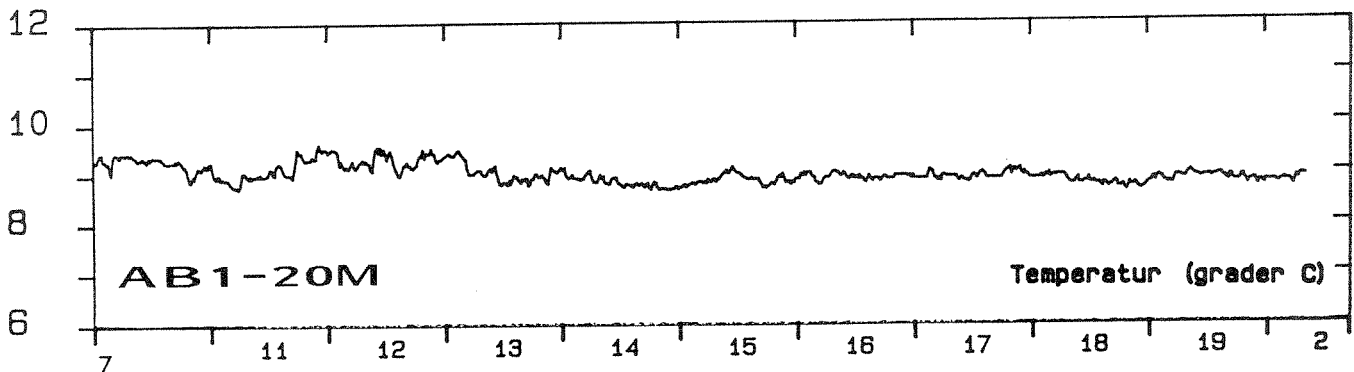
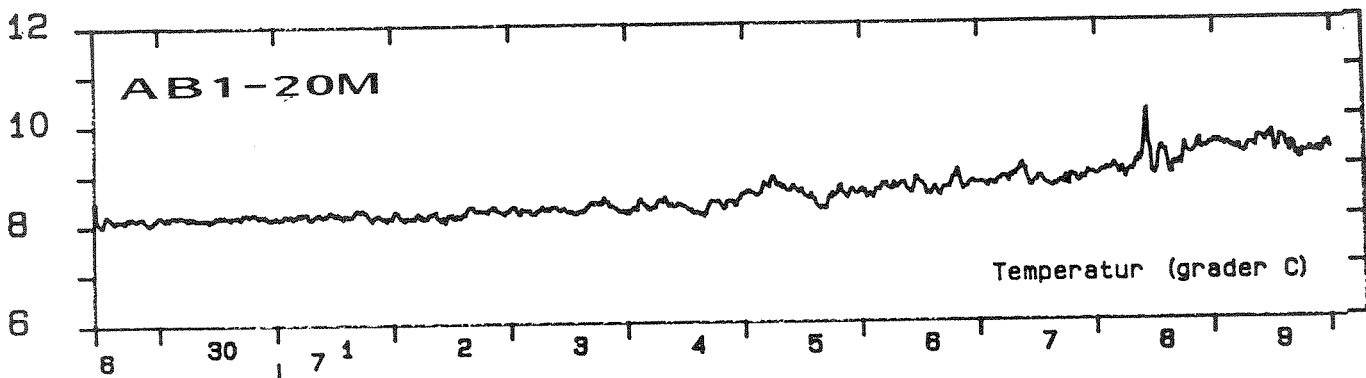
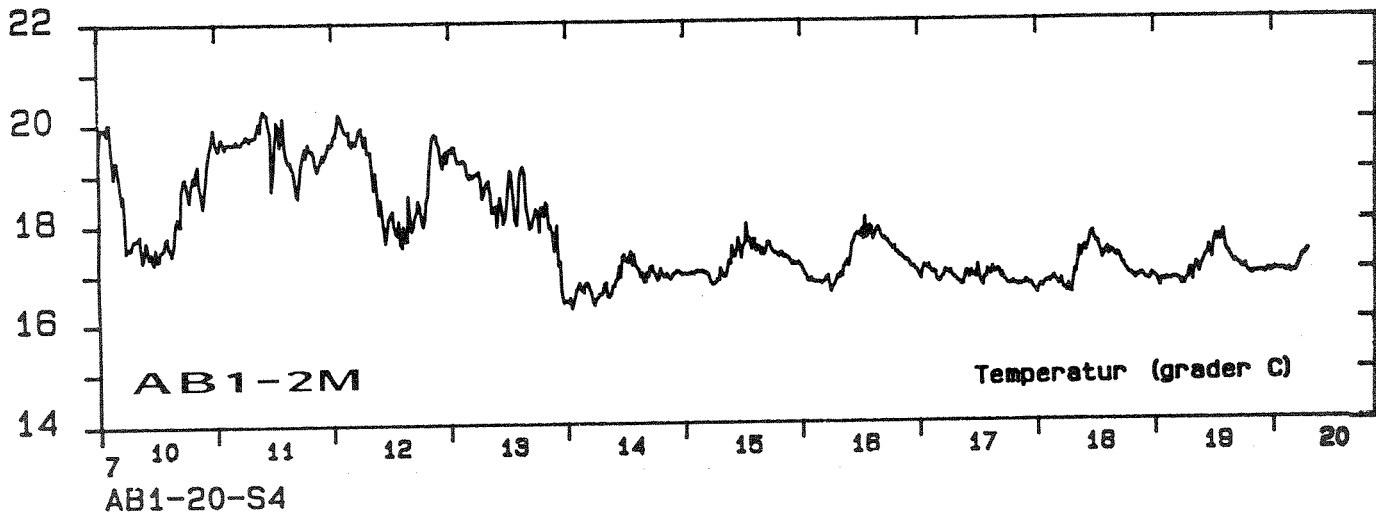
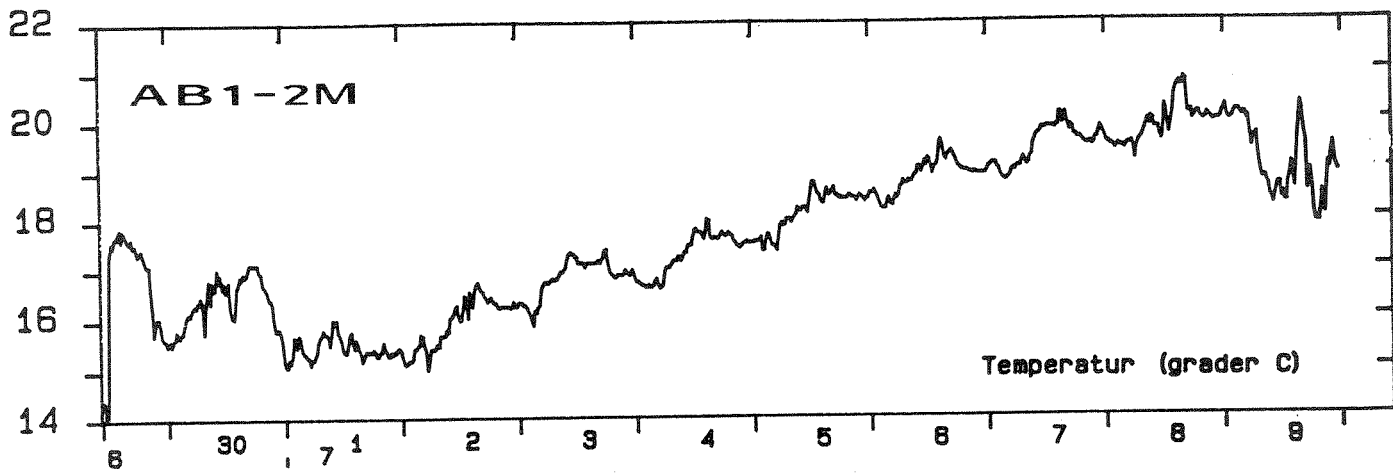
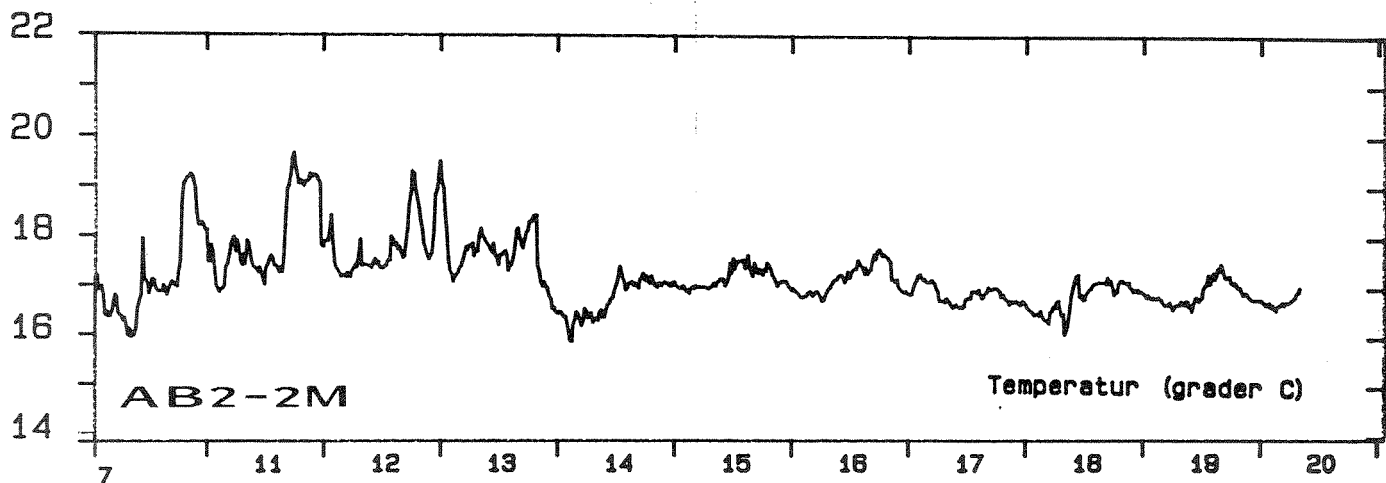
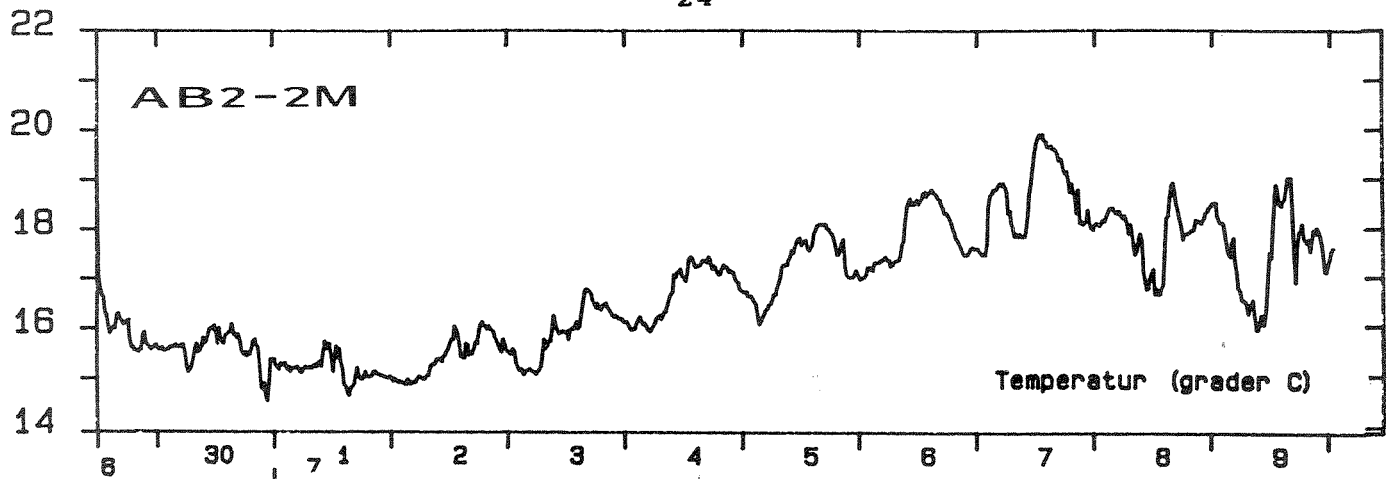


Fig. 3.2.1. Tidsserier av målt temperatur i 2 meter (øverst) og 20 meters dyp på stasjon AB1 i perioden 29/6-20/7 1989.



AB2-20-S3

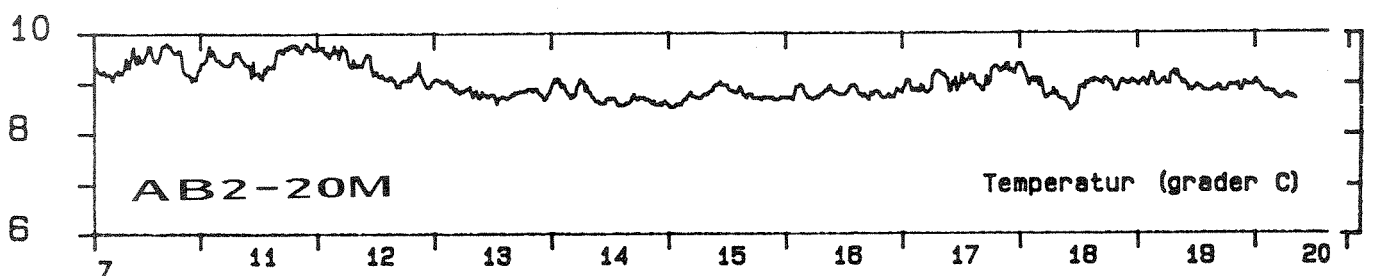
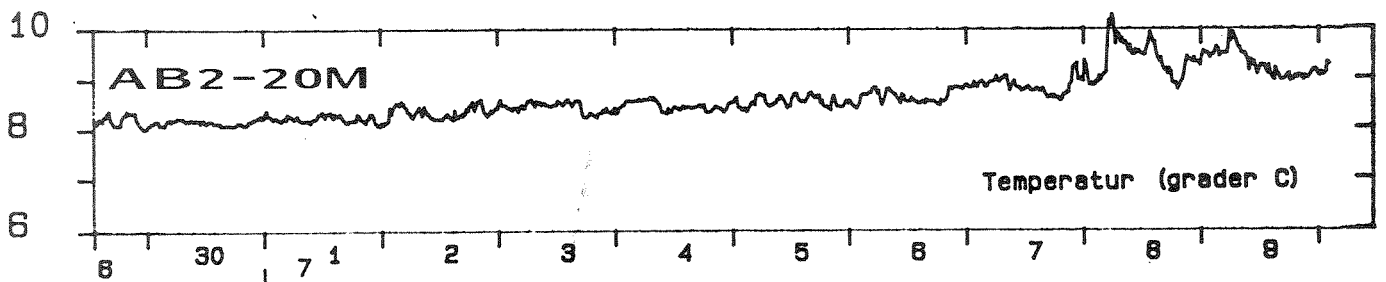


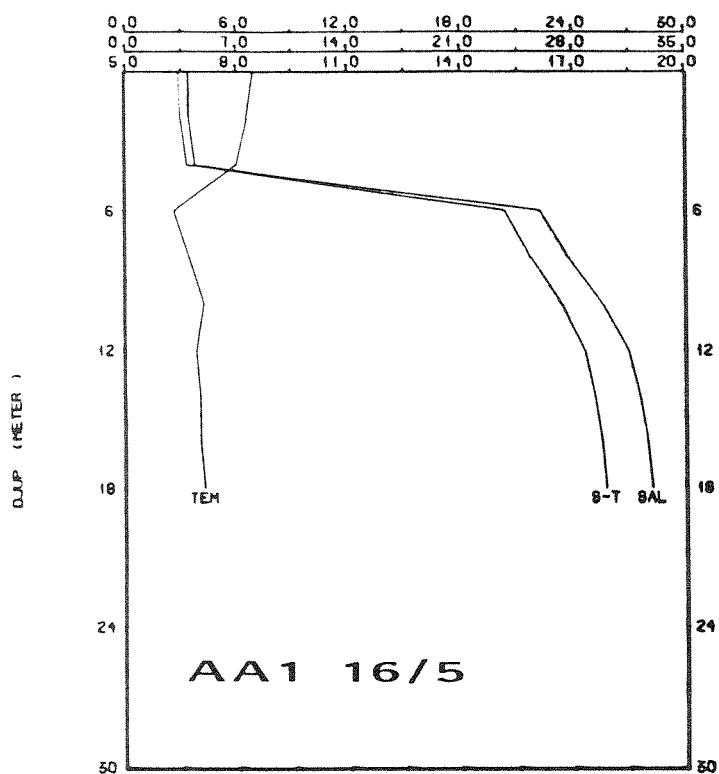
Fig. 3.2.2. Tidsserier av målt temperatur i 2 meter (øverst) og 20 meters dyp på stasjon AB2 i perioden 29/6-20/7 1989.

Tidsforskjellen på 6-7 timer for temp.-maksimum representerer en horisontal adveksjonshastighet anslagsvis lik 4 cm/sek, basert på en avstand lik 1000 meter mellom AB1 og AB2. Forut for, og under den nevnte episoden med temperaturmaksimum, var strømmen på AB2 nordgående, og varierende mellom 2 og 7-8 cm/sek (fig. 3.1.6). Det synes derfor rimelig at denne konkrete episoden dokumenterer en kommunikasjon mellom dypere vannmasser i Frierfjorden og Vollsfjorden, og at slik kommunikasjon iallefall tidvis skjer fra Frierfjorden og inn i Vollsfjorden, med markert innstrømningshastighet.

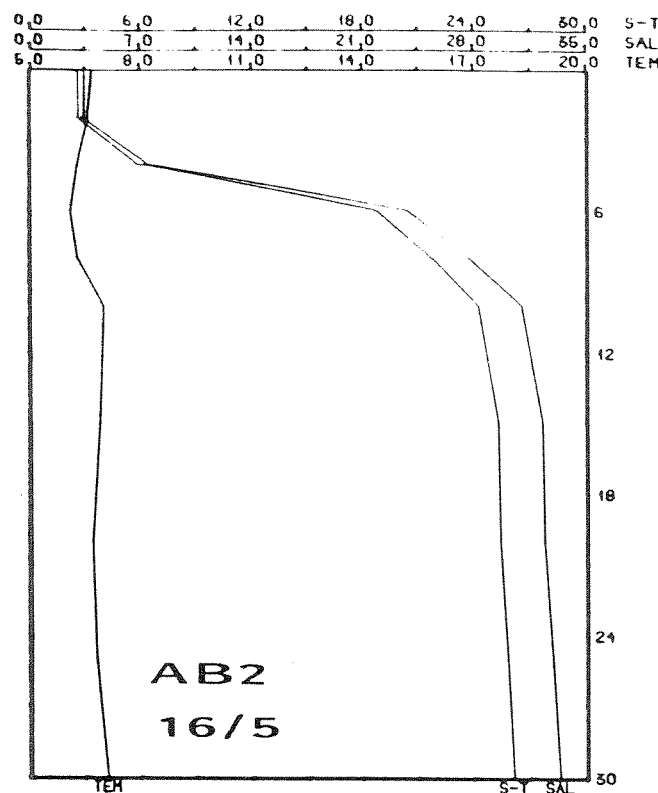
### Vertikalfordeling

Fig. 3.2.3 viser vertikalfordeling av salinitet og temperatur, samt beregnet tetthet for sjøvannet, for datoene 16/5 og 31/8 på stasjon AA1 og AB2. Disse utvalgte eksemplene representerer tilstand før og etter sommerens oppvarming av øvre vannsøyle. Oppvarmingen i øvre vannsøyle er essensiell for temperaturavhengige biologiske og kjemiske prosesser der. Når det gjelder tetthetssjiktningen, er det endringer i salinitet som mest påvirker denne. Under de rådende hydrografiske forhold i øvre del av vannsøylen vil eksempelvis en 3% endring i salinitet medføre like stor endring i tetthet som en 50% endring av temperaturen!

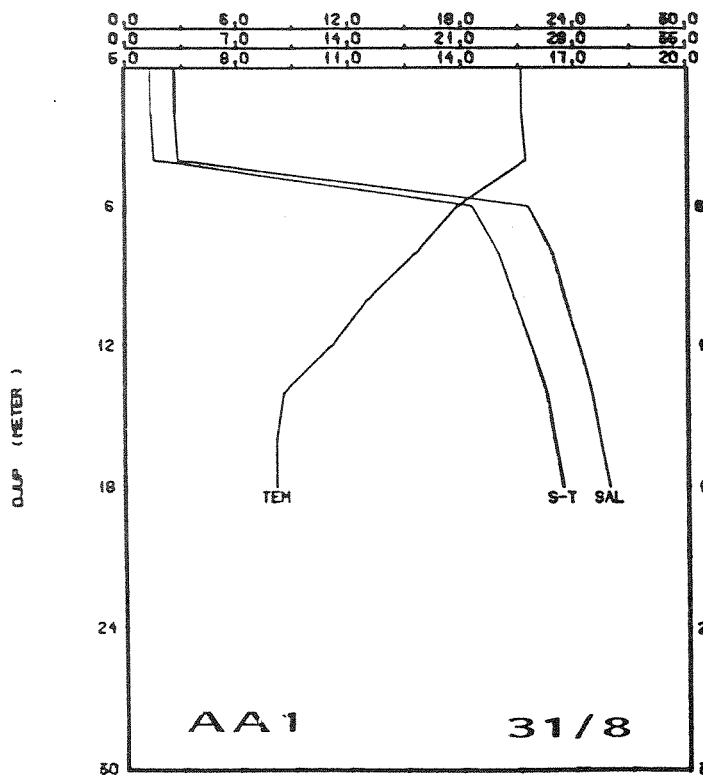
Inne i Vollsfjorden (stasjon AA1), såvel som i Frierfjorden, indikerer fig. 3.2.3 og øvrige målinger at øvre lags tykkelse ikke varierer særlig gjennom måleperioden mai til oktober. Tykkelsen ligger innenfor intervallet 3-5 meter, med 4 meter som typisk. Selve sprangsjiktet begrenser seg til et snevert dybdeintervall av 1-2 meters tykkelse. Juli- og august-dataene hadde tildels et noe mer kontinuerlig sjiktet øvre lag (en viss forskjell mellom verdiene i 0 og 2 meter).



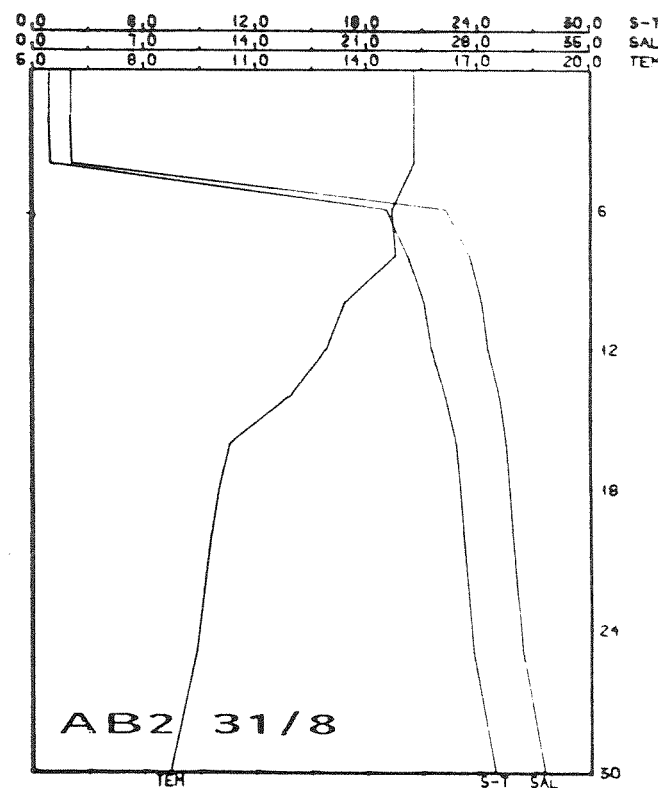
VERTIKAL PROFIL: Vollefjord 1989  
 STNR 1 ; POS: 10.000°N 100.000°E ; DATO: 89. 5.16 ; 12. 0



VERTIKAL PROFIL: Vollefjord 1989  
 STNR 12 ; POS: 6.667°N 10.000°E ; DATO: 89. 5.16 ; 12. 0



VERTIKAL PROFIL: Vollefjord 1989  
 STNR 8 ; POS: 6.667°N 100.000°E ; DATO: 89. 8.31 ; 12. 0



VERTIKAL PROFIL: Vollefjord 1989  
 STNR 14 ; POS: 6.667°N 100.000°E ; DATO: 89. 8.31 ; 12. 0

Fig. 3.2.3. Vertikalprofiler av salinitet (SAL), temperatur (TEM) og sjøvanns-tetthet (S-T) på stasjon AA1 og AB2 h.h.v. 16. mai og 31. august 1989.

Mektigheten til brakkvannslaget vil avhenge av ferskvannstilrenningen. Fig. 3.2.4 viser månedlig gjennomsnitt for den daglige vannføringen i Skienselva (ved Skotfos) i 1978 og 1989. For perioden mai-oktober 1989 hadde mai måned høyest daglig gjennomsnitt ( $306 \text{ m}^3/\text{sek}$ ). og september lavest ( $137 \text{ m}^3/\text{sek}$ ). Perioden mai-juli hadde større vannføring i 1978 enn i 1989.

Saliniteten i brakkvannslaget holdt seg rundt  $3-4^\circ/\text{oo}$  både i og utenfor Volls fjorden gjennom sommeren 1989. I oktober var det en merkbar økning til rundt  $10^\circ/\text{oo}$ , noe som kan skyldes vind-effekter, men som også kan være resultat av den lave registrerte vannføringen i september (fig. 3.2.4).

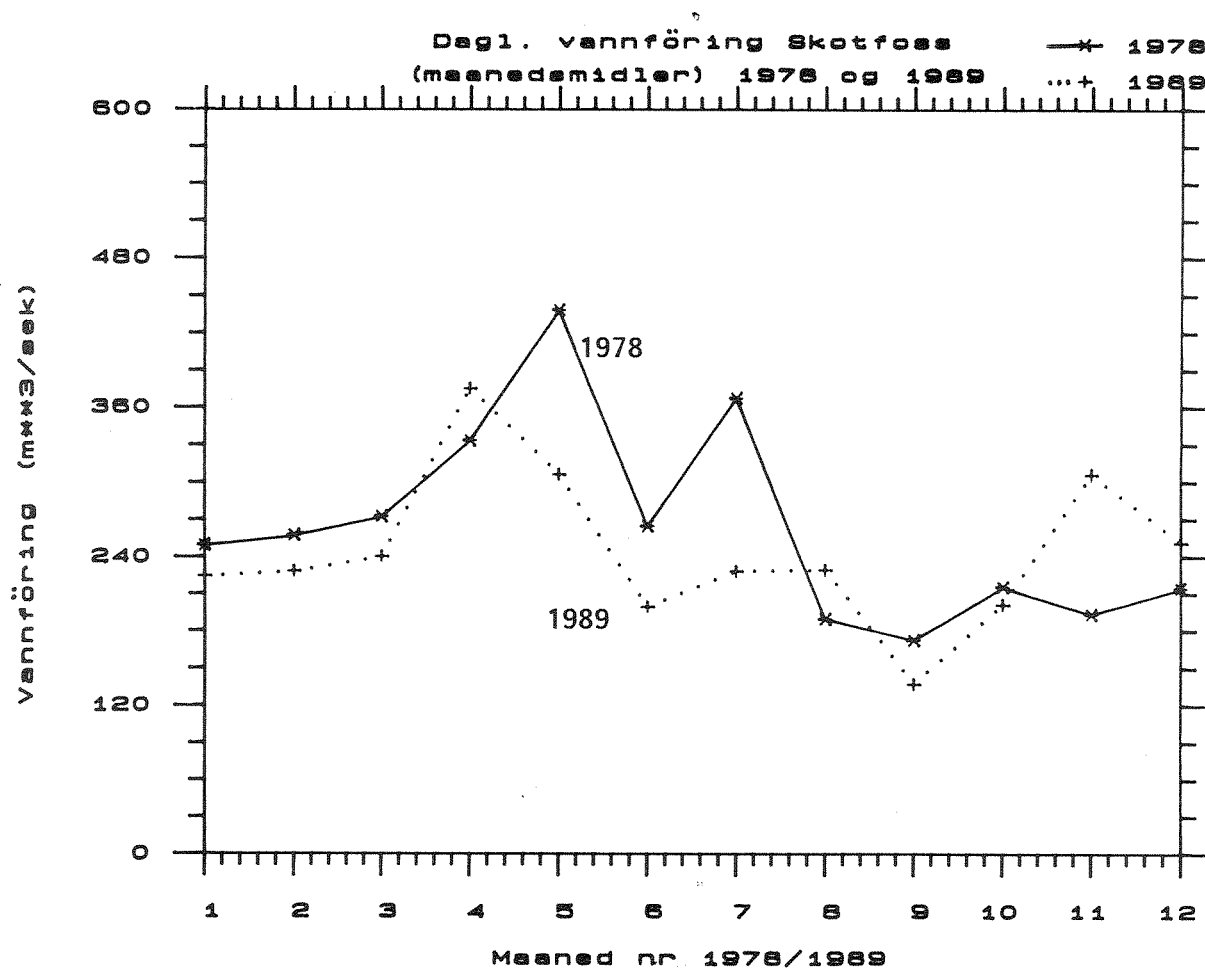


Fig. 3.2.4. Midlere daglig vannføring i Skienselva (månedsmidler) for 1978 og 1989.



Typiske verdier for øvre lag var 1-3 promille salinitet, og temperaturer varierende mellom 8-9°C og 16-17°C. Dypvannet hadde liten variasjon i salinitet og temperatur. De høyeste salinitetene (og tetthetene) blei målt i mai. En videre jamføring med tidligere innsamlede data følger i kapittel 4.

### 3.3. Kjemiske data

Oversikt over måleprogram og analyserte parametre blei gitt i avsnitt 2.2. Det innsamlede materialet i 1989 er for noen parametre såpass begrenset at en fortolkning av evt. tidsvariasjon kan bli usikker. Vi følger parameterinndelingen som Molvær m.fl. (1980) benyttet i forrige NIVA-rapport fra Vollsfjorden. For å danne seg best mulig grunnlag for sammenlikning av materialet mot dataene fra 1978-79, skiller vi derfor mellom øvre lag (0-2 meter), og dypvann når det gjelder næringssalter. Oksygen behandles separat i samband med vurdering av dypvannskvalitet.

Vi presenterer her analyseresultatene, etterfulgt av en kort diskusjon. Videre sammenlikning med tidligere innsamlede data og samlet vurdering følger i kapittel 4.

#### 3.3.1. Overflatelaget

Vi gjengir analyseresultater for de viktigste parametrene i form av tabeller, der minimumsverdier, maksimumsverdier, middel samt antall prøver fra mai til oktober h.h.v. i 1978 og 1989. For stasjon AB1 foreligger det resultat fra månedlig prøvetaking for perioden februar 1988 - april 1989. Disse måleresultatene vil også bli berørt i diskusjonen.

Tabell 3.1. Analyseresultat for **Tot-P** ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate-  
laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	8	7		6	10	6		8
Max.	21	18		9	18	17		12
Midd.	15	13		10	14	10		10
ant.	6	4	0	4	6	10	0	4

Tabell 3.2. Analyseresultat for **PO<sub>4</sub>-P** ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate-  
laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	<2	3		2	<2	<1		2
Max.	8	15		9	6	9		7
Midd.	<3.5	8.3		4	<2	2		5
ant.	6	4	0	4	6	10	0	4

Tabell 3.3. Analyseresultat for **Tot-N** ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate-  
laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	375	384		492	345	482		314
Max.	1700	595		625	1900	655		643
Midd.	817	498		540	863	564		494
ant.	5	4	0	4	5	10	0	4

Tabell 3.4. Analyseresultat for  $\text{NO}_3\text{-N}$  ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate-  
laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	340	200		210	260	174		200
Max.	440	290		285	430	310		290
Midd.	386	260		244	377	258		261
ant.	6	4	0	4	6	10	0	4

Tabell 3.5. Analyseresultat for  $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate-  
laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	10	35		30	15	8		30
Max.	580	130		265	800	189		200
Midd.	223	71		94	235	80		78
ant.	6	4	0	4	5	10	0	4

Tabell 3.6. Analyseresultat for TOC ( $\text{mg/l}$ ) i overflatelaget  
for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.	3.45				3.3			
Max.	6.2				6.2			
Midd.	4.3	4.0		4	4.4	5		4.2
ant.	6	1	0	1	6	1	0	1

Tabell 3.7. Analyseresultat for Klf-a ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflate- laget for perioden mai til oktober 1978 og 1989.

	AA1		AA2		AB1		AB2	
	1978	1989	1978	1989	1978	1989	1978	1989
Min.		2.2		2.1		1.4		1.6
Max.		11.0		9.7		9.5		10.5
Midd.		5.1		5.0		5.3		4.3
ant.	0	4	0	4	0	10	0	4

### Omtale av tabellverdiene

#### Fosfor og nitrogen

Nivåene (middelverdiene) for Tot-P og Tot-N synes, der hvor det er sammenlikningsgrunnlag (stasjon AA1 og AB1) å ha vært lavere i 1989 enn i 1978. Reduksjonen dreier seg om 35-40 % for Tot-N, og 10-30 % for Tot-P. Også maksimumsverdiene var vesentlig lavere i 1989.

De høyeste Tot-P verdiene i 1989 opptrådte for øvrig i juni. For stasjon AB1 var juniverdiene for 1989 høyest blant alle verdiene målt fra og med februar 1988. For Tot-N var høyeste målte verdi i løpet av sistnevnte periode på AB1 lik 869 (mars 1989), altså ca. 30 % høyere enn maksimumsverdien for perioden mai-oktober 1989, men vesentlig lavere enn maksimumsverdien fra 1978 (tabell 3.3).

Også for nitrat og ammonium var det et vesentlig lavere nivå i 1989 enn i 1978, særlig for ammonium. Reduksjon i middelverdi dreier seg om ca. 70 % for ammonium og 30 % for nitrat. Også maksimumsverdiene var redusert i tilsvarende forhold. Nitrat utgjorde den vesentligste bestanddelen av Tot-N i 1989 (50-60 %). I 1978 utgjorde ammonium en vesentlig større andel av Tot-N enn i 1989 (30 %, resp. ca. 15 %). De tabellerte middelverdiene for AA1 og AB1 for 1978 og 1989 er vist i figur 3.3.1.

N-salt, sesongmiddel i øvre lag (0-2m)  
Vollsfjord AA1 mot Frierfjord AB1

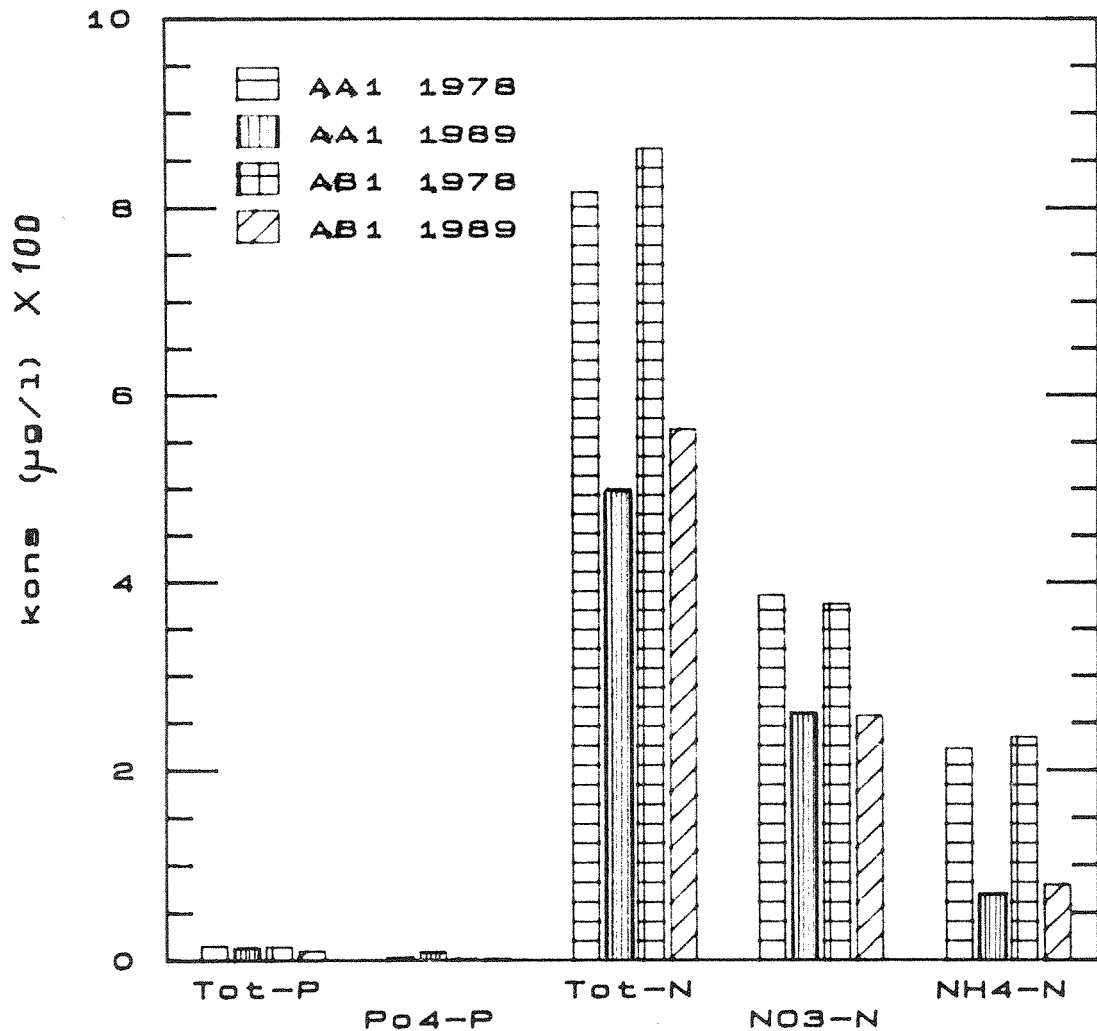


Fig. 3.3.1. Søylediagram av middelveier for nitrogen- og fosforforbindelser for stasjon AA1 og AB1 (0-2 meter) i 1978 og 1989.

#### TOC

For TOC er sammenlikningsgrunlaget relativt spinkelt. Om en betrakter verdier tatt noenlunde til samme tidspunkt i 1978 og 1989, er det uvesentlig forskjell på AA1, og en viss økning (25%) på AB1.

### Klorofyll

Klorofyllnivået hadde middelerverdier rundt 5 i 1989. Det er ikke sammenlikningsgrunlag fra samme periode i 1978. Høyeste verdi var i 1989 i juni på alle stasjonene, med verdier rundt 10  $\mu\text{g/l}$ .

### Siktedyp

Siktedypsverdiene (fig. 3.3.2) hadde et minimum i juni, og økte så gradvis utover sommeren 1989 på alle stasjonene. Juni-verdiene var mellom 2 og 2.5 meter. Verdiene i oktober var rundt 6 meter. I august hadde Volls fjorden bedre sikt enn Frierfjorden, 8.5 meter mot 5.3 meter. Verdiene i juni 1989 må sies å være lave, om enn litt høyere enn de laveste verdiene som ble målt i 1978 (1.5-2).

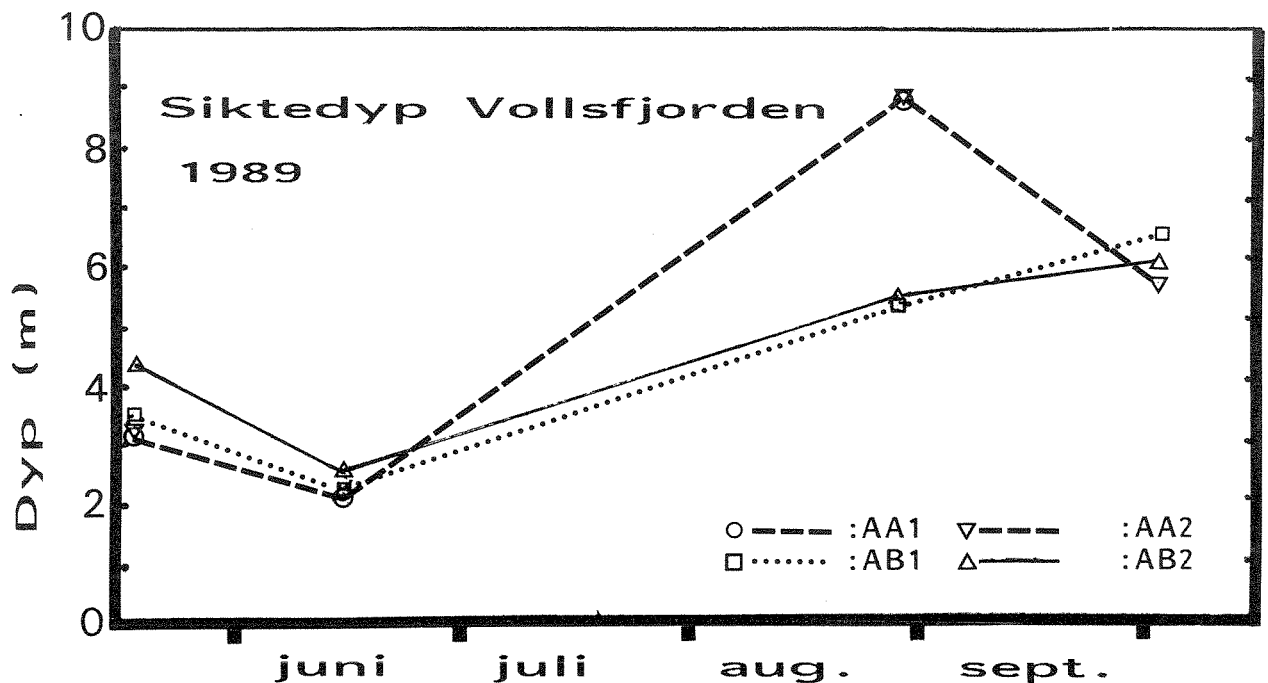


Fig. 3.3.2. Observerte siktedypsverdier i Volls fjorden og Frierfjorden i 1989. Ingen målinger på AA1 i oktober. Stasjon AB2 representerer Frierfjorden.

## 3.3.2. Dypvannet

OKSYGEN

Som indikator på redusert dypvannskvalitet er oksygeninnhold en egnet parameter, se Molvær m. fl. (1980). Tabell 3.8. viser laveste og høyeste observerte oksygenverdi, samt middelvei for de fire prøvetakingsseriene i perioden mai-oktober 1989.

For stasjon AA1 var laveste verdi i 1989 2.42 ml/l (i 16 meters dyp i august). I 1978 blei laveste verdi i 16 m dyp målt i november (1.7 ml/l), mens august- og septemberverdiene var h.h.v. 3.3 og 2.2 ml/l. I 1989 var det en oksygenreduksjon til og med august, hvoretter verdien økte igjen til 2.7 ml/l i oktober. I store trekk synes oksygenforholdene å ha vært ganske like innerst i Vollsfjorden i de to måleperiodene i 1978 og 1989. De nevnte forskjellene kan skyldes såvel endret belastning som ulike utskiftingsforhold de to årene.

Lenger ute i Vollsfjorden, på stasjon AB1, var oksygenforholdene i 1989 bedre enn på AA1 (tabell 3.8). I 16 meters dyp, var forholdene vesentlig bedre. Laveste verdi der var 3.73 ml/l (oktober). I største dyp, 27 meter, var laveste verdi 2.98 ml/l, i august. I oktober hadde bassengvannet fått øket sitt oksygeninnhold til 3.8 ml/l, m.a.o. indikasjon på at en viss dypvannsfornying hadde inntruffet mellom august- og oktobermålingene på AB1, som på AA1.

Tabell 3.8. Oksygenverdier (ml/l) i dypvannet for perioden mai-oktober 1989. Verdiene er avrundet til én desimal.

Stasjon-->	AA1			AA2			AB1			AB2		
	min	midd	max	min	midd	max	min	midd	max	min	midd	max
Dyp ↓												
16m:	2.4	2.9	3.9	3.6	4.0	4.5	3.7	4.3	4.8	3.8	4.3	4.6
20m:	-	-	-	3.2	3.7	4.3	3.5	4.1	4.6	3.7	4.2	4.5
27m:	-	-	-	-	-	-	3.0	3.4	3.8	-	-	-
30m:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	3.6	4.1

I Frierfjorden, representert ved stasjon AB2, varierte verdiene i 30 meter mellom 3.2 og 4.1 ml/l i måleperioden i 1989. Tilsvarende variasjon i 20 meter var 3.7 - 4.5 ml/l. Sammenliknet med stasjonene i Volls fjorden, var Frierfjord-verdiene i sammenliknbare dyp høyere i 1989.

#### NÆRINGSSALTER

I 1978 var Tot-N verdiene i dypere lag i Volls fjorden vesentlig lavere enn i overflatelaget. I 1989 var denne forskjellen mellom overflate og dypvann mye mindre (50-60% høyere i overflaten). Nivået for dypvannsverdiene var ikke vesentlig endret, og lå rundt 300 µg/l i begge perioder. Det var liten variasjon fra måned til måned i begge periodene. I 1989 var Tot-N nivået i dypvannet (16 m dyp) sammenliknbart på stasjon AA1 og AB2, mens det i 1978 var vesentlig høyere i Volls fjorden.

For nitrat var dypvannsverdiene omkring halvparten av overflateverdiene på AA1 både i 1978 og 1989. Dette er typisk for en fjord med utslipp/tilførsler av næringssalter til overflatelaget, og der dypvannsutsiftingen er såpass god at vesentlig lokal regenerering og oppkonsentrering av næringssalter i dypvannet ikke skjer. Det synes å være en viss reduksjon i nitratnivå (20-30%) i dypvannet i 1989 i forhold til 1978 på Stasjon AA1. Nivået var i 1989 tilnærmet likt for Volls fjorden og Frierfjorden. For nitrat har vi ikke sammenlikningsgrunnlag med 1978 for Frierfjordens dypvann.

Tot-P (tabell 3.1) hadde ca. dobbelt så høye verdier i dypvannet som i overflaten, både i 1978 og 1989 på stasjon AA1 og AB2. Dette er motsatt av det som var tendensen for Tot-N. På stasjon AA1 var dypvannsverdiene i overkant av 40 µg/l, eller av størrelsesorden 20% høyere enn for tilsvarende dyp i Frierfjorden.

Ammonium-konsentrasjonen avtok generelt sett med dypet både i 1978 og 1989. I Volls fjorden (stasjon AA1) var dypvannsverdiene rundt 10 µg/l. Tilsvarende dyp på AB2 hadde verdier rundt 20, men



i begge tilfeller er det snakk om relativt lave verdier, og for AA1 sitt vedkommende ingen signifikant endring fra 1978.

Klorofyll var ikke målt i 1978. I 1989 blei det tatt prøver ned til 8 meters dyp, altså ikke ned i selve dypvannet. Disse prøvene indikerte generelt sett avtaking med dybden. Høyeste overflateverdi var i juni, med ca 10  $\mu\text{g/l}$  Klf-a.

#### 4. OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

##### 4.1. Strømmålingene fra 1989

Siden det ikke tidligere har vært foretatt strømmålinger i Vollsfjorden, har vi ikke noe direkte sammenlikningsgrunnlag med andre dataserier. Det må forventes at sirkulasjonen er sesongavhengig. Vollsfjorden er tidvis islagt om vinteren, slik at direkte vind-drevet sirkulasjon da er borte. Videre må det forventes sesongmessige svingninger i takt med nedbør (snøsmelting) og lavtrykksaktivitet (vind).

Noen omfattende analyse av strømmålingsdataene ligger ikke innenfor rammen av det foreliggende prosjektet. Det er ikke foretatt noen analyse av meteorologiske data med hensyn til representativitet i forhold til et "normalår".

Målingene som blei utført sommeren 1989 dekker imidlertid deler av den mest utsatte perioden med hensyn til negative effekter av forurensingstilførsler og dårlig vannkvalitet.

Måleresultatene viser at strømmen i øvre lag i posisjon AB1 er relativt sterk (typisk 10 cm/sek), og vedvarende. Dersom måleresultatene er representative, indikerer disse en lav oppholdstid (størrelsesorden 1/2 døgn) for øvre lags vannmasser i de sentrale og ytre deler av Vollsfjorden. Strømmålingene viser at det der kun er kortvarige perioder (2-4 timer) med svak, evt. null strøm. Nødvendigvis må overflatestrømmen være svakere innover mot fjordbunnen, slik at oppholdstiden der er lenger.

Strømmålingene i øvre lag viser at det typisk er god korrelasjon mellom ut-innstrømming innenfor og utenfor terskelen, d.v.s. at instrumentet i 2 meters dyp i posisjon AB2 har oppfanget utstrømmende vann fra Vollsfjorden, og vice versa for innstrømming.

Det er rimelig å anta at en viss resirkulering skjer i området utenfor terskelen. Dersom en med-urs sirkelbevegelse har vært gjeldende i vår observasjonsperiode, har deler av utstrømmende vann blitt blandet med hovedvannmassene i Frierfjorden. Deler vil imidlertid kunne bli resirkulert og gå inn igjen i Volls fjorden.

Strømmålingsresultatene indikerer at den vertikale strømfordelingen er mer komplisert enn kun en to-deling i h.h.v. over og under sprangsjiktet. Under vindperioden første uke i juli hadde strømmen i 2 meter retning mot vinden. Dette indikerer at det vindpåvirkede laget i ytre deler av fjorden er max. 1-1.5 meter dypt, og at det videre nedover, sannsynligvis til sprangsjiktet i ca. 4 meters dyp, genereres en motsatt rettet kompensasjonsstrøm, der vannet gradvis blandes opp i det øverste laget. I så fall skjer det også en vertikal blanding av vannmasser (resirkulering vertikalt), som kompliserer bildet, og vanskeliggjør vurderingen av oppholdstid. Vi har imidlertid for lite data til å kunne gå inn på slike detaljer i strømbildet. Enkle strømkorsforsøk vil sannsynligvis kunne avsløre det faktiske strømningsmønsteret.

#### 4.2. Hydrografi og kjemiske data

##### HYDROGRAFI

De hydrografiske målingene i 1989 indikerer at det gjennom sommeren opprettholdes et brakkvannslag med relativt konstant tykkelse, av størrelsesorden 3-4 meter. Forbehold må her tas om mulige episodepregede endringer i sprangsjiktsdyp som registreringene ikke har oppfanget. Molvær m. fl. (1980) rapporterte tilsvarende tykkelse fra august og utover høsten i 1978, mens mai og juni verdiene da tildels viste høyere verdier, opp i 7-8 meters tykkelse. Dette kan ha sammenheng med større avrenning i mai-juni 1978 enn i mai-juni 1989 (fig. 3.2.4).

I 1989 dataene kan det ikke spores noen signifikant forskjell i hydrografi mellom Volls fjorden og Frierfjorden, i den grad

stasjon AB2 er representativ for Frierfjordens sentrale vannmasser. Begge fjordene har markert brakkvannskaraktistikk. Ferskvannstilrenningen til Volls fjorden er liten i forhold til bl.a. Skiensselvas vannføring (0.7 m<sup>3</sup>/sek og 270 m<sup>3</sup>/sek i gjennomsnitt henholdsvis). Den lave saliniteten i øvre lag i Volls fjorden må derfor være et resultat av blanding/kommunikasjon med brakkvannslaget i Frierfjorden. Dette blei også fastslått av Molvær m.fl. (1980). De relativt høye strømhastighetene som blei målt i 1989, indikerer liten gjennomsnittlig oppholdstid for brakkvannslaget, i alle fall i Volls fjorden.

Vannføringen i Skiensselva (ved Skotfos) i 1989 var på ca. 250 m<sup>3</sup>/sek i gjennomsnitt. Dette er temmelig nær det tidligere refererte gjennomsnittet på 270 m<sup>3</sup>/sek. April og november hadde høyest daglig vannføring (månedsgjennomsnitt) i 1989, og vannføringen i prøvetakingsperioden var moderat (fig. 3.2.4). Ferskvannstilrenningen til Frierfjorden (og Volls fjorden) synes derfor å ha vært omtrent som normal i 1989. Perioden mai-oktober hadde større vannføring i 1978 enn i 1989.

#### KJEMISKE DATA

Vi kan konstatere at nivået for de mest sentrale belastningsindikatorerne var lavere sommeren 1989 enn i 1978. Det må fortsatt tas et visst forbehold om bl. a. ulike klimatiske forhold de to periodene. Ferskvannsinnslaget i øvre lag vil stå i et visst forhold til forurensningstilførslene og til oppholdstiden til brakkvannslaget. Større ferskvannstilførsler **kan** representere større forurensningstilførsler (bl. a. avhengig av årstid), men vil samtidig også innebære større fortynning i brakkvannslaget (mindre oppholdstid). Disse to faktorene gir motsatt innvirkning på konsentrasjons-nivåene av N og P i fjorden.

Den foregående diskusjonen omkring brakkvannskaraktistikk og ferskvannstilførsler synes å indikere at ferskvannspåvirkningen i Frierfjorden og Volls fjorden var minst like stor i 1978 som i 1989. Dette innebærer i så fall at den målte reduksjon i N og

P konsentrasjoner fra 1978 til 1989 neppe alene skyldes bedre blandings- eller utskiftingsforhold i 1989.

Nitrogen og fosforbelastningen for Frierfjorden fra de større enkeltkildene er gradvis avtakende som følge av iverksatte rens tiltak de siste årene, særlig ved Hydro Porsgrunn og Union Bruk. De samlede årlige tilførslene av Tot-N til Frierfjorden fra lokale kilder er redusert med inntil 50 % for nitrogen og 25 % for fosfor (jamfør avsnitt 1.2) fra 1978 til 1989. Det må her bemerkes at tilførsler fra Skienselva som stammer fra områder ovenfor Skotfos ikke er med i SFT's ordinære statistikk for årlige tilførsler til Frierfjorden (avsn. 1.2). Disse tilførslene er vesentlige, og utgjorde i 1988 ca. 50% av Tot-N tilførslene og 30% av Tot-P tilførslene. En mangler imidlertid data for å kunne vurdere eventuelle endringer over tid for dette bidraget.

Forskjellen (reduksjonen) fra 1978 til 1989 for målt konsentrasjon av Tot-N og Tot-P i øvre lag i Vollsfjorden er relativt markant (avsnitt 3.3.1). Den målte reduksjonen (i prosent) er sammenliknbar med den prosentvise reduksjonen i N og P tilførslene fra lokale kilder i samme periode (jamfør avsnitt 1.2). Målt reduksjon i konsentrasjon er mest markert for ammonium (avsnitt 3.3.1). Ammoniumtilførsler skriver seg i det vesentligste fra Norsk Hydro, som i den aktuelle perioden reduserte disse utslippene vesentlig.

Nivåene for N og P var fortsatt høye i Vollsfjorden sommeren 1989, og reflekterer middels til høy belastning av vannmassene. Dette bekreftes av oksygenforholdene i dypvannet i fjorden, som fortsatt (1989) viser overbelastning. Oksygenforholdene var i 1989 lik med, eller litt bedre enn i 1978, og det er fortsatt fare for at kritisk lave oksygenverdier kan oppstå. Spesielt gjelder dette indre deler av Vollsfjorden.

For næringssalter var det relativt liten forskjell mellom overflateverdier i Frierfjorden (stasjon AB2) og Vollsfjorden. Tilførslene av Tot-P og Tot-N til Vollsfjorden utgjør mindre enn

1%, av det som Frierfjorden mottar (Ibrekk og Gulbrandsen, 1989). Selv om en trekker inn betraktninger om belastning i forhold til overflateareal for de to fjordene, eller tilgjengelig vannvolum (jamfør med avsnitt 1.1 og 1.2), peker dette i retning av større (relativ) belastning i Frierfjorden.

Den relativt frie kommunikasjon som tilsynelatende skjer mellom vannmasser i Vollsfjorden og Frierfjorden understreker at det er forholdene i Frierfjorden som i stor grad bestemmer vannkvaliteten i Vollsfjorden. Strømmålingene på stasjon AB1 indikerte en netto inngående strøm i dypvannet, av størrelsesorden 2 cm/s. Denne strømmen må naturlig kompenseres av en netto utgående strøm i øvre lag. Om en regner med konstante N og P konsentrasjoner over året i Frierfjordens dypvann, medfører innstrømmingen tilførsler av størrelsesorden 1000 tonn Tot-N/år og 100 tonn Tot-P/år til Vollsfjorden. Tilsvarende lokale årlige tilførsler er langt mindre (jamfør avsnitt 1.2). Om en antar "steady state" for næringssaltkonsentrasjoner også i Vollsfjorden, er dermed næringssalttransporten rettet ut fjorden tilnærmet lik (bare ca. 1% større enn-) den innoverrettede transporten som strømmålingene indikerer finner sted i nedre lag. Selv om dette kun er et grovt anslag på transportene, understreker tallene betydningen Frierfjordens vannmasser har for vannkvaliteten i Vollsfjorden.

Det er normalt ikke snakk om at konsentrasjonen av noen kjemisk parameter i Vollsfjorden konvergerer mot null, selv om ortofosfat-verdien var lav i noen tilfeller. Om vi betrakter forholdet  $(\text{NO}_3 + \text{NH}_4)/\text{PO}_4$  i øvre lag i 1989, framkommer verdier som langt overskrider det "optimale" N/P masseforholdet på 7.5, og også observerte N/P verdier i såkalt frie vannmasser. Også Molvær m. fl. (1980) rapporterte svært høye N/P forhold i dataene fra 1978. Tilførselstallene for N og P til Frierfjorden har fortsatt (1989) et høyt N/P forhold (av størrelsesorden 40), og er trolig årsak til det tilsvarende høye forholdstallet i fjorden.

Siktedyp blei bare målt 4 ganger i løpet av perioden mai-oktober 1989. De viktigste delene av badesesongen (fra fellesferien og utover i august) har ingen målinger. Bakteriologi blei ikke målt i det hele tatt. Et av helsedirektoratets krav til godt badevann er siktedyp ikke dårligere enn 2-3 meter. I juni var siktedypet i Volls fjorden 2-2.5 m. I mai og slutten av august h.h.v. omlag 3.5 m og 8.5 m. Datamaterialet er imidlertid for spinkelt til å kunne gi en spesifikk konklusjon omkring siktedyp og badevannskriteriet.

## LITTERATUR

- Gulbrandsen, R. og H. O. Ibrek 1989: Overvåking av Grenlandsfjordene. Delprosjekt: Forurensningstilførsler. Rapp. nr. 2253, NIVA, Oslo.
- Knutzen, J., J. Molvær, G. Norheim og J. Skei, 1982: Grenlandsfjordene og Skienselva 1981. Rapport nr. 1422, NIVA, Oslo.
- Knutzen, J., J. Molvær, G. Norheim, B. Rygg, og J. Skei, 1983: Grenlandsfjordene og Skienselva 1982. Rapport nr. 1523, NIVA, Oslo.
- Molvær, J., T. Bokn, L. Kirkerud, K. Kvalvågnes, G. Nilsen, B. Rygg og J. Skei, 1979: Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport nr. 8. Sluttrapport. Rapport nr. 1103, NIVA, Oslo.
- Molvær, J., B. Rygg og J. Skei 1980: Resipientundersøkelse av Volls fjorden, Skien kommune. Rapport nr. 1182, NIVA, Oslo.
- Molvær, J. og J. Skei, 1981: Overvåking av forurensninger i Grenlandsfjordene og nedre del av Skienselva i 1980. Delrapport nr. 2. Vannutskiftning og vannkvalitet. Rapport nr. 1315, NIVA, Oslo.
- Molvær, J., J. Knutzen, T. Kallqvist, K. Næs, B. Rygg og A. Stigebrandt, 1988: Overvåking av Grenlandsfjordene 1988. Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene og kystvannet utenfor. O-8000312, NIVA, Oslo.



Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, Korsvoll  
0808 Oslo 8

ISBN 82-577 -1683-9