



Statlig program for forurensningsovervåkning

Rapport 450|91

Oppdragsgiver

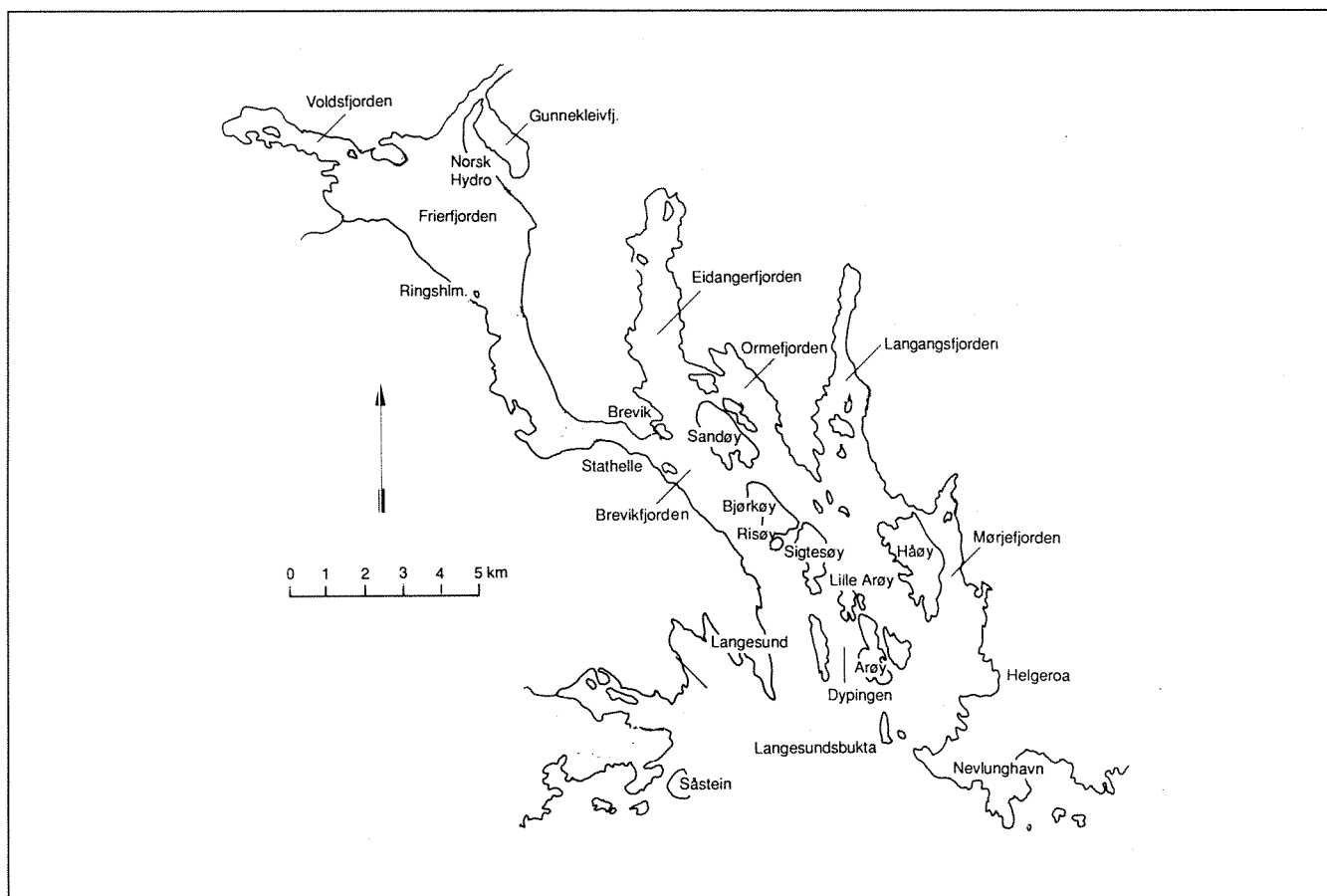
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjoner

NIVA
Ancylus, Gøteborg

Undersøkelse av eutrofiering i **Grenlandsfjordene** 1988-1989

Delrapport 3 Vannutskiftning i fjordene



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.:
0-800372
Undernummer:
Løpenummer:
2588
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlands- fjordene. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. (Overvåkingsrapport nr. 450/91)	Dato: 22/3-91.
	Rapportnr. 0-800372
Forfatter (e): Jarle Molvær Anders Stigebrandt	Faggruppe: Marinøkologi.
	Geografisk område: Telemark.
	Antall sider (inkl. bilag): 43

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

Ekstrakt: Rapporten sammenfatter tidligere kunnskap om vannutskiftningen, samt presenterer resultater fra 1988 - 89. I Frierfjorden, Langesundsfjorden og Håøyfjorden ligger overflatelagets oppholdstid på intervallet timer - dager. I Eidanger- og Ornefjorden er den betydelig lenger. Innenfor Brevik er oppholdstiden 2 - 4 uker for det intermediære vannlag, - utenfor Brevik 1 - 2 uker. Ornefjordens og Håøyfjordens dypvann var overveiende stagnant begge år, med kritiske oksygenforhold. Oppholdstiden er vanskelig å anslå, men varierer trolig i intervallet 1 - 3 år.

4 emneord, norske:

1. Grenlandsfjordene
2. Eutrofi
3. Vannutskiftning
4. Strømmålinger
5. Modell

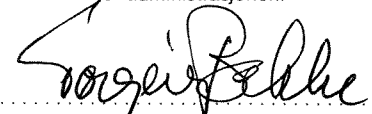
4 emneord, engelske:

1. Grenlandfjords
2. Eutrophication
3. Water exchange
4. Current measurements
5. Model

Prosjektleder:


Jarle Molvær

For administrasjonen:


Torgeir Bakke

Programleder, overvåking



NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

0-800372

UNDERSØKELSE AV EUTROFIERING I GRENLANDSFJORDENE
1988-89.

DELRAPPORT 3.
VANNUTSKIFTNING I FJORDENE.

Oslo/Gøteborg, 22.3 1991

Prosjektleder: Jarle Molvær, NIVA

Medarbeidere: Unni Efraimsen, NIVA

Frank Kjellberg, NIVA

Anders Stigebrandt, Ancylus

FORORD

Foreliggende rapport inngår i en undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene, som er en del av den tiltaksorienterte overvåking av dette fjordområdet. Overvåkingen inngår i Statlig program for forurensningsovervåking, som administreres av Statens forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsene finansieres av den lokale industrien (Hydro Porsgrunn, Hydro Rafnes, Elkem PEA A/S, Union A/S, Statoil) og SFT. Deler av eutrofiundersøkelsen er også finansiert av NIVAs egne forskningsmidler.

Prosjektet startet vinteren 1988 etter inngående drøftelser i Kontaktutvalget for overvåking av Grenlandsfjordene og Skienselva. Prøveinnsamlingen ble avsluttet høsten 1989.

Prosjektet er todelt, og omfatter både utvikling av en dose-respons modell, og feltundersøkelser som skal ajourføre kunnskapen om tilstanden i fjordområdet og gi datainput til modellen. Prosjektet har således omfattet undersøkelser av :

- Forurensningstilførsler (rapportert 1989)
- Vannutskiftning i fjordene
- Biomasse og suspendert stoff i overflatelaget
- Næringssalter og begrensende faktorer for algevekst
- Gruntvannssamfunn (rapportert 1991)
- Organisk belastning og oksygenforhold i dypvannet
- Bløtbunnsfauna i Håøyfjorden (rapportert 1989)
- Siktedyp og optiske størrelser i Skienselva

Dertil kommer altså utvikling av dose-responsmodeller.

Resultatene rapporteres i form av delrapporter. Den foreliggende rapport omhandler resultatene fra undersøkelsene av vannutskiftning i fjordene.

I tillegg vil det bli utarbeidet en konklusjonsrapport med en sammenfattende vurdering eutrofitilstanden, og med anbefalinger om tiltak/prediksjon av effekter.

Laboratorieleder Arne Kjellsen, Miljølaboratoriet i Telemark, har hatt det lokale ansvaret for feltarbeid og analyser. Leif Viken, Porsgrunn Havnevesen, og Bjørnar Kvalvik, Grenland Miljø- og Resipientervice, har vært båtførere under feltarbeidet. Alle takkes for god og verdifull hjelp.

ansvar for oppfølging av feltarbeid, primær databearbeidelse og datapunching. Jarle Molvær har vært prosjektleder.

INNHALDSFORTEGNELSE

Side:

FORORD	1
1. HOVEDKONKLUSJONER	4
2. INNLEDNING	6
2.1 Generell beskrivelse av området	6
2.2 Bakgrunn for undersøkelsen - formål	9
3. MATERIALE OG METODER	10
3.1 Hydrografi og strømmålinger	10
3.2 Ferskvannstilførsel	10
3.3 Meteorologiske data	11
4. VANNUTSKIFTNING I FRIERFJORDEN OG VOLLSEFJORDEN	13
4.1 Topografi og vannmasser	13
4.2 Overflatelaget	14
4.3 Intermediært vannlag	18
4.4 Dypvannet	21
5. VANNUTSKIFTNING I EIDANGERFJORDEN - LANGESUNDSFJORDEN	26
5.1 Topografi og vannmasser	26
5.2 Overflatelag og intermediært vannlag	26
5.3 Dypvannet	29
6. VANNUTSKIFTNING I ORMEFJORDEN	33
6.1 Topografi og vannmasser	33
6.2 Overflatelag og intermediært vannlag	33
6.3 Dypvannet	36
7. VANNUTSKIFTNING I HÅØYFJORDEN	37
7.1 Topografi og vannmasser	37
7.2 Overflatelag og intermediært vannlag	37
7.3 Dypvannet	39
8. LITTERATUR	41
VEDLEGG	43

1. HOVEDKONKLUSJONER

Formålet med dette delprosjektet har vært:

1. Innsamle basiskunnskap om vannutskiftningen i de forskjellige fjordbassengene, spesielt dypvannet i de områder som ikke tidligere er undersøkt.
2. Gi data-input til modellutviklingen, til undersøkelsene av vannkvalitet og av organisk belastning/oksygenforbruk i dypvannet.

En detaljert studie av selve vannutskiftningsprosessene ligger utenfor rammen av prosjektet. Det er formålets pkt. 1 som er rapportert her.

Frierfjorden:

I overflaten er strømmønsteret karakterisert av en raskt utgående brakkvannsstrøm i fjordens midtre og sørlige del, og en langsom og variabel nord og nordvestgående strøm på fjordens østside.

Generell oppholdstid for overflatelaget er anslått til 2-3 dager, mens det i selve brakkvannsstrømmen kan være 5-10 timer.

I fjordens intermediære vannlag er vannutskiftningen styrt av de skiftende forholdene i Langesundsbukta og den inngående sjøvannsstrømmen som er med i den estuarine sirkulasjonen. Vanlig oppholdstid synes å være 2-4 uker, men vannmassen kan iblant bli skiftet ut på en uke eller mindre.

Strømmålinger i Frierfjordens dypvann (40 m dyp) viste et uregelmessig mønster. I korte perioder opptrådte relativ sterk strøm (8-10 cm/s), innimellom lange perioder med svak eller ingen målbar strøm.

Våren 1988 foregikk det en fullstendig utskiftning av dypvannet. En mindre utskiftning inntraff våren 1989.

Eidanger- og Langesundsfjorden:

Vannutskiftningen i Eidangerfjordens overflatelag vil variere mye med skiftende vindforhold. Generelt er oppholdstiden anslått til å variere i intervallet 2-7 døgn, oftest omkring 3-5 døgn.

For Langesundsfjordens overflatelag er forholdene bedre beskrevet, og eldre strømmålinger tyder på en typisk oppholdstid på 5-10 timer for strekningen Brevik - Langesund.

For begge fjordenes intermediære vannlag viser målinger av temperatur og

saltholdighet en nær kobling med skiftende forhold i Langesundsbukta, som tyder på en typisk oppholdstid på 1-2 uker.

Dypvannet hadde i hovedsak en tidsutvikling som var kjent fra tidligere undersøkelser i fjordene: stagnasjon med fallende oksygenkonsentrasjoner fram til november - desember, da de karakteristiske vannutskiftningen i vinterhalvåret begynte. Typisk oppholdstid for dypvannet anslås til 5-8 måneder.

Orme fjorden:

Overflatelaget og det intermediære vannlag viste samme nære kobling til forholdene i Langesundsbukta som tidligere er vist for Langesundsfjorden, og oppholdstiden anslås til 1-2 uker for begge vannmasser.

Dypvannet var overveiende stagnant i hele måleperioden (18 måneder), med kritiske oksygenforhold dypere enn ca. 35 m. Vi kjenner ikke til data som kan supplere denne måleserien, og anslår 1-3 år som typisk oppholdstid for dypvannet.

Håøyfjorden:

Vi har ikke data som gir grunnlag for en nøyaktig beregning av oppholdstiden for overflatelaget. På basis av dataene fra Langesundsfjorden, og den sterke innvirkningen av brakkevann fra Frierfjorden, vil vi anslå oppholdstiden til 1-2 dager.

På samme basis som Orme fjorden vil vi anslå oppholdstiden for det intermediære vannlaget (ca. 5-30 m dyp) til 1-2 uker.

Dypvannet var overveiende stagnant i hele måleperioden, og vi vil anslå 1-2 år som typisk oppholdstid.

2. INNLEDNING

2.1. Generell beskrivelse av området.

En oversikt over Skienselva og fjordområdet er vist på fig. 2.1. Skienselva på strekningen Skien - Frierfjorden er ca. 10 km lang. På elvestrekningen fins flere dype bassenger, med ca. 35 m dyp nord for Porsgrunn bybro som maksimum. Minste dyp er ca. 7 m.

Vassdraget er sterkt regulert, med 270-300 m³/s som typisk årsgjennomsnitt. Vannføringen er karakterisert av en vårflom i tidsrommet april-juni (normalt opptil 1000 m³/s), minimum på 50-100 m³/s i juli-august, og høstflom i september - oktober.

Fig. 2.2 gir en oversikt over de topografiske forholdene i fjordområdet. Området preges av innsnevring (terskler) med dype bassenger innenfor. I disse bassengene er det liten utskiftning av dypvannet, og fare for oksygenproblemer.

Distansen fra Skienselvas munningsområde til Langesundsbukta er ca. 23 km.

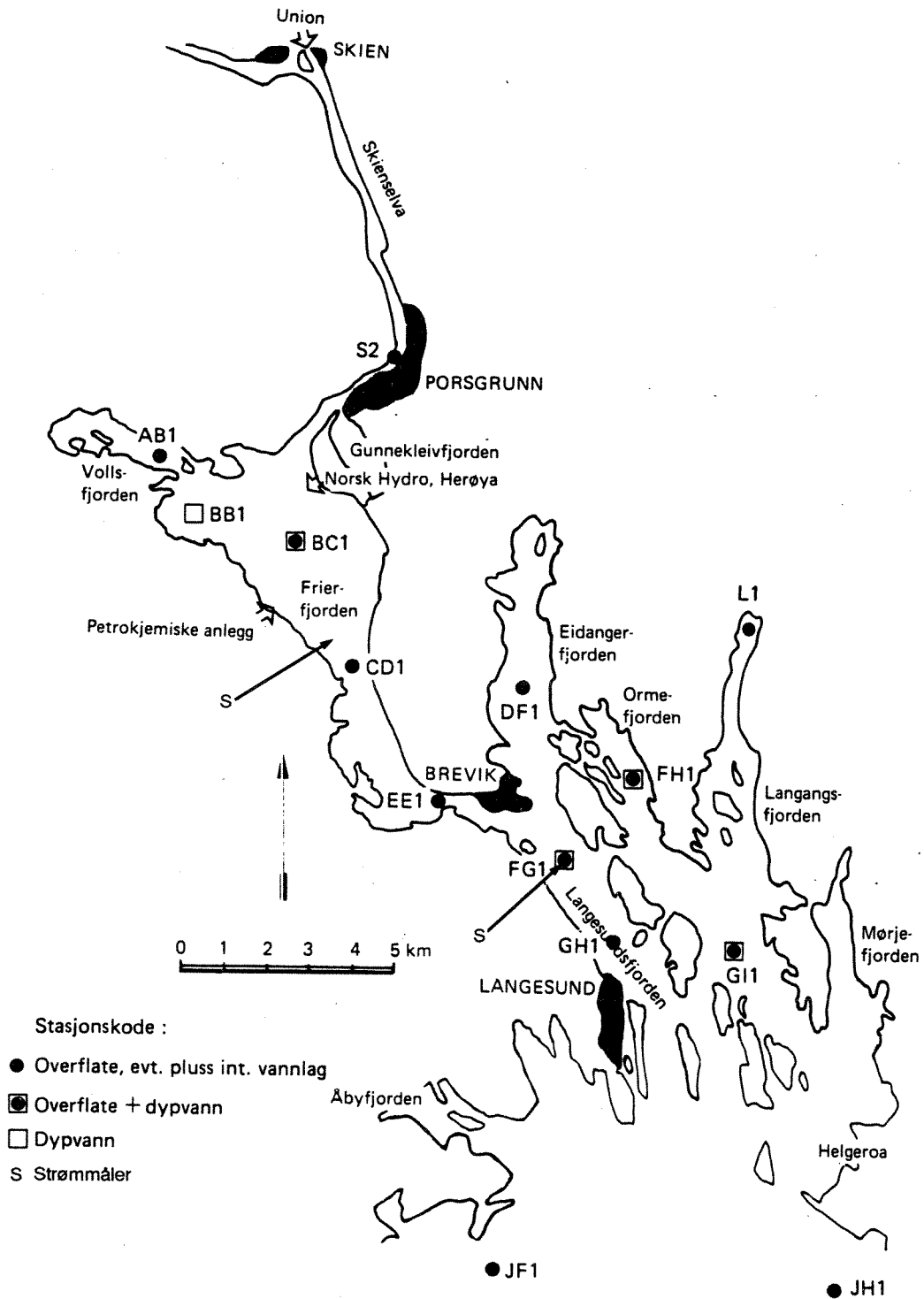


Fig. 2.1. Oversiktskart over undersøkelsesområdet. Stasjoner for innsamling av vannprøver og strømmålinger er inntegnet.

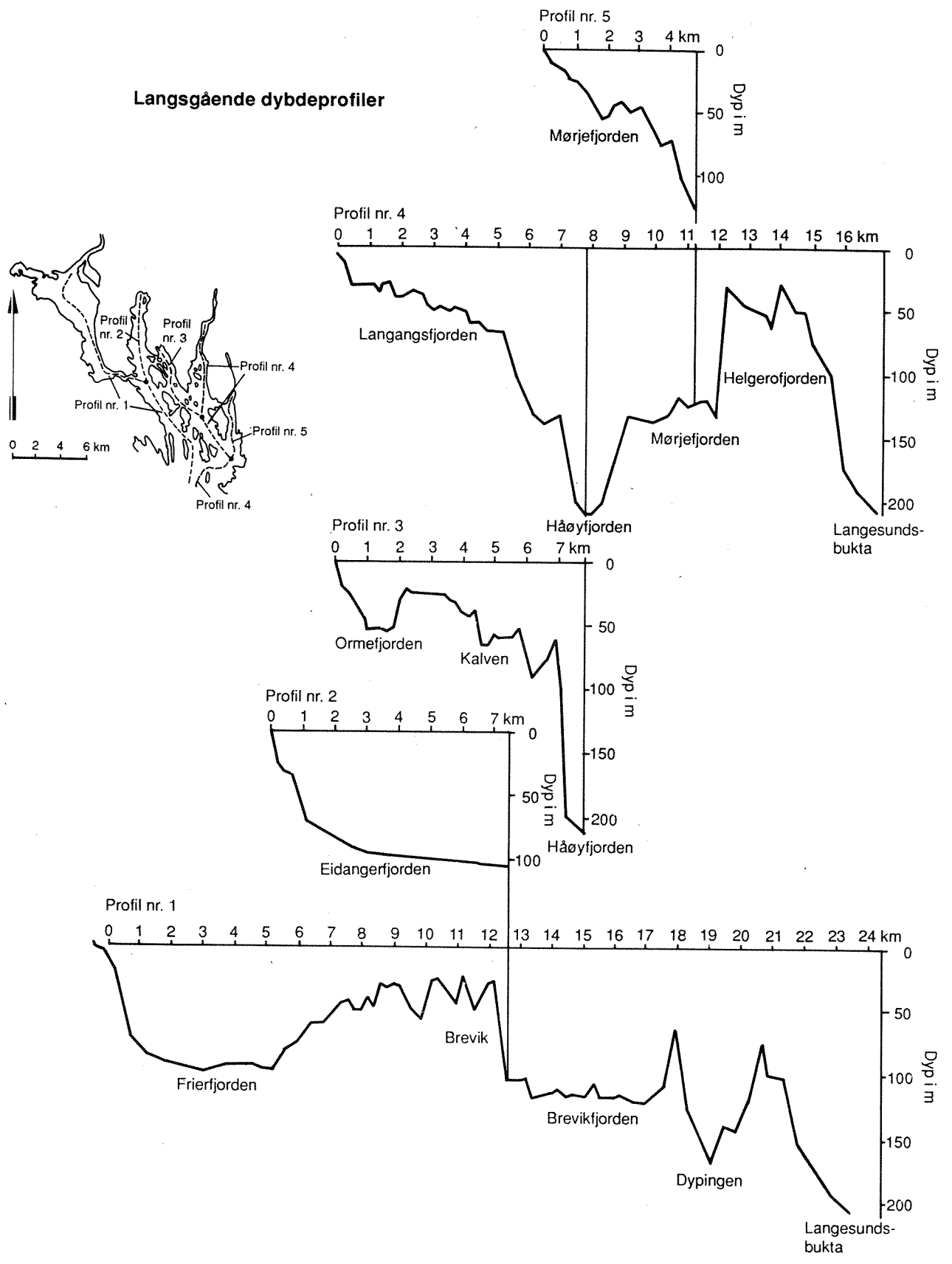


Fig. 2.2 Langsgående dybdeprofiler.

2.2. Bakgrunn for undersøkelsen - formål.

Vannutskiftningsforholdene i deler av Grenlandsfjordene har blitt undersøkt ved en rekke anledninger. Spesielt gjelder dette Frierfjordens overflatelag og dypvann. I mindre grad er forholdene i Eidangerfjorden og Langesundsfjorden undersøkt. For en nærmere omtale av undersøkelser og resultater henvises til Johansen et al. (1973), Molvær et al. (1979) og Golmen og Molvær (1990).

Eutrofiprosjektet omfatter også Ormefjorden og Håøyfjorden. I disse fjordene er tidligere ikke gjort studier av vannutskiftningen. Begge er terskelfjorder, og for begge fjordene er det derfor et spesielt behov for basiskunnskap om vannutskiftning i dypvannet.

Formålet med dette delprosjektet er dermed to-delt:

1. Innsamle basiskunnskap om vannutskiftningen i de forskjellige fjordbassengene, spesielt dypvannet i de områder som ikke tidligere er undersøkt.
2. Gi data-input til modellutviklingen, til undersøkelsene av vannkvalitet og av organisk belastning/oksygenforbruk i dypvannet.

En detaljert studie av selve vannutskiftningsprosessene ligger imidlertid utenfor rammen av prosjektet.

3. MATERIALE OG METODER

3.1 Hydrografi og strømmålinger.

Undersøkelsene av vannutskiftningen i fjordområdene ble gjennomført ved innsats på tre felt:

- * I tidsrommet 24.4 - 24.8 1988 ble det utført målinger av temperatur og saltholdighet 1-2 ganger pr. uke ned til 20 m dyp på stasjonene BC1, FG1, FH1 og JH1 (60 m dyp), fig 2.1.
- * Ved Saltbua, i søndre del av Frierfjorden, og i Langesundsfjorden nær st. FG1 ble det utplassert selvregistrerende strømmålere i henholdsvis 18 og 40 m dyp og 20 og 80 m dyp. Målingene ble utført i tidsrommet 21.4 - 9.8.88. Teknisk feil ved målerne medførte imidlertid at bare halvparten av målingene ble vellykket.
- * I dypvannet på st. BB1, BC1, FG1, FH1 og GI1 ble det ca. 1 gang pr. måned målt temperatur, saltholdighet og oksygenkonsentrasjon i tidsrommet 18.2.88 - 23.8.89, dvs. 18 måneder.

Vannlaboratoriet i Telemark, ved laboratorieleder Arne Kjellsen, hadde i alt vesentlig ansvar for det lokale feltarbeid. I dette ble brukt båter fra Porsgrunn Havnevesen og Grenland Miljø- og Resipientervice.

Vannlaboratoriet utførte oksygenanalysene etter Norsk Standard, mens saltholdigheten ble bestemt med salinometer ved NIVAs laboratorium i Oslo.

3.2 Ferskvannstilførsel.

Skienselva dominerer ferskvannstilførselen til fjordområdet. Fig. 3.5 viser vannføring ved Skotfoss kraftstasjon hver dag kl. 07 i tidsrommet 1988-89.

I tidsrommet april-oktober 1988 var vannføringen gjennomgående uvanlig høy, med topper på mer enn 950 m³/s i mai og september. Laveste vannføring var ca. 100 m³/s i slutten av juni.

I 1989 var vannføringen mer stabil, med tidlig vårflom på ca. 600 m³/s i april og høstflom på opptil 700 m³/s som maksimum. Laveste vannføring var ca. 100 m³/s i september.

3.3 Meteorologiske data.

Meteorologiske observasjoner gjøres 3 ganger pr. døgn fra Langøytangen fyr ytterst i fjordområdet. Data fra 1988 og 1989 er mottatt fra Det norske meteorologiske institutt, Oslo.

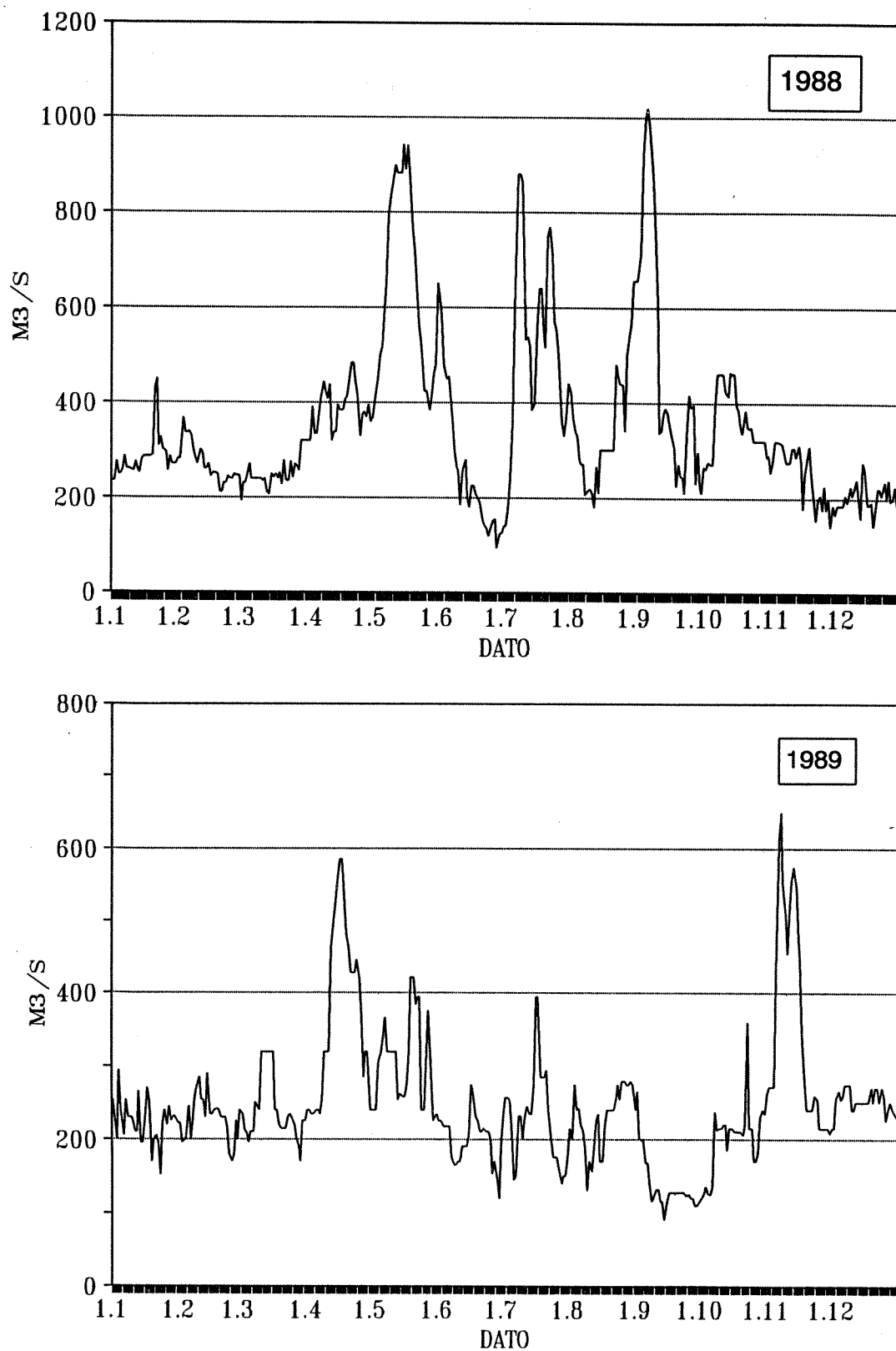


Fig. 3.5 Døgnverdier av vannføring ved Skotfoss i 1988 og 1989.

4. VANNUTSKIFTNING I FRIERFJORDEN OG VOLLSFJORDEN.

4.1 Topografi og vannmasser.

Fig. 2.1-2.2 gav en enkel oversikt over fjordområdet, samt plassering av de hydrografiske målestasjonene. Største dyp er 98 m i Friierfjordens søndre del. Terskelen ved Brevik har 23 m som største dyp.

Vollsfjorden har 35 m som største dyp. Ved utløpet ligger en terskel med ca. 20 m som største dyp.

Fig. 4.1 viser kurver for hvordan areal og volum i Friierfjorden varierer i forhold til dypet. Overflatearealet er ca. 17.5 km², og totalt volum ca. 660 mill. m³.

Den store ferskvannstilførselen og tersklene gjør det naturlig å inndele vannmassene i tre: et brakkvannslag, et intermediært sjøvannslag som strekker seg ned til terskeldypet, og dypvannet (fig. 4.2). Overgangen fra brakkvannslag til sjøvannslaget er markert ved en sterk økning i saltholdighet, og omtales ofte som et sprangsjikt.

Tykkelsen av overflatelaget varierer mellom 2 m og 8 m, særlig avhengig av ferskvannstilførsel og vindforhold. Dette brakkvannslaget strømmer raskt ut gjennom fjordområdet.

Ettersom terskelen mot Langesundsbukta ligger dypere enn Brevikterskelen, vil det intermediære vannlaget ha fri forbindelse med kystvannet i Langesundsbukta.

På grunn av terskelen har ikke dypvannet i Vollsfjorden og Friierfjorden fri forbindelse med kystvannet, og vannutskiftningen er derfor gjennomgående liten.

Strømforhold og vannutskiftning i Friierfjorden er tidligere beskrevet flere ganger. For en oversikt henvises til Molvær et al. (1979) og Stigebrandt og Molvær (1990). Vannutskiftningen i Vollsfjorden ble studert ved en særskilt undersøkelse som Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen, gjennomførte i 1989, som et supplement til eutrofiundersøkelsen (Golmen og Molvær, 1990).

I dette kapitlet vil generelle trekk bli gjennomgått, og nye forhold trukket fram i den utstrekning dataene tillater det.

4.2 Overflatelaget

Overflatelaget i Frierfjorden og Volls fjorden er sterkt preget av ferskvannstilførselen fra Skienselva. Lagets tykkelse er vanligvis 3-7 m, i hovedsak varierende med vannføringen i Skienselva. Saltholdigheten varierer fra nær null under flom i vassdraget, til oppimot 10 promille. Fig. 4.3 viser observasjoner (n=97) fra 0.5 m dyp i Frierfjorden fra tidsrommet 1974-89. Midlere saltholdighet var 4.0 promille.

Sirkulasjonen i Frierfjordens overflatelag domineres av to hovedtrekk. Ferskvannet river med seg overflatevann fra sidene, og setter dermed opp to store virvler i fjordens overflatelag, se fig. 4.4.

På tilsvarende måte innblandes underliggende sjøvann i det utstrømmende brakkvannet, som dermed øker i volum og i saltholdighet. Dette "tap" av sjøvann kompenseres ved at det settes opp en inngående sjøvannsstrøm, og det oppstår dermed et strømmønster som vist i fig. 4.5. Denne inngående sjøvannsstrømmen er viktig for fornyelsen av fjordvannet over terskeldypet.

Det skal nevnes at også Skienselva har en slik underliggende sjøvannsstrøm, som er svært viktig for opprettholdelse av vannkvaliteten under elvas brakkvannslag.

Den gjennomsnittlige oppholdstid vil være svært forskjellig for den enkelte delene av fjordområdet - kortest i selve hovedstrømmen fra Skienselvas munningsområde og sørover, og lengst i bakevjene i Herrebukta og på Frierfjordens østside. Fig. 4.5 oppsummerer resultater fra undersøkelsene i 1974-76. Generelt avtar oppholdstiden med økende ferskvannstilførsel, men under flom i Skienselva avtar den relativt lite pga. en begynnende oppstuvning i fjorden. Typisk midlere oppholdstid ved vannføring på 150-250 m³/s er således 2-3 døgn.

Strømmålinger i selve brakkvannsstrømmen har vist hastigheter på 0.15-0.3 m/s (VHL 1966,1967, Molvær 1975, 1976). For distansen Skienselvas munning - Saltbua (ca. 5 km) tilsvarer dette 4.5-9 timer.

Sirkulasjon og oppholdstid i Volls fjordens overflatelag ble undersøkt gjennom strømmålinger sommeren 1989 (Golmen og Molvær, 1990). Som ventet viste målingene en nær kobling mot Frierfjorden. Hastighet og strømretning varierte mye med tidevann og skiftende vindforhold. Typisk strømhastighet var omkring 10 cm/s, som tyder på en oppholdstid omkring 12 timer i fjordens midtre og ytre del.

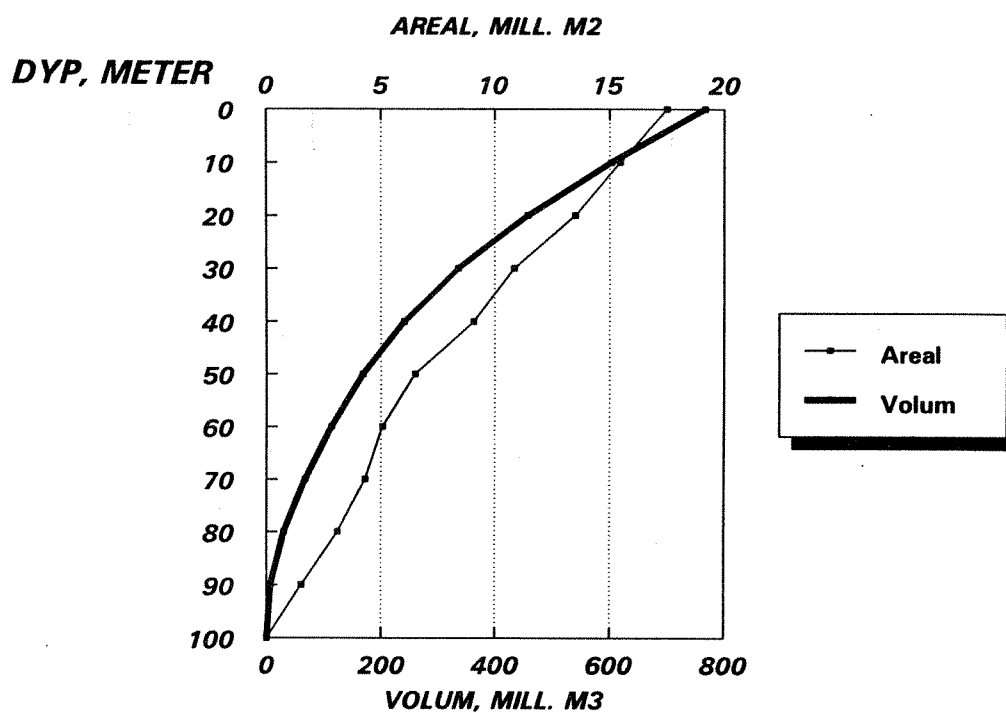


Fig. 4.1 Arealer og volumer i Frierfjorden. Kurvene angir arealet i det aktuelle dyp og samlet volum under dette det.

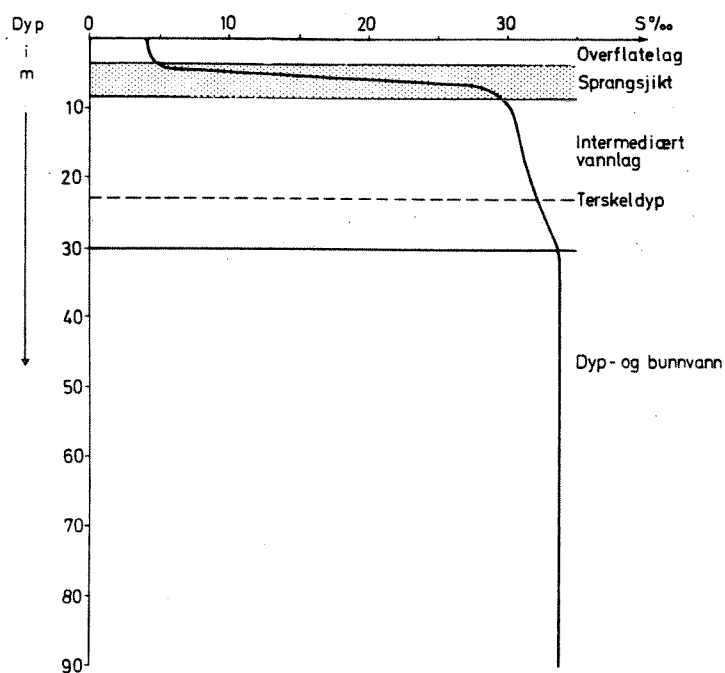


Fig. 4.2 Inndeling av vannmassene i Frierfjorden med grunnlag i den vertikale saltholdighetsfordelingen.

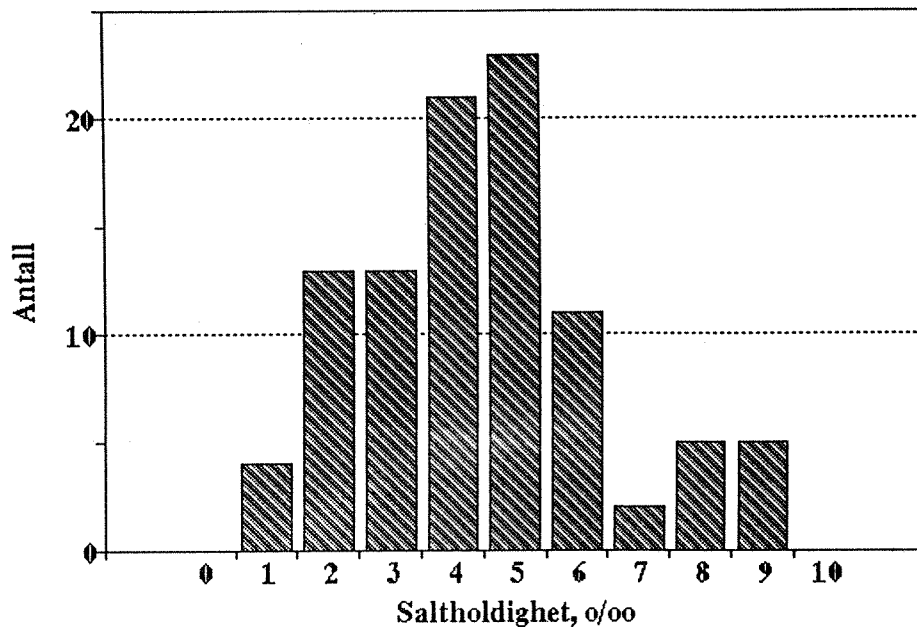


Fig. 4.3. Fordeling av saltholdighet i 0.5 m dyp på st. BC1 i Frierfjorden (n=97). Midlere saltholdighet er 4 promille.

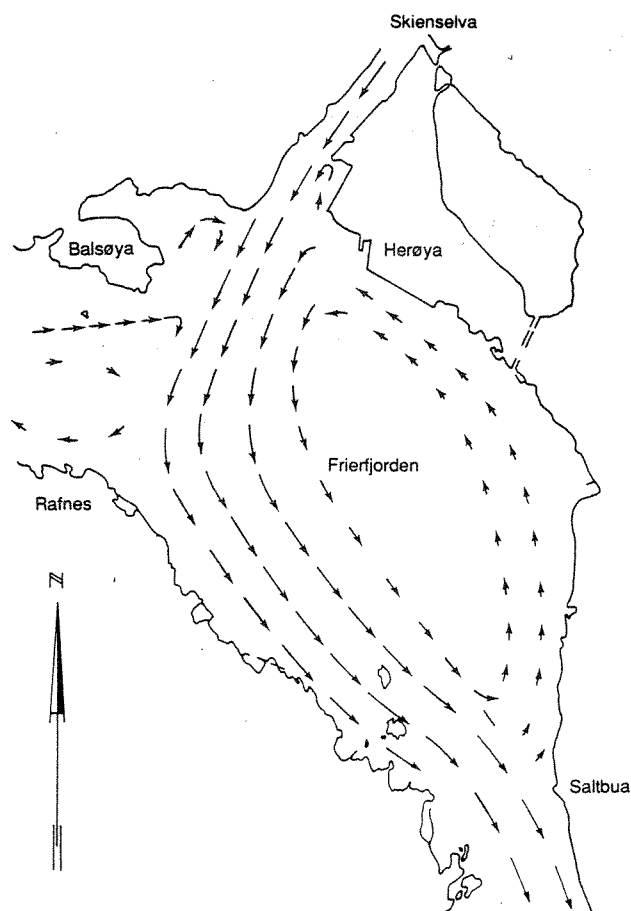


Fig. 4.4. Generelt bilde av overflatestrømmene i Frierfjorden (etter Molvær, 1976).

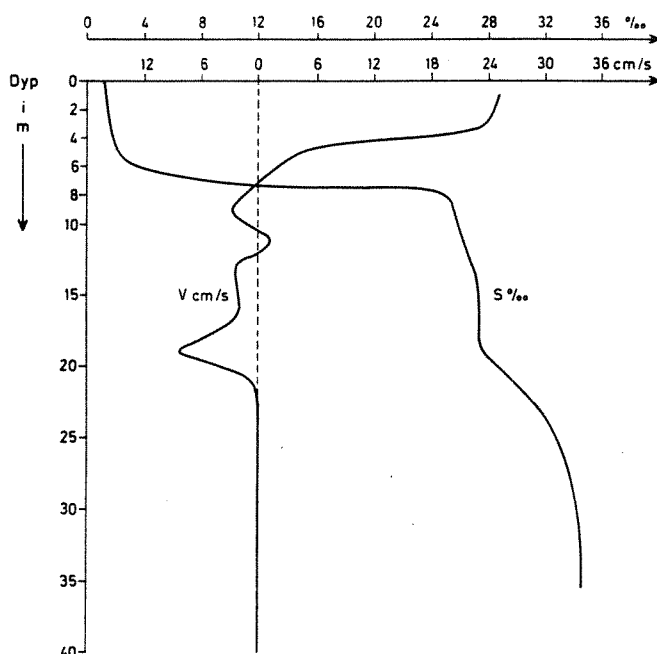


Fig. 4.5. Estuarin sirkulasjon i Frierfjorden utenfor Rafnes 15.5.75. Måling av strøm og saltholdighet. Strømmen er dekomponert langs aksen 160(+) - 340(-) grader. Den inngående sjøvannsstrømmen går vanligvis helt opp til Skien.

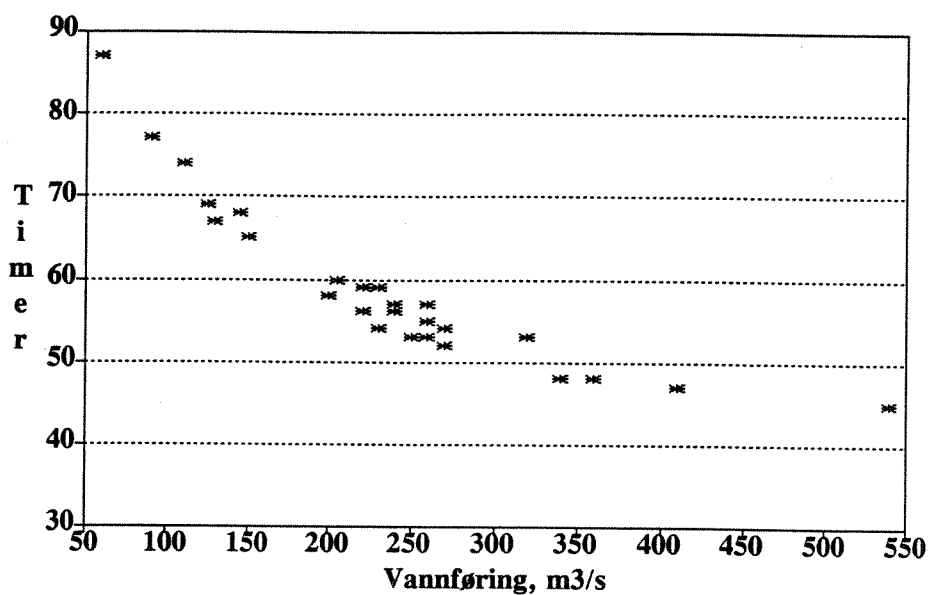


Fig. 4.6. Midlere oppholdstid for overflatelaget i Frierfjorden som funksjon av ferskvannstilførselen.

4.3 Intermediært vannlag

Dominerende vannutskiftningsmekanismer i fjordområdet intermediære vannlag vil være:

1. Estuarin sirkulasjon: i den inngående sjøvannsstrømmen har det blitt målt hastigheter på typisk 10-20 cm/s (VHL 1967, Molvær 1975). Den vertikale utstrekningen av denne inngående strømmen er imidlertid begrenset. I selve Frierfjorden er den sterkest på fjordens vest- og sørside og svakere på fjordens østside og i Herrebukta
2. Tidevannsstrømmer: det halvdaglige tidevann dominerer, med ca. 25 cm forskjell mellom høyvann og lavvann. Med et overflateareal på ca. 17 km² innenfor Brevik, medfører dette en innstrømning av ca. 4.2 millioner m³ vann to ganger i døgnet. Ikke alt er imidlertid netto utskiftning.
3. Inn- og utstrømninger pga. følge av vannstandsvariasjoner forårsaket av lufttrykksvariasjoner. Som en tommelfingerregel regner man at en lufttrykksendring på 10 mb medfører en vannstandsvariasjon på størrelsesorden 10 cm.
4. Effekter av lokal vind: vind utøver et drag på overflate, og bidrar til en vertikal blanding av vannmassene. Dette draget vil etterhvert sette overflatelaget i bevegelse, med returstrømmer dypere nede.
5. Tetthetsvariasjoner i kystvannet, oftest fremkalt av vind: dette vil skape hyppige og omfattende inn- og utstrømninger over terskelen, og er kjent for å være en meget viktig vannutskiftningsmekanisme for terskelfjorder. Dette gjelder spesielt for fjorder langs Skagerrakkysten, hvor tidevannsforskjellen er liten.

Disse drivkreftene virker oftest samtidig, og resultatet er en vannutskiftning som vil variere mye med tiden. Fig. 4.7 illustrerer koblingen mot forholdene i kystvannet. Svingningene i saltholdigheten (og egenvekten) i 20 m dyp dempes naturligvis betraktlig på den ca. 20 km lange strekningen fra stasjonen i Langesundsbukta til midt i Frierfjorden, men samvariasjonen er tydelig. Det er også tydelig at de raske variasjonene i Langesundsbukta ofte gjør at tettheten i 20 m dyp i Frierfjorden "blir hengende etter".

Det er vanskelig å anslå en typisk oppholdstid for Frierfjordens intermediære vannlag på dette grunnlaget, med resultatene tyder på en vanlig oppholdstid i størrelsesorden 2-4 uker. Iblant skiftes

vannmassen ut på mindre enn 1 uke. Overslaget er i rimelig bra overensstemmelse med modellberegningene (Stigebrandt og Molvær, 1990) som ut fra en midlere vannutskiftning av ca. 10-15 m³/s/km², et vannvolum på 350 mill. m³ og overflate 15 km² (i selve Friierfjorden), fant at midlere oppholdstid burde være omkring 18-27 døgn. Brukes formelen fra Stigebrandt og Aure (1990) får man 15 døgn som typisk oppholdstid. Det kan tilføyes at man ut fra undersøkelsene i 1974-76 anslo oppholdstiden til størrelsesorden en måned (Molvær et al., 1979).

Den frie kommunikasjonen mellom Vollsfjordens intermediære vannlag og Friierfjorden, tilsier at oppholdstiden er av samme størrelsesorden i begge bassengene. Strømmålinger i 20 m dyp i Vollsfjordens ytre del viste som gjennomsnitt en inngående strøm av størrelsesorden 2 cm/s. Sirkulasjonen in fjordens midtre og indre deler er ukjent, men må antas å være svakere enn nærmere munningen. Totalt antyder målingene en typisk oppholdstid på 2-3 uker.

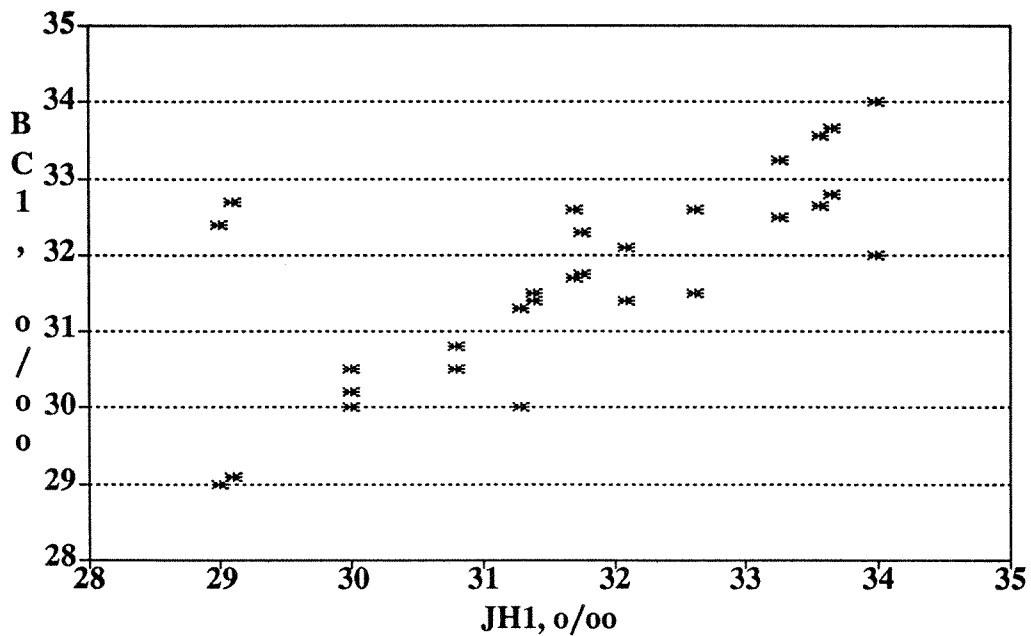
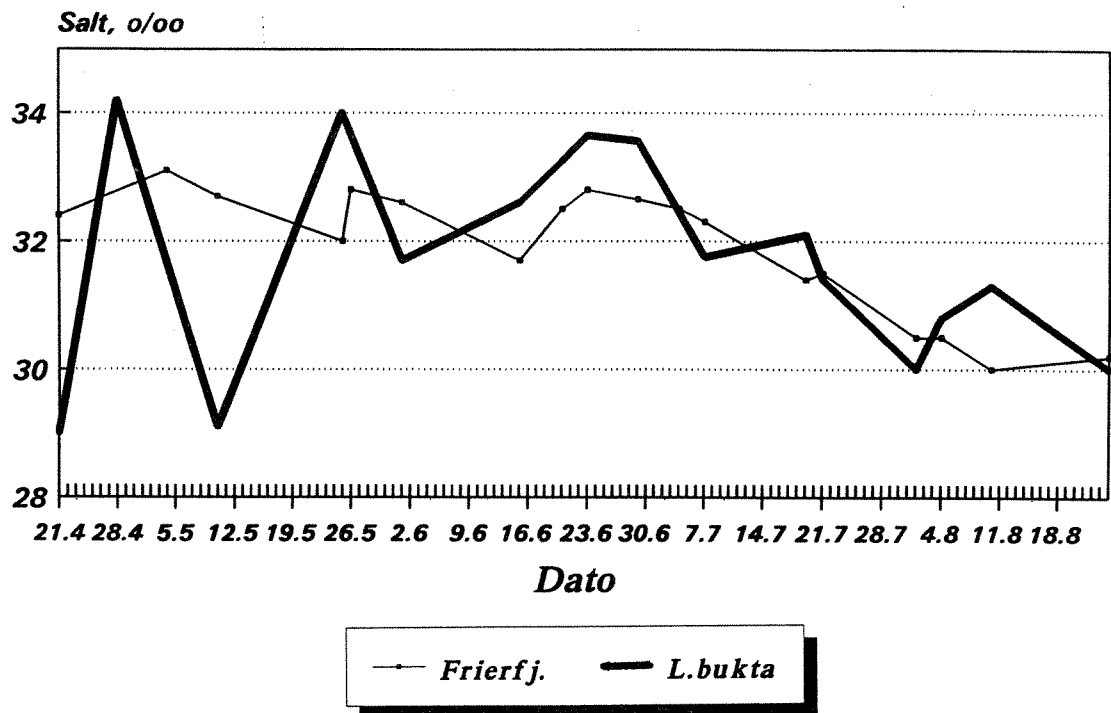


Fig. 4.7 Saltholdighet i 20 m dyp i Frierfjorden (st. BC1) og i Langesundsbukta (st. JH1) i tidsrommet 24.4 - 24.8 1988. Øverst som tidsserie. Nederst plottet mot hverandre.

4.4 Dypvannet.

Vannutskiftningen i Frierfjordens dypvann varierer mye med tiden, og veksler mellom lange perioder med overveiende stagnasjon og korte tidsrom med terskeloverskyllinger. Midlere oppholdstid er tidligere anslått til å variere innen intervallet 1-3 år (Molvær et al., 1979).

Oksygenmålingene gir de klareste opplysninger om varighet av stagnasjon, og tidspunkt for terskeloverskyllinger. Resultatene fra 1988-89 er vist i fig. 4.8. Våren 1988 foregikk en fullstendig fornyelse av dypvannet. Vi ser hvordan oksygenkonsentrasjonen i 30 m dyp gikk mot null fordi det gamle dypvannet med sitt innhold av hydrogensulfid ble løftet opp i 20-40 m dyp. Men allerede i juni var oksygenforholdene i 30 m dyp normale igjen.

Beregnet ut fra endringene i konsentrasjonene av fosfor kan utskiftningen i 90 m dyp anslås til 80-90%.

Vannmassen under ca. 50 m dyp var deretter overveiende stagnant fram til våren 1989, da en mindre utskiftning inntraff med en kortvarig forbedring av oksygenforholdene.

I dette tidsrommet gir strømmålingene i 40 m dyp - ca. 17 m under fjordterskelen - et inntrykk av hvordan stagnasjonsperioden forløp, se fig. 4.9-4.10. Måleserien omfattet tidsrommet 14.6 - 9.8.88, og figurene viser dels oppsummerende statistikk og dels strømkomponenten langs nord-sør akse. Strømmåleren har 1.5 cm/s som nedre måleterskel.

- * Forholdene var preget av korte perioder med relativ sterk strøm - vanligvis omkring 8-10 cm/s - med lengre perioder med svak eller ingen strøm i mellom. I dette mønstret sees både halvdaglig tidevann og effekten av mer irregulære påvirkninger, sannsynligvis fra mindre terskeloverskyllinger.
- * Totalt var det overveiende nordgående strøm, og volumtransporten var følgelig også i hovedsak rettet nordover som man ser av fig. 4.10a.

Dette var også hovedinntrykket fra målingene i det forangående tidsrommet 24.4 - 14.6 1988.

Målingene illustrerer således at en stagnasjonsperiode ikke er ensbetydende med en periode med stillestående dypvann, men er en periode med liten og uregelmessig vannutskiftning.

For Vollsfjorden er oksygenforholdene i midtre (st. AB1) del beskrevet av fig. 4.11a, som gjengir data både fra undersøkelsen i 1978 (Molvær et al. 1989) og i 1989 (Golmen og Molvær 1990). Relativt liten vannutskiftning kombinert med høy belastning med organisk materiale gjør at oksygenforholdene er dårlige under 25-27 m dyp.

Resultater fra indre del (fig. 4.11b) viser periodevis dårlige forhold under ca. 8 m dyp. Datamaterialet er for lite til å avgjøre om oksygenforholdene er endret fra 1978 til 1989. Resultatene viser imidlertid klart at mindre vannutskiftning gjør at tilstanden i Vollsfjordens frie vannmasser er langt dårligere enn på tilsvarende dyp i Frierfjorden.

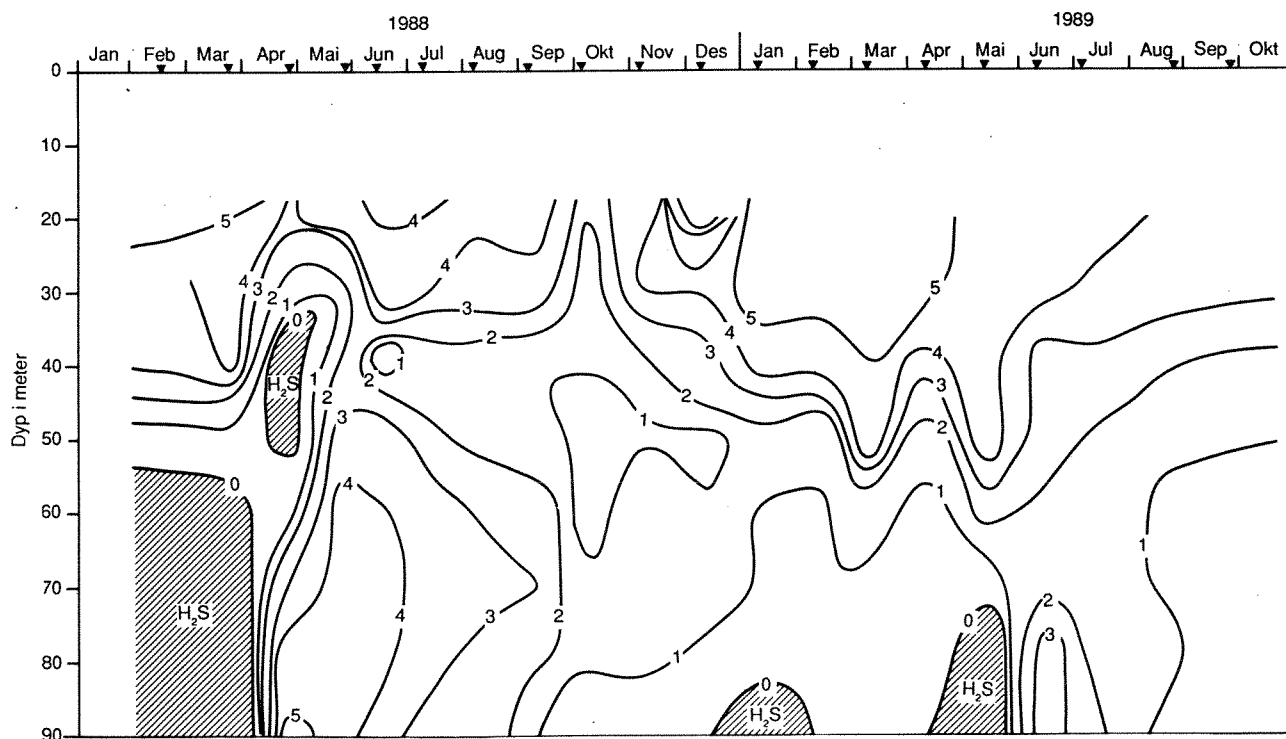


Fig. 4.8 Oksygenkonsentrasjon i Frierfjordens dypvann i tidsrommet februar 1988 - september 1989:

>3.5 mlO/l : tilfredsstillende oksygenforhold

2-3.5 mlO/l: dårlig

0-2 " : kritisk

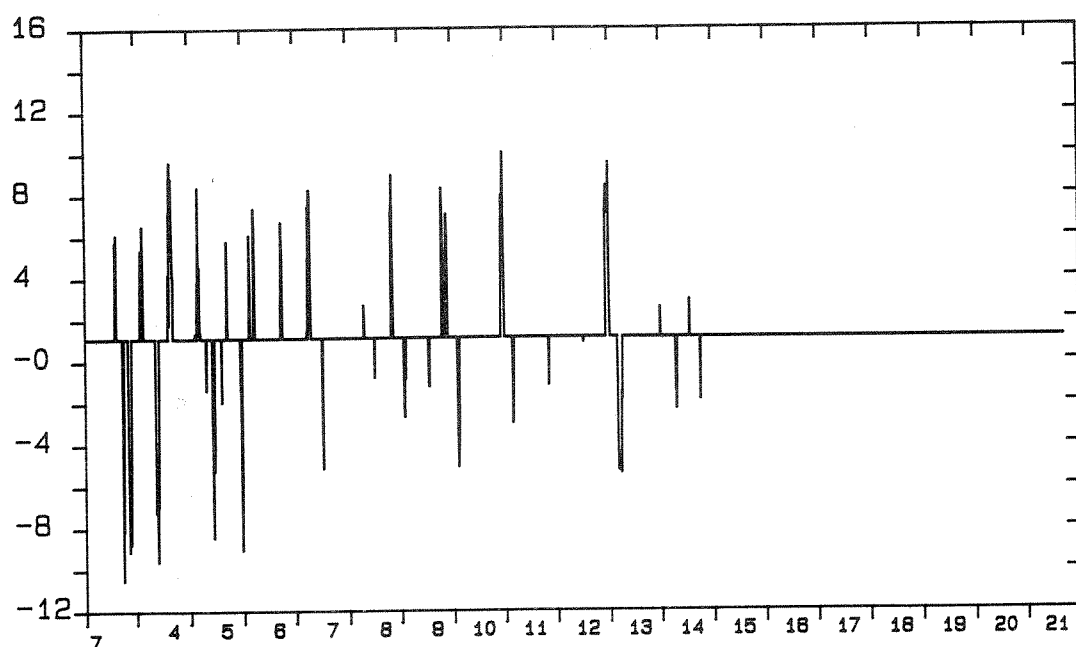
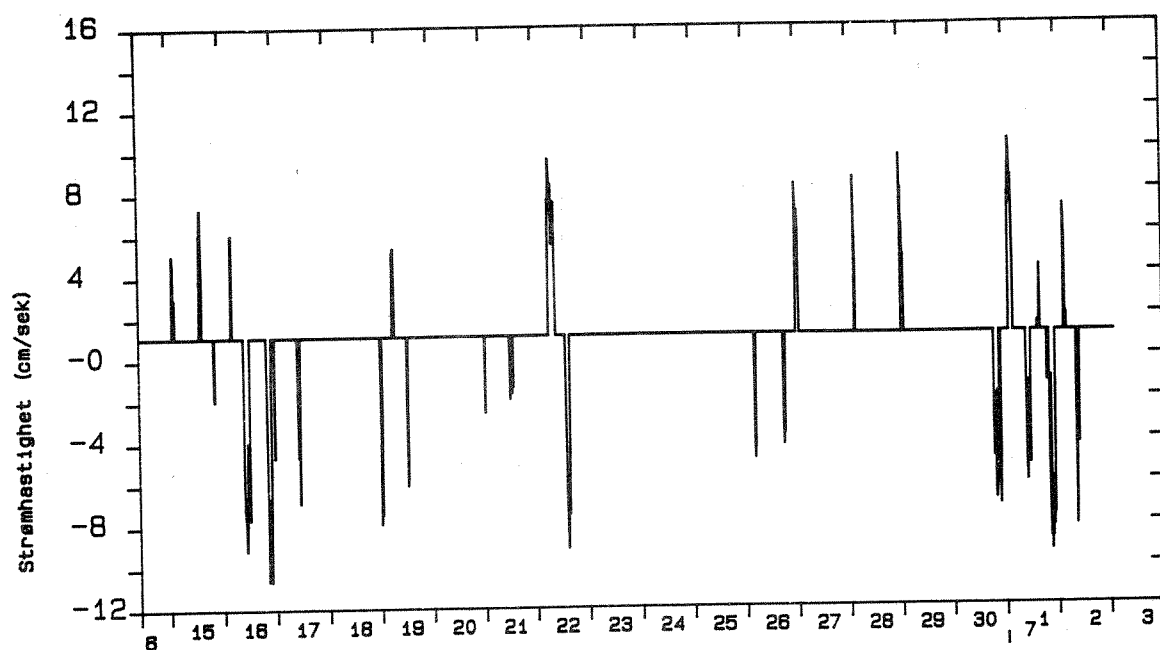


Fig. 4.9 Strømmens nord(+) - sør(-) komponent i 40 m dyp ved Saltbua, 14.6 - 9.8 1988. Resultatene er vist på tre delfigurer over to sider.

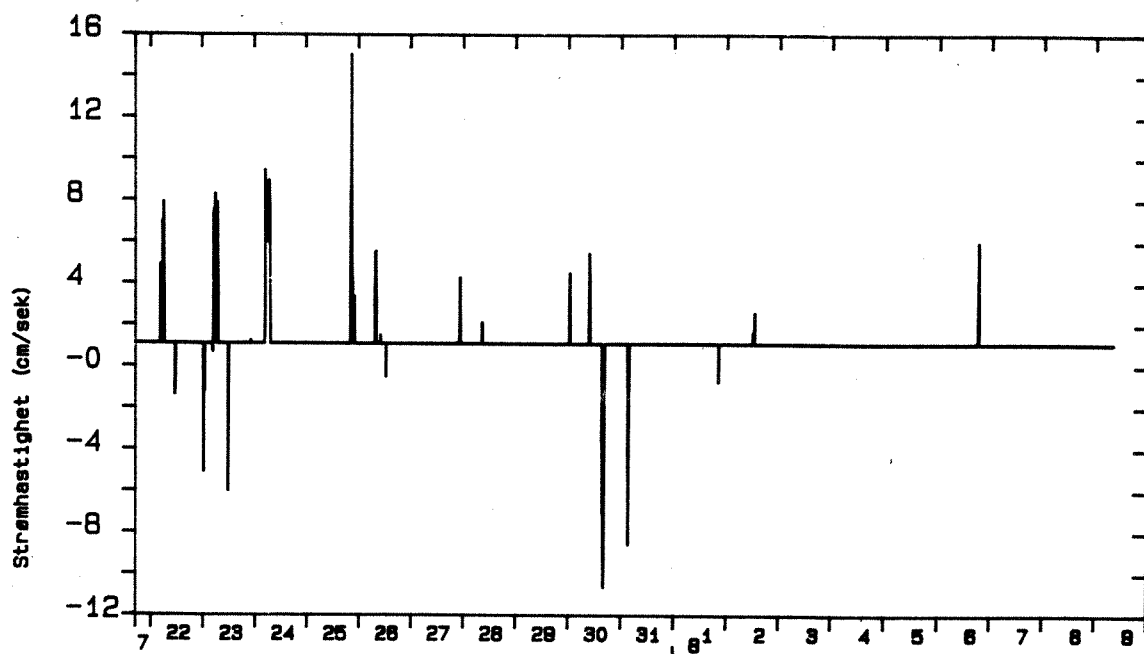


Fig. 4.9 forts.

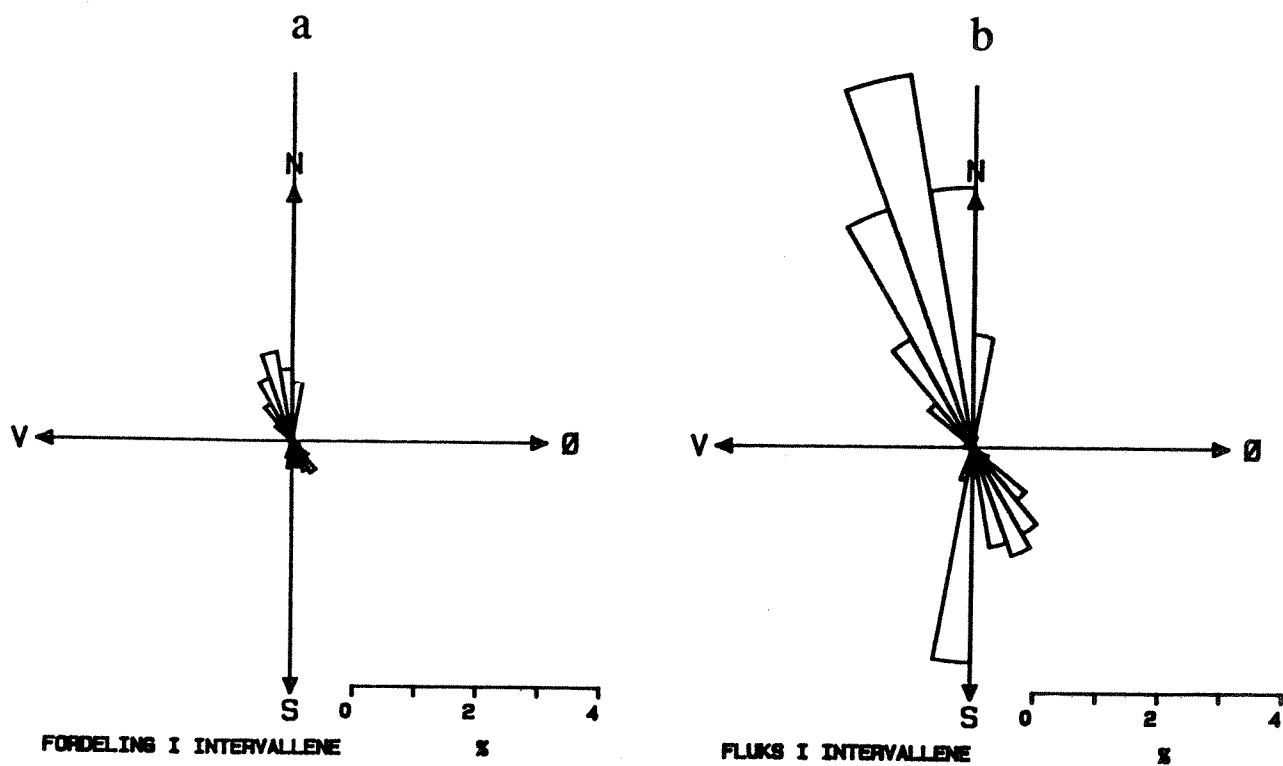
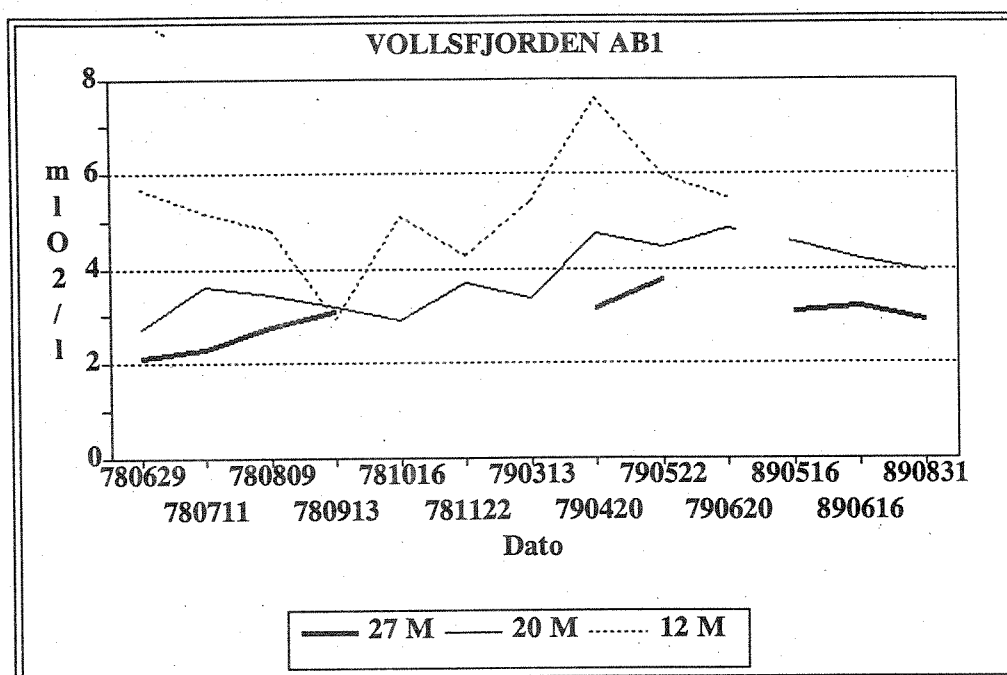
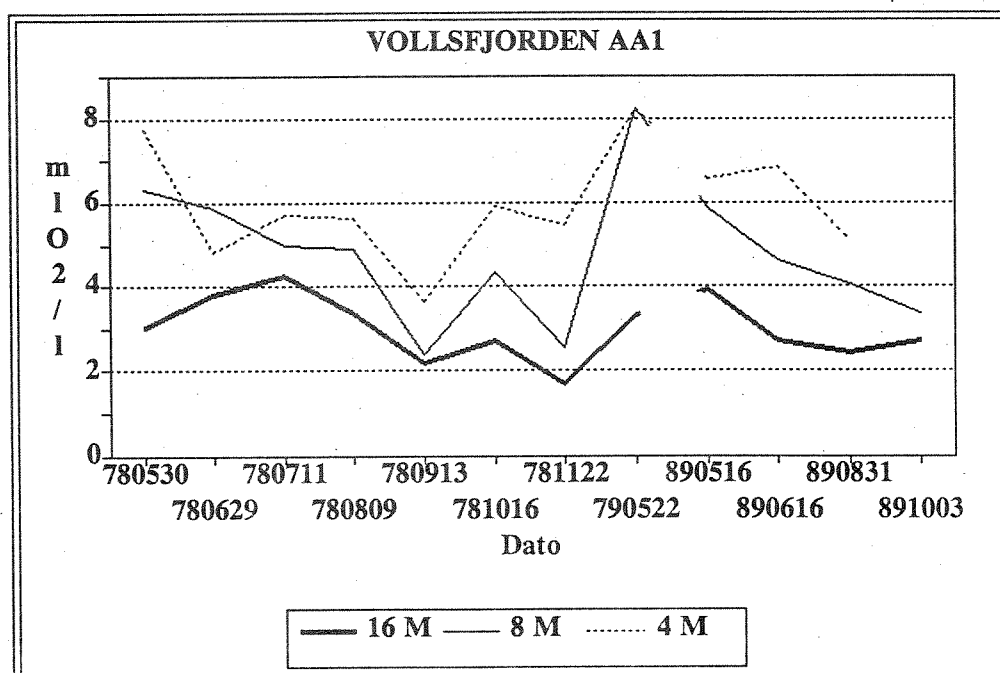


Fig. 4.10 Statistisk oppsummering av strømmålinger i 40 m dyp ved Saltbua, 14.6 - 9.8 1990, fordelt på 15 graders sektorer.
 a: Fordeling av strømretning
 b: Fluks eller volumtransport i sektorene



A



B

Fig. 4.11 Oksygenkonsentrasjoner i utvalgte dyp i Vollsfjorden i 1978-79 og i 1989 (etter Molvær et al., 1980, og Golmen og Molvær, 1990). A: Midtre del (st. AB1). B: Indre del (st. AA1).

5. VANNUTSKIFTNING I EIDANGER- OG LANGESUNDSFJORDEN

5.1. Topografi og vannmasser.

Fig. 2.1 gav en enkel oversikt over fjorden, samt plassering av den hydrografiske målestasjonen. Fjordens største dyp er 129 m i Langesundsfjordens søndre del. Dypeste innløp går gjennom Dybingen, der største dyp er ca. 55 m.

Fig. 5.1 viser kurver for hvordan areal og volum varierer i forhold til dypet. Overflatearealet er ca. 15 km², og totalt volum ca. 755 mill. m³. Som for Friierfjorden er det hensiktsmessig å inndele fjordens vannmasser i overflatelag, intermediært lag og dypvann. Vi vil omtale vannutskiftningen i disse tre lagene.

5.2. Overflatelag og intermediært vannlag.

Overflatelaget er oftest ca. 3 m tykt. Saltholdigheten varierer i intervallet ca. 1-25 o/oo, i hovedsak med vannføringen i Skiensselva. Vanlig saltholdighet er omkring 12 o/oo. Det intermediære vannlaget strekker seg fra ca. 3 m til 55 m.

Det er ikke utført noe inngående studie av vannutskiftningen i overflatelaget. For strekningen Brevik - Langesund kan imidlertid strømmålinger fra 1965, 1966 og 1967 gi gode holdepunkt (Vassdrag- og Havnelaboratoriet, 1965, 1966 og 1967). Ved en ferskvannstilførsel på ca. 200-400 m³/s i Skiensselva målte man oftest strømhastigheter på 0.2-0.3 m/s. For strekningen Brevik - Langesund (ca. 7 km) tilsvarer dette en oppholdstid på 7-10 timer. Under flom (550-700 m³/s) målte man ca. 50 cm/s, som tilsvarer en oppholdstid på ca. 4 timer.

I den inngående sjøvannsstrømmen, øverst i det intermediære vannlag, målte man samtidig hastigheter på 15-20 cm/s ved høy ferskvannstilførsel. Ved 200-250 m/s var hastigheten lavere enn 10 cm/s.

Eidangerfjorden er lite påvirket av brakkvannsstrømmen ut gjennom Breviksundet, og det er heller ikke utført strømmålinger i området. Ved de samme målingene som er referert ovenfor fra 1965-67, ble det imidlertid observert innstrømmende brakkvann under flom i Skiensselva.

Oppholdstiden for overflatelaget vil være betydelig lenger enn for Brevik- og Langesundsfjorden, og variere mye med bl.a. skiftende vindforhold. Generelt vil vi anslå den til å variere i intervallet 2-7

døgn. Med en lengde på ca. 6.5 km, vil en oppholdstid på 2 døgn tilsvare en gjennomsnittlig hastighet på ca. 4 cm/s ut fjorden. Dette er ikke urealistisk ved nordlig vind.

For det intermediære vannlag vil vi gjøre vurderinger basert på variasjoner i saltholdighet - som kan betraktes som en konservativ størrelse. Under intensivundersøkelsen 24.4 - 24.8 1988 ble det utført nær ukentlige målinger av temperatur og saltholdighet på st. FG1.

Fig. 5.2 viser saltholdighet i 20 m dyp i Langesundsfjorden og Langesundsbukta i dette tidsrommet. I likhet med målingene i kap. 4.5 tyder de på en nærmest fullstendig utskiftning over et tidsrom på 1-3 uker. Samvariasjonen er stor ($r^2=0.93$), og viser at det intermediære vannlag i Langesundsfjorden skiftes ut nesten helt i takt med de større tetthetsvariasjonene i Langesundsbukta.

Anvender vi den empiriske formelen utviklet av Stigebrandt og Aure (1990) gir den en midlere vannutskiftning på 640 m³/s for en vannoverflate på 15 km². For vannmassen i ca. 5-55 m dyp (500 mill. m³) gir dette en midlere oppholdstid på ca. 9 døgn. Ofte vil utskiftning skje på betydelig kortere tid.

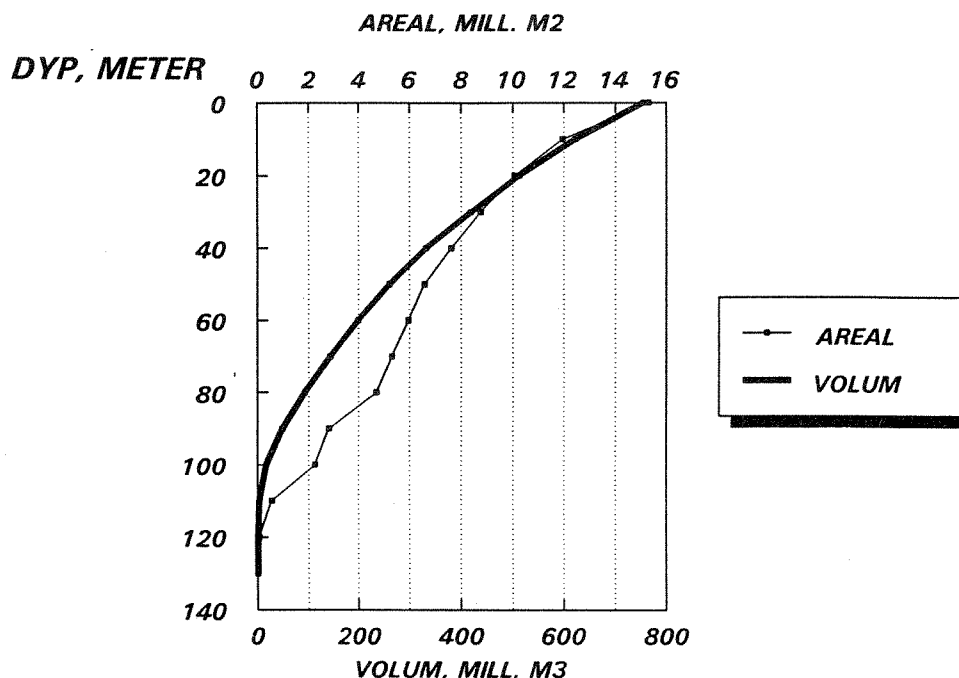


Fig. 5.1 Arealer og volumer i Eidanger- og Langesundsfjorden. Kurvene angir arealet i det aktuelle dyp og samlet volum under dette dypet.

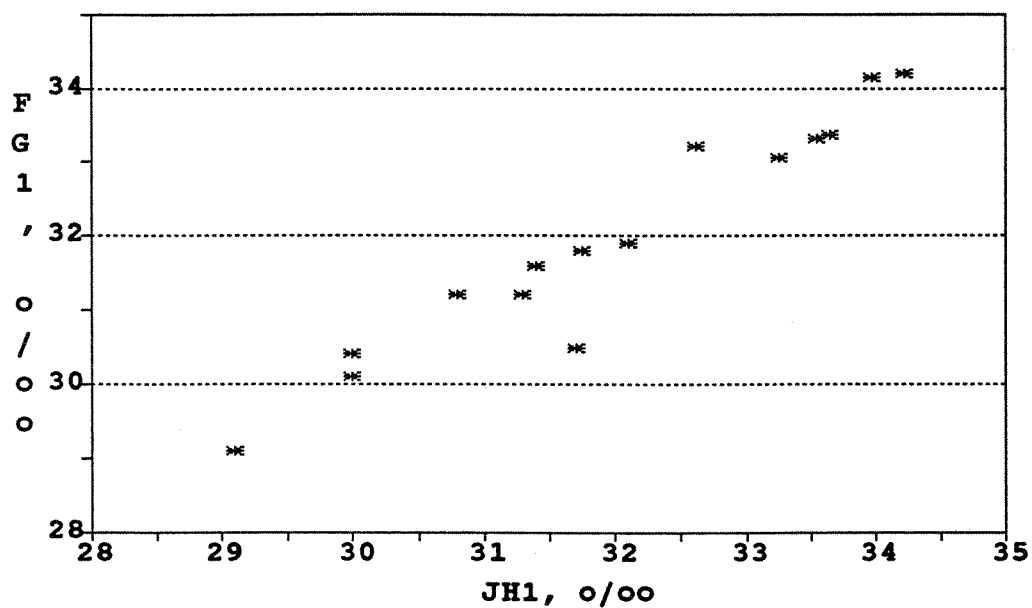
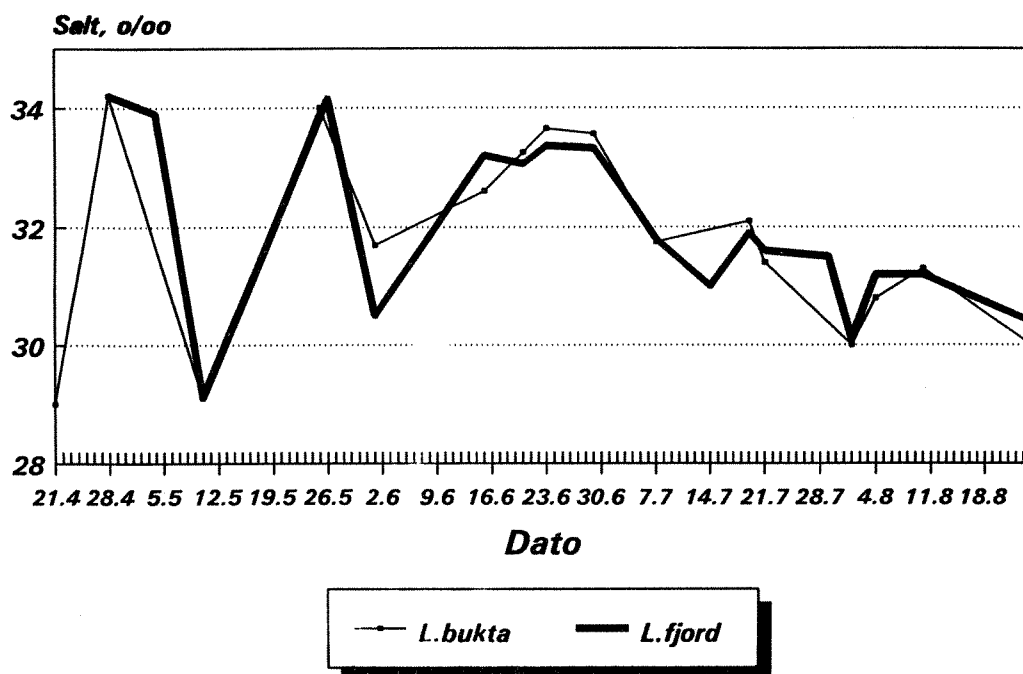


Fig. 5.2 Saltholdighet i 20 m dyp i Langesundsfjorden og i Langesundsbukta i tidsrommet 24.4 - 24.8 1988. Øverst som tidsserie. Nederst plottet mot hverandre.

5.3. Dypvannet.

Langesundsfjordens dypvann fornyes gjennom en kontinuerlig vertikal blandingsprosess (vertikal turbulent diffusjon), og ved terskeloverskyllinger av vann med tilstrekkelig høy egenvekt til at vannmassen synker ned i dypvannet og helt eller delvis fornyer dette. Større dypvannsfornyelser skjer vanligvis i vinterhalvåret, eller tidlig på våren. Mindre terskeloverskyllinger kan inntreffe hele året.

Oksygenforholdene gir den sikreste indikatoren på utskiftningen i en terskelfjord. Fig. 5.3 viser oksygenkonsentrasjonene i dypvannet på st. FG1. Dypvannet var overveiende stagnant sommer og høst 1988, fram til oktober/november da en serie store terskeloverskyllinger begynte. Disse varte fram til mars -april 1989, da dypvannet gikk inn i en ny stagnasjonsperiode med synkende oksygenkonsentrasjoner.

I dette tidsrommet gir strømmålingene i 80 m dyp - ca. 25 m under terskelen - et inntrykk av hvordan stagnasjonsperioden forløp (fig. 5.4-5.5). Måleserien omfattet tidsrommet 14.6 - 9.8.88, og figurene viser dels oppsummerende statistikk og del strømkomponenten langs nord-sør aksen. Strømmåleren har 1.5 cm/s som nedre målelerskel.

- * Forholdene var preget av korte perioder med målbar strøm - oftest 2-6 cm/s - og lange perioder med strømhastighet <1.5 cm/s. I dette mønstret sees både halvdaglig tidevann og effekten av mer irregulære påvirkninger, sannsynligvis fra mindre terskeloverskyllinger. Hastigheten var mindre enn i Frierfjorden, og grunnen er at målingene i Langesundsfjorden ble utført på større dyp (80 m dyp, mot 40 m dyp i Frierfjorden).
- * Totalt var det overveiende nordgående strøm, og volumtransporten var følgelig også i hovedsak rettet nordover (fig. 5.5).

Målingene illustrerer således at en stagnasjonsperiode ikke er ensbetydende med en periode med stillestående dypvann, men en periode med liten vannutskiftning.

Utviklingen i dypvannet hadde et tidsforløp som regelmessig har blitt observert under overvåkingsprogrammet i Grenlandsfjordene. Situasjonen den 6.10.88 er imidlertid spesiell. Et så raskt fall i oksygenkonsentrasjonen i hele dypvannet har ikke tidligere blitt registrert. I 70 m dyp var nedgangen ca. 2.6 mlO₂/l over 30 dager. Til sammenligning var 0.73 mlO₂/l største nedgang som ble registrert i seks klare stagnasjonsperioder i tidsrommet 1974-88. I de fleste perioder var nedgangen ca. 0.2 mlO₂/l (Stigebrandt et al., 1990). I Håøyfjorden var

oksyggenedgangen 0.74 mlO₂/l i 200 m dyp over samme tidsrom

Det høye oksygenforbruket forut for 6.10.88 er uforklarlig og lite sannsynlig, men det er ikke påvist feil ved konservering av prøvene eller ved analysene.

På basis av disse målingene vil vi anslå 5-8 måneder som en vanlig oppholdstid for Langesundsfjordens dypvann.

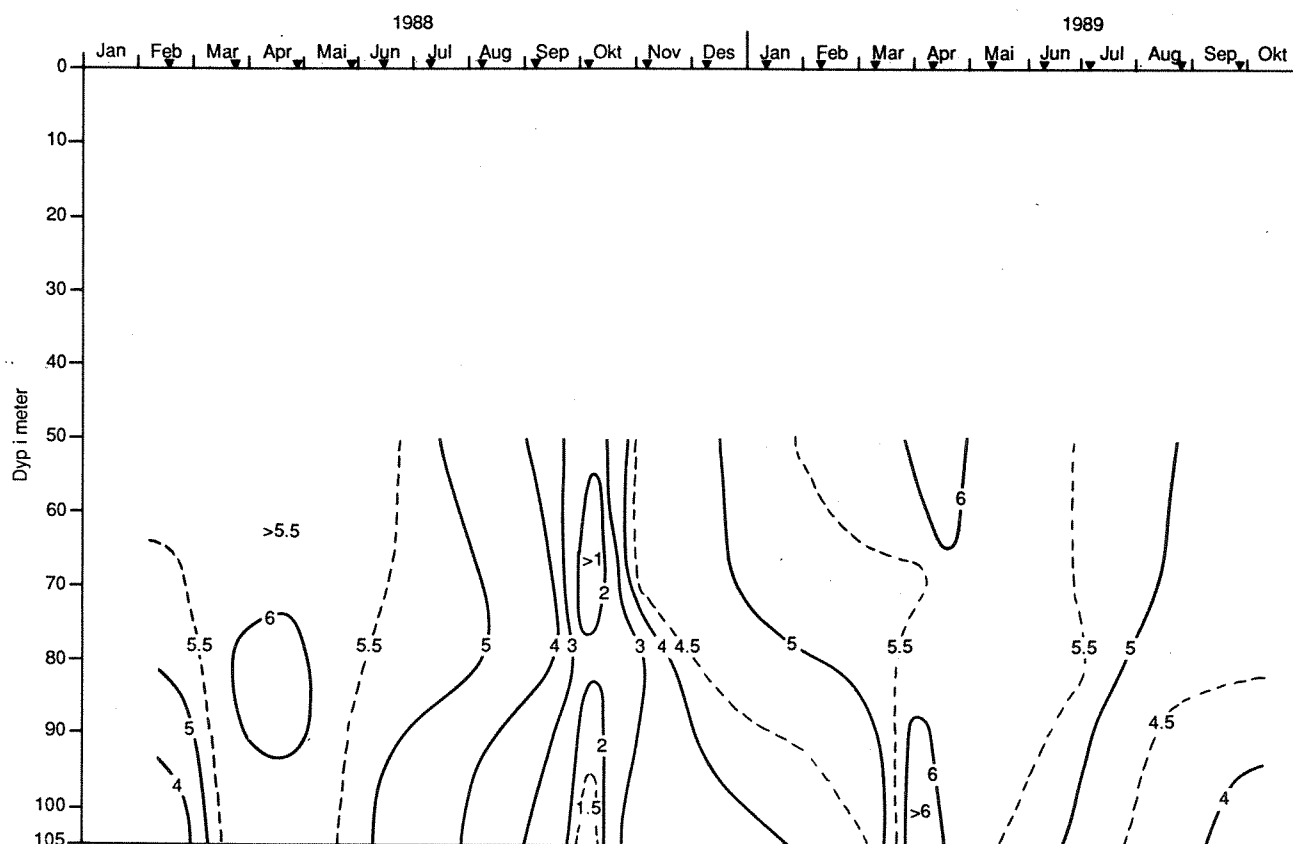


Fig. 5.3 Oksygenforhold i Langesundsfjordens dypvann.

>3.5 mlO₂/l: tilfredsstillende

2-3.5 mlO₂/l: dårlig

0-2 " : kritisk

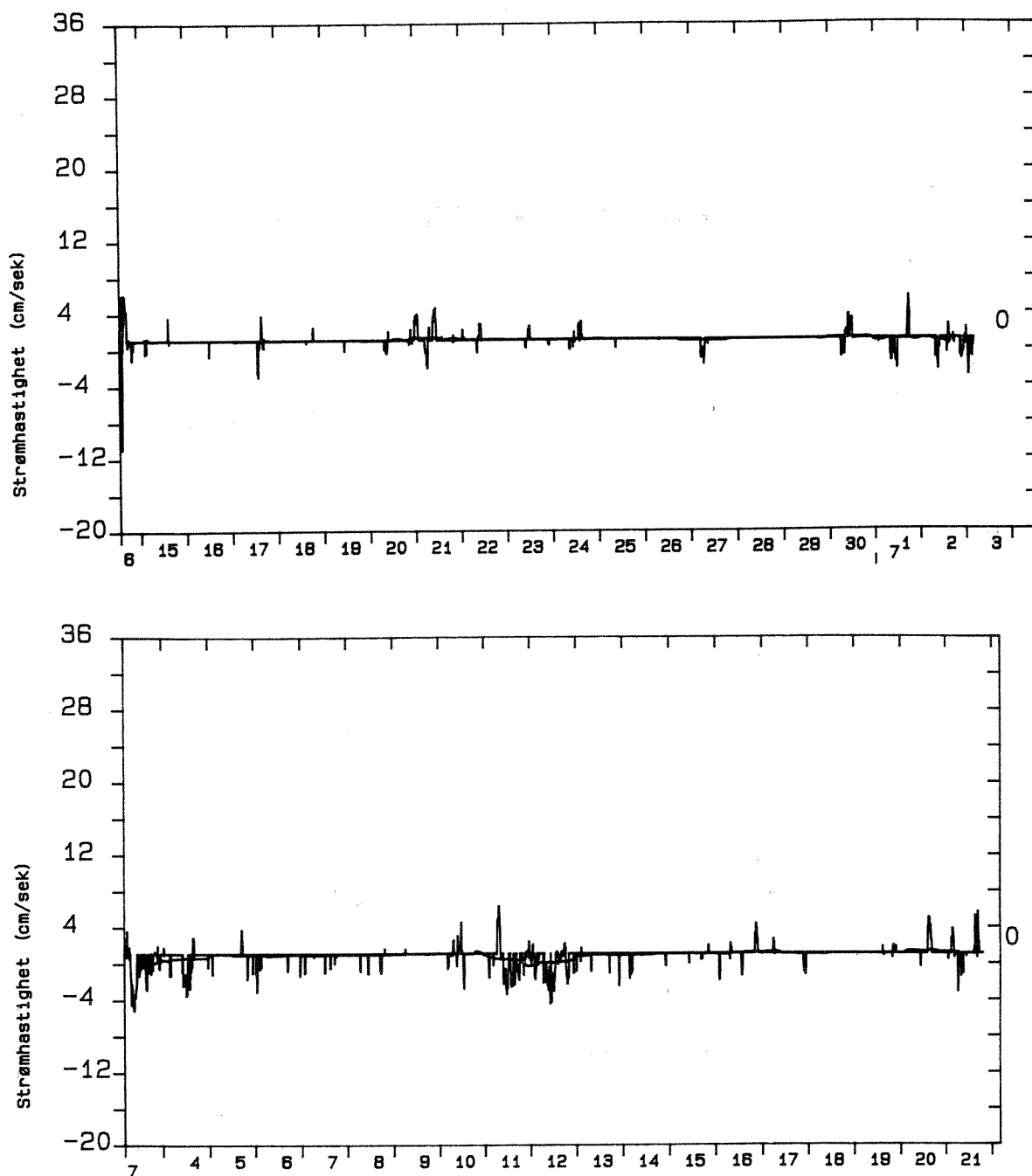


Fig. 5.4 Strømmens nord(+) - sør(-) komponent i 80 m dyp i Langesundsfjorden 14.6 - 9.8 1988. Resultatene er fordelt på tre figurer over to sider.

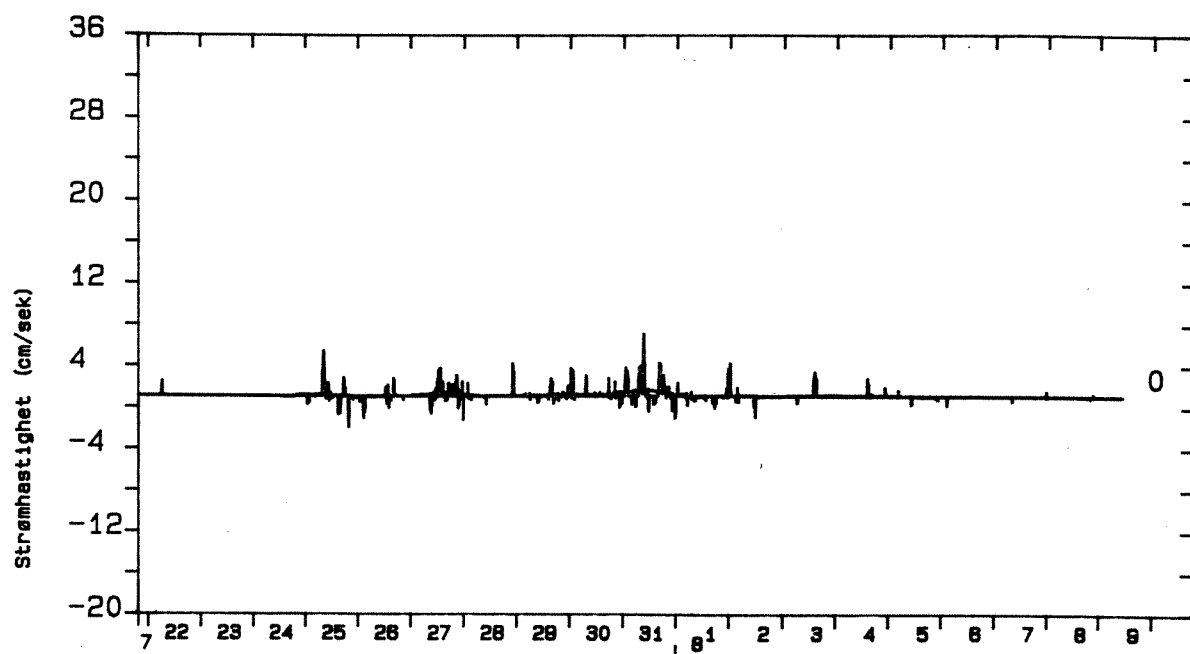


Fig. 5.4 forts.

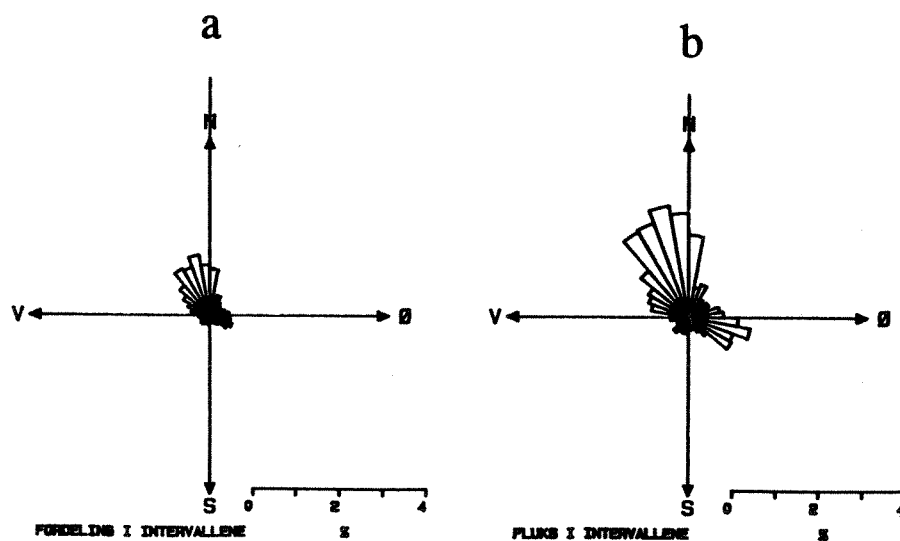


Fig. 5.5 Statistisk oppsummering av strømmålinger i 80 m dyp i Langesundfjorden 14.6 - 9.8 1990, fordelt på 15 graders sektorer.

a: Fordeling av strømretning

b: Fluks eller volumtransport i sektorene

6. VANNUTSKIFTNING I ORMEFJORDEN.

6.1. Topografi og vannmasser.

Fig. 2.1 gir en enkel oversikt over fjorden, samt plassering av den hydrografiske målestasjonen. Fjordens største dyp er 58 m. Dypeste innløp går mellom Hesteholmen og Sandøy der største dyp er ca. 20 m. Ormefjorden er altså en utpreget terskelfjord, med trangt innløp.

Fig. 6.1 viser kurver for hvordan areal og volum varierer i forhold til dypet. Overflatearealet er ca. 2 km², og totalt volum ca. 47 mill. m³. Også for Ormefjorden er det hensiktsmessig å inndele fjordens vannmasser i tre lag, fig. 6.2. Vi vil omtale vannutskiftningen i disse tre lagene.

6.2. Overflatelag og intermediært vannlag.

Overflatelaget er oftest ca. 3 m tykt. I måleperioden varierte saltholdigheten i intervallet ca. 6-20 o/oo, med ca. 12 o/oo som gjennomsnitt.

Det er ikke utført noe inngående studie av vannutskiftningen i overflatelaget og intermediært vannlag. Vi vil imidlertid støtte oss til vurderinger basert på variasjoner i saltholdighet - som kan betraktes som en konservativ størrelse.

Under intensivundersøkelsen 24.4 - 24.8 1988 ble det utført nær ukentlige målinger av temperatur og saltholdighet i Ormefjorden. Fig. 6.2 viser variasjonene i saltholdighet i 20 dyp i dette tidsrommet, sammen med tilsvarende målinger i Langesundsbukta. De tyder på en nærmest fullstendig utskiftning over et tidsrom på ikke mer enn 1-2 uker. Denne korte oppholdstiden passer med at samvariasjonen med skiftningene i Langesundsbukta svært god ($r^2=0.99$).

Anvender vi også her modeller fra Stigebrandt og Aure (1990), får vi en utskiftning på ca. 50 m³/s/km². For Ormefjordens vannoverflate på ca. 2 km² gir det 100 m³/s. Ettersom fjorden ikke har noen større ferskvannstilførsel som kan drive en estuarin sirkulasjon, bør man kunne anvende denne koeffisienten for hele vannmassen over terskeldypet. For vannmassen i 0-20 m dyp (30 mill. m³) gir dette en midlere oppholdstid på 3.5 dager. Dette bekrefter at vannutskiftningen er god over terskeldypet.

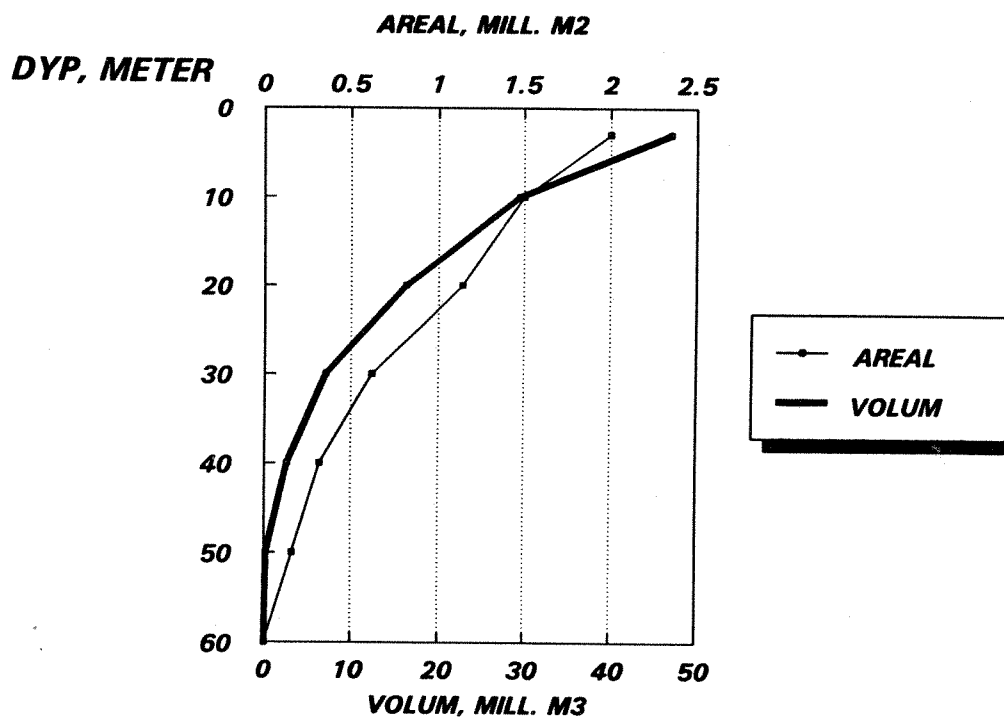


Fig. 6.1 Arealer og volumer i Ormefjorden. Kurvene angir arealet i det aktuelle dyp og samlet volum under dette dypet.

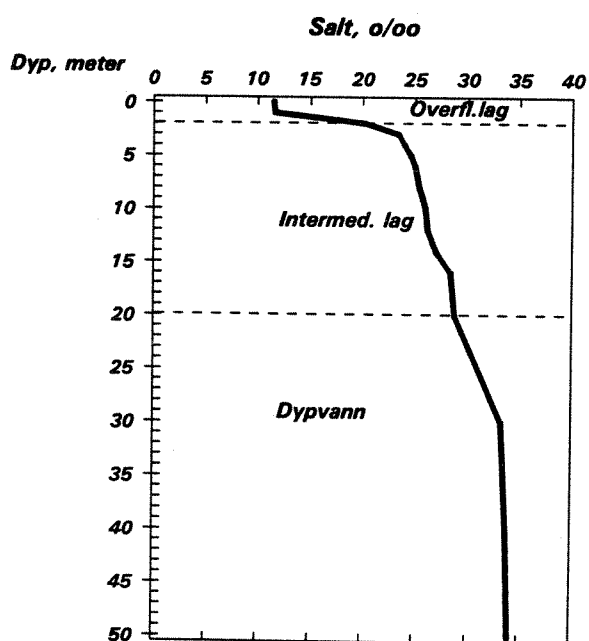


Fig. 6.2 Generell vertikal inndeling av vannmassene i Ormefjorden.

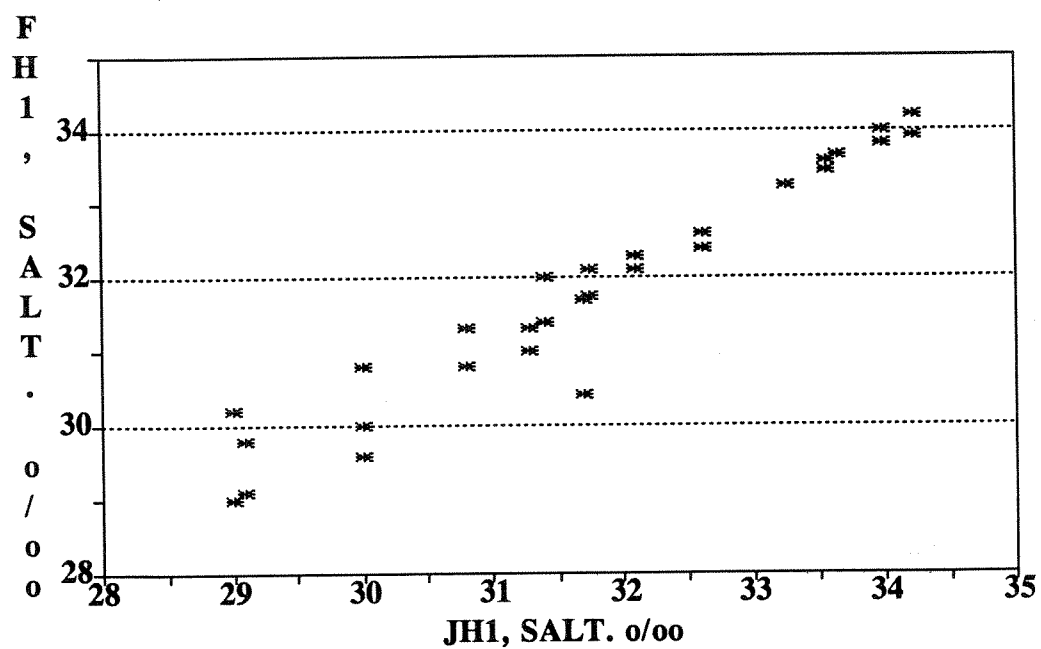
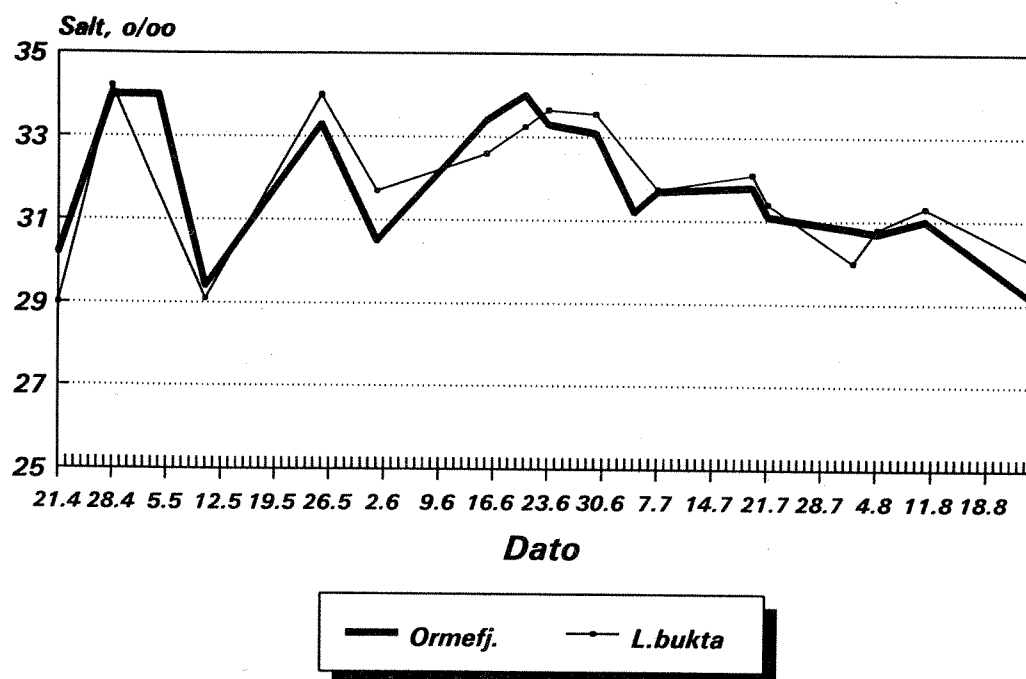


Fig. 6.3 Saltholdighet i 20 m dyp i Ornefjorden og i Langesundsbukta i tidsrommet 24.4 - 24.8 1988. Øverst som tidsserie. Nederst plottet mot hverandre.

6.3. Dypvannet.

Orme fjordens dypvann fornyes gjennom en kontinuerlig vertikal blandingsprosess (vertikal turbulent diffusjon), og ved terskeloverskyllinger av vann med tilstrekkelig høy egenvekt til at vannmassen synker ned i dypvannet og helt eller delvis fornyer dette. Større dypvannsfornyelser skjer vanligvis i vinterhalvåret, eller tidlig på våren. Mindre terskeloverskyllinger kan inntreffe hele året.

Oksygenforholdene gir den sikreste indikatoren på utskiftningen i en terskelfjord. Fig. 6.4 viser forholdene i Orme fjordens dypvann. Vi ser at oksygenforholdene under ca. 25-35 m dyp var kritiske under hele måleperioden, med hydrogensulfid fra ca. 40 m dyp. Dette betyr at det ikke skjedde noen fullstendig utskiftning i dette tidsrommet over ca. 18 måneder.

Dypvannet var overveiende stagnant hele høsten 1988, med noen mindre terskeloverskyllinger i tidsrommet januar - mai 1989. Deretter gikk dypvannet inn i en ny stagnasjonsperiode med forverrede oksygenforhold.

Vi kjenner ikke til data som kan supplere disse målingene, og vil anslå 1-3 år som et vanlig intervall mellom utskiftningene av Orme fjordens dypvann.

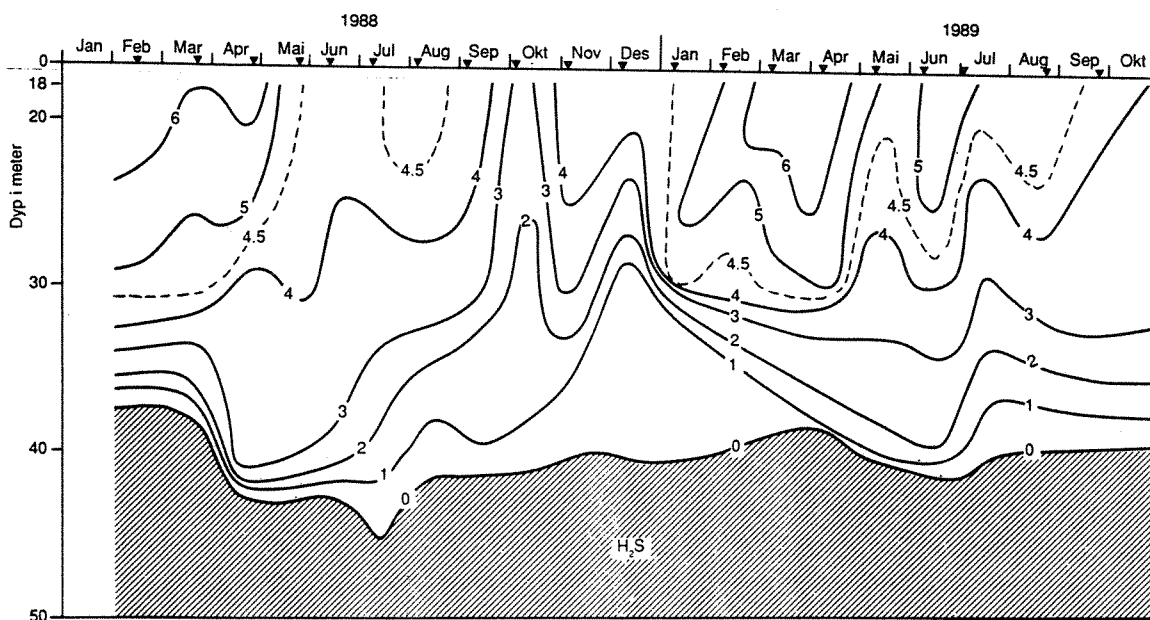


Fig. 6.4 Oksygenforhold i Orme fjordens dypvann februar 1988- sept. 1989.

>3.5 mlO/l : tilfredsstillende

2-3.5 mlO/l: dårlig

0-2 " : kritisk

7. VANNUTSKIFTNING I HÅØYFJORDEN.

7.1. Topografi og vannmasser.

Fig. 2.1 gir en enkel oversikt over fjorden, samt plassering av den hydrografiske målestasjonen. Fjordens største dyp er 210 m, og terskelen ligger i Helgerofjorden mellom Mølen og Stokkøy der største dyp er ca. 33 m. Håøyfjorden er altså en utpreget terskelfjord.

Fig. 7.1 viser kurver for hvordan areal og volum varierer i forhold til dypet. Overflatearealet er ca. 23 km² (inkl. Mørjefjorden og Langangsfjorden), og totalt volum ca. 355 mill. m³. Også for Håøyfjorden er det hensiktsmessig å inndele fjordens vannmasser i tre lag, fig. 7.2. Vi vil omtale vannutskiftningen i disse tre lagene.

7.2. Overflatelag og intermediært vannlag.

Tykkelsen av overflatelaget er oftest 2-3 m. Saltholdigheten varierer i intervallet ca. 6-30 o/oo, med ca. 15 o/oo som gjennomsnitt.

Det er ikke utført noe inngående studie av vannutskiftningen i overflatelag og intermediært vannlag. Vi vil imidlertid støtte oss til vurderinger basert på variasjoner i saltholdighet - som kan betraktes som en konservativ størrelse.

Under intensivundersøkelsen 24.4 - 24.8 1988 ble det utført nær ukentlige målinger på st. G11 i selve Håøyfjorden. Fig. 7.3 viser bl.a variasjonene i 20 m dyp i dette tidsrommet. De tyder på en nærmest fullstendig utskiftning over et tidsrom på 1-3 uker. Korrelasjonskoeffisienten, som r^2 , er 0.88 og viser god forbindelse med Langesundsbukta og kystvannet der.

Anvender vi som før vannutskiftningsmodellen fra Stigebrandt og Aure (1990), får vi en gjennomsnittlig utskiftning av ca. 30 m³/s/km². For en vannoverflate på 23 km², gir dette ca. 700 m³/s som tilsvarer en oppholdstid på ca. 8 døgn. Dette stemmer altså rimelig godt med vurderingene basert på tidsvariasjoner i saltholdighet.

Vi antar samme gjennomsnittlig vannutskiftning som for Langesundsfjorden, dvs. ca. 15-20 m³/s/km². For Håøyfjordens vannoverflate på ca. 5 km² gir det 75-100 m³/s, som for vannmassen i 5-30 m dyp (ca. 100 mill. m³) gir en midlere oppholdstid på ca. 2 uker. Dette stemmer med vurderingene basert på tidsvariasjoner i saltholdighet.

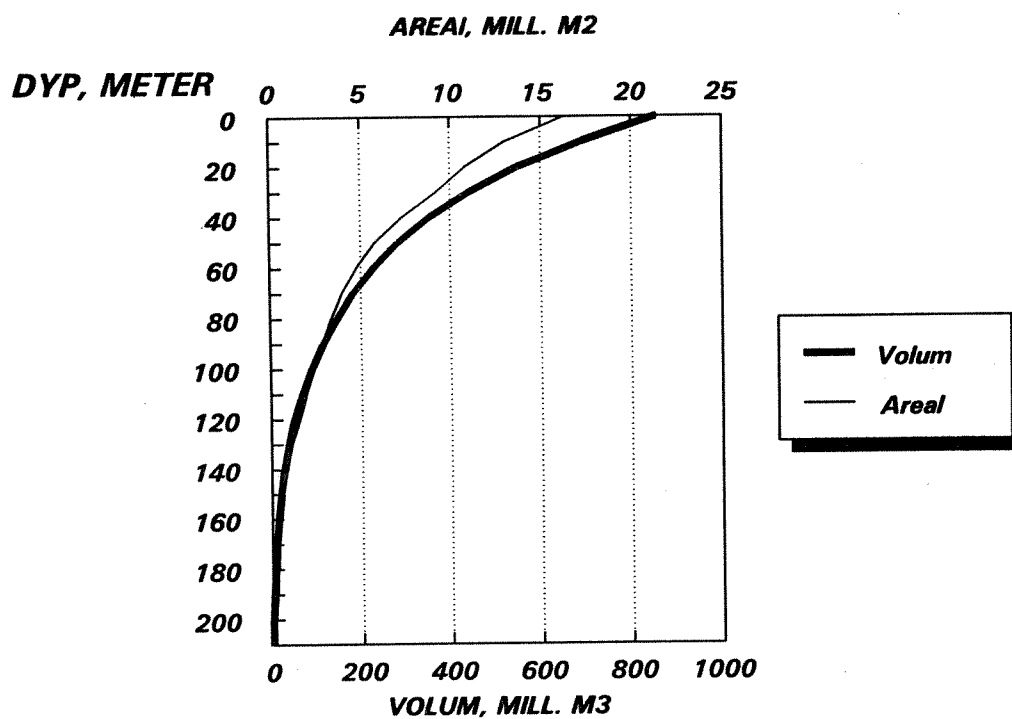


Fig. 7.1 Arealer og volumer i Håøyfjorden. Kurvene angir arealet i det aktuelle dyp og samlet volum under dette dypet.

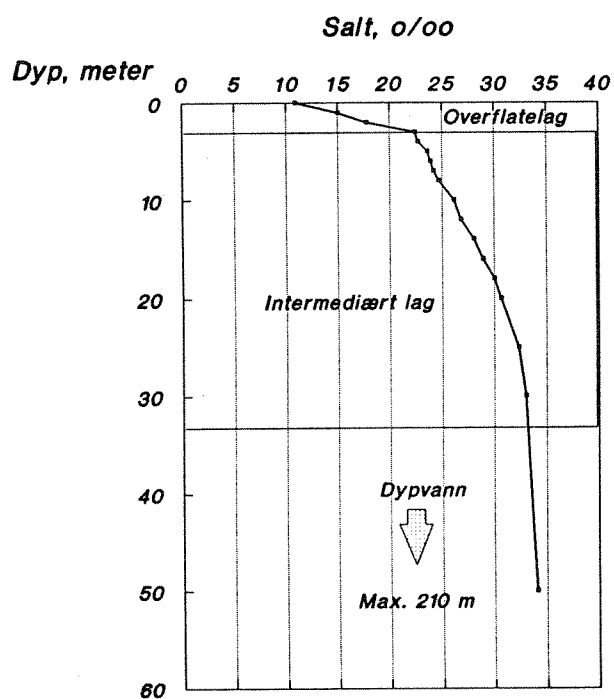


Fig. 7.2 Generell vertikal inndeling av vannmassene i Håøyfjorden.

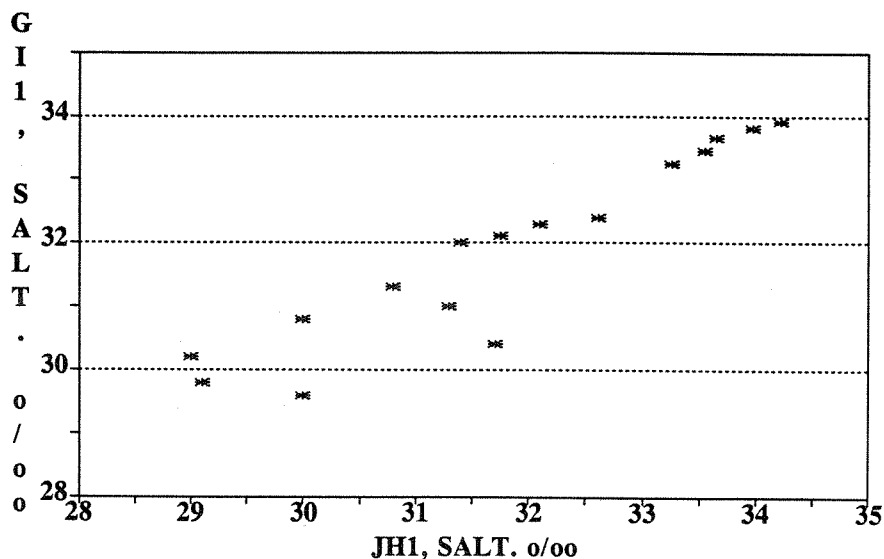
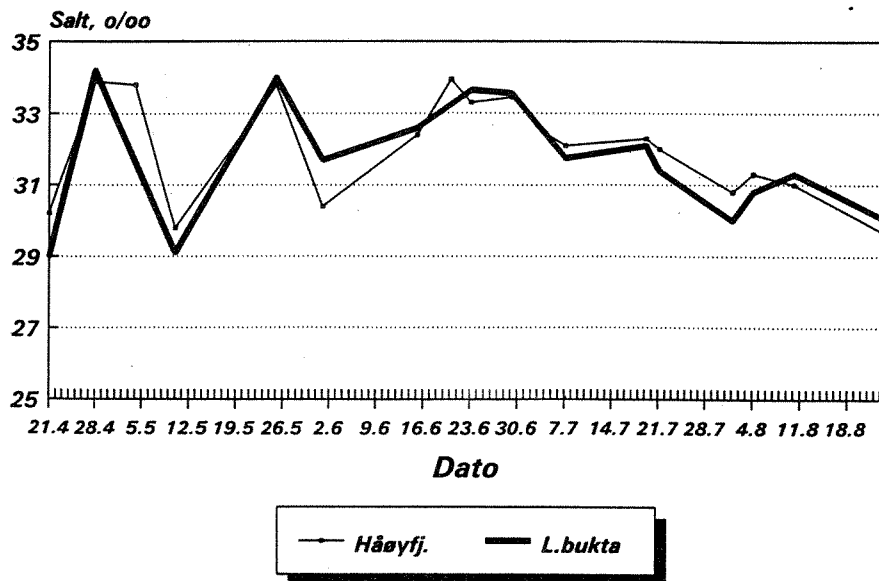


Fig. 7.3 Saltholdighet i 20 m dyp i Håøyfjorden og i Langesundsbukta i tidsrommet 24.4 - 24.8 1988. Øverst som tidsserie. Nederst plottet mot hverandre.

7.3. Dypvannet.

Håøyfjordens dypvann fornyes gjennom en kontinuerlig vertikal blandingsprosess (vertikal turbulent diffusjon), og ved terskeloverskyllinger av vann med tilstrekkelig høy egenvekt til at vannmassen synker ned i dypvannet og helt eller delvis fornyer dette. Større dypvannsfornyelser skjer vanligvis i vinterhalvåret, eller tidlig på våren. Mindre terskeloverskyllinger kan inntreffe hele året.

Oksygenforholdene gir den sikreste indikatoren på utskiftningen i en terskelfjord. Fig. 7.4 viser forholdene i Håøyfjorden.

Oksygenforholdene under ca. 110 m dyp var kritiske under hele måleperioden, episodevis helt opp til ca. 40 m (oktober 1988). Dette var samme toktet da det ble observert uvanlig lave konsentrasjoner i Langesundsfjorden. Målingene viser at det ikke skjedde noen fullstendig utskiftning i et tidsrom på ca. 18 måneder. Laveste konsentrasjon i 200 m dyp var 0.2 mlO₂/l.

Vi kjenner ikke til data som kan supplere målingene ovenfor. På basis av målingene i 1988-89 vil vi anslå 1-2 år som vanlig oppholdstid for Håøyfjordens dypvann.

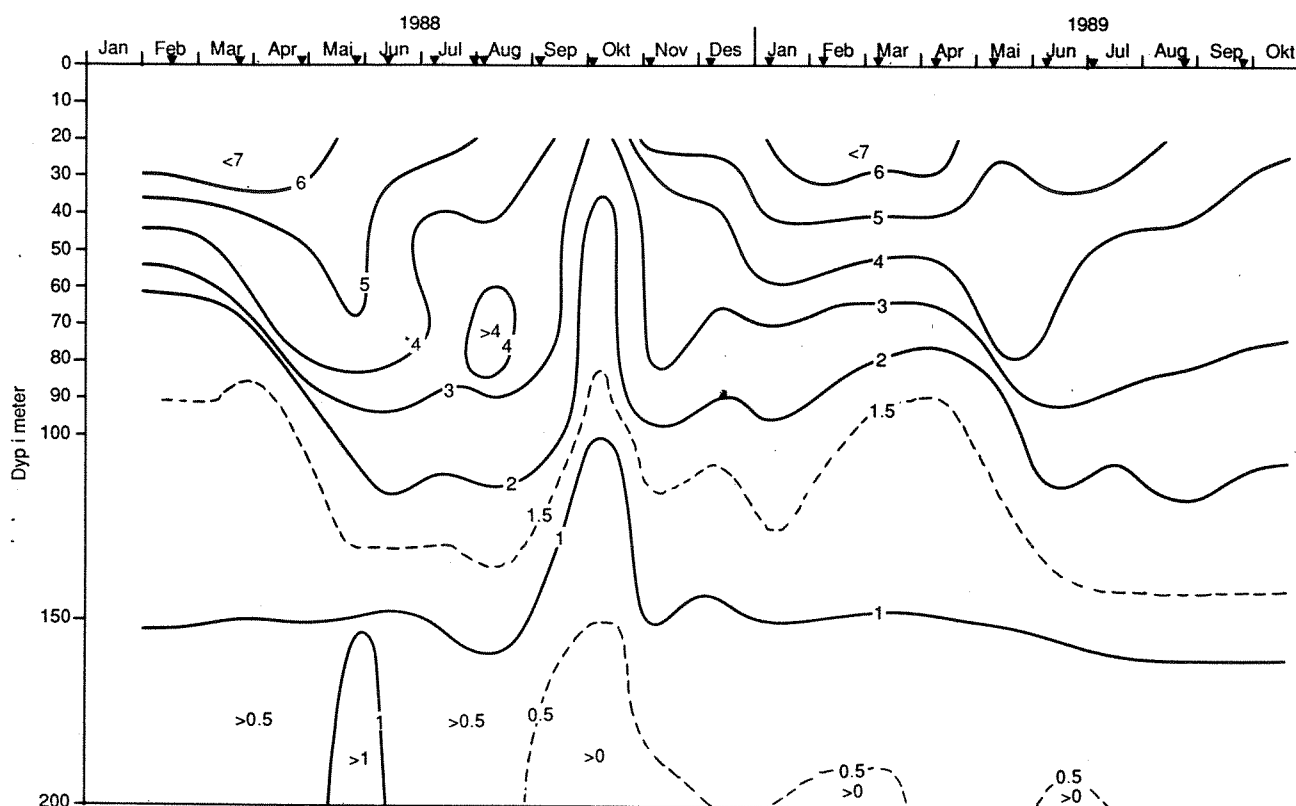


Fig. 7.4 Oksygenforhold i Håøyfjordens dypvann fra februar 1988 til september 1989:

- >3.5 mlO₂/l: tilfredsstillende
- 2-3.5 mlO₂/l: dårlig
- 0-2 " : kritisk

8. LITTERATUR

- Golmen, L. og Molvær, J., 1990: Resipientovervåking i Vollsfjorden i Telemark. Oppfølgende undersøkelser i 1989. NIVA-rapport nr. 2390. Bergen/Oslo. 43 sider.
- Johansen, Ø., Kolstad, S., Bokn, T. og Rygg, B., 1973: Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 1. Tidligere undersøkelser - Generelle forhold - Forurensningstilførsler. NIVA-rapport O-111/70. Oslo. 93 sider.
- Molvær, J., 1975: Strøm- og sjiktningsmålinger i Frierfjorden. Rapport nr. 2. Måleresultater mai-juni 1975 - Sammenfattende vurderinger. NIVA-rapport O-112/74. Oslo. 25 sider + figurer.
- Molvær, J., 1976: Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 4. Framdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen i fjordområdene mars 1974 - desember 1975. NIVA-rapport O-111/70. Oslo. 49 sider + figurer.
- Molvær, J., Bokn, T., Kirkerud, L., Kvalvågnæs, K., Nilsen, G., Rygg, B. og Skei, J., 1979: Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 8. Sluttrapport. NIVA-rapport nr. 1103. Oslo. 253 sider.
- Molvær, J., Rygg, B. og Skei, J., 1980: Resipientundersøkelse av Vollsfjorden, Skien kommune. NIVA-rapport nr. 1182. Oslo. 44 sider.
- Stigebrandt, A. and Aure, J., 1990: De ytre drivkreftenes betydning for vannutskiftningen i fjordene fra Skagerrak til Finnmark. Rapport FO 9003. Havforskningsinstituttet. Bergen.
- Stigebrandt, A. og Molvær, J., 1990: Undersøkelse av eutrofisituasjonen i Grenlandsfjordene. Rapport nr. 2. Modell for miljøeffekter fra utslipp av næringssalter, oppløst og partikulært materiale. NIVA-rapport nr.2534. Oslo. 74 sider.
- Stigebrandt, A., Aure, J. og Molvær, J., 1990: Videreføring av metode for bestemmelse av effekter av fiskeoppdrett på oksygenforhold i terskelfjorder. Fase 1. Notat. Havforskningsinstituttet, Bergen, Norsk institutt for vannforskning, Oslo. 13 sider.
- Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1965: Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600235. III

+ 4 s. og 13 bilag.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1966: Utvidelse av skipsleden i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600262. VIII + 44 s. og 64 bilag.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1967: Kjølevannsanlegg. Delrapport nr. 2 for oppdragsnr. 600306. Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden og Langesundsfjorden 16.-18. august 1967. 12 s. pluss fig. 1-27.

VEDLEGG

TERSKELTOPOGRAFI

1. Frierfjordens terskel ved Brevik:

Dyp, m	Bredde, m	Areal, m ²
0	200	2725
10	140	1025
20	50	75
23	0	0

2. Langesundsfjordens terskel:

Dyp, m	Bredde, m	Areal, m ²
0	1200	16800
10	580	7900
20	320	3400
30	100	1300
40	80	400
50	0	0

3. Ornefjordens terskel:

Dyp, m	Bredde, m	Areal, m ²
0	500	4700
10	180	1300
20	50	150
26	0	0

4. Håøyfjordens terskel:

Dyp, m	Bredde, m	Areal, m ²
0	1000	16960
10	650	8710
20	490	3010
30	80	160
34	0	0

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, 0808 Oslo
ISBN 82-577-1922-6

