

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Brekke

0-7612903

OVERVÅKING AV FORURENSNINGER  
I GRENLANDSFJORDENE OG SKIENSELVA I 1978

Delrapport nr. 3:

Undersøkelser av vannutskiftningsforholdene.

Brekke, 10. september 1979

Saksbehandler: *Cand.real. Brage Rygg*

Instituttetsjef *Kjell Baalsrud*

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80  
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60  
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-76129
Undernummer: V
Løpenummer: 1143
Begrenset distribusjon:

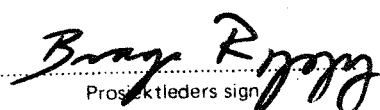

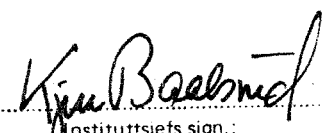
Rapportens tittel: Overvåking av forurensninger i Grenlandsfjordene og Skienselva i 1978. Delrapport nr. 3: Undersøkelser av vannutskiftningsforholdene.	Dato: 1979 09 10
	Prosjektnummer: 0-7612903
Forfatter(e):  Jarle Molvær	Faggruppe:
	Geografisk område: Telemark fylke
	Antall sider (inkl. bilag): 22

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

Ekstrakt:  
Etter en stagnasjonsperiode fra april 1977 ble 60-80% av Frierfjordens dypvann utskiftet i februar-mars 1978. Resten av året var dypvannet stagnant. Under vårflommen i Skienselva ble sjøvannslaget presset nesten helt tilbake til Frierfjorden.

4 emneord, norske:
1. Grenlandsfjordene
2. Miljøovervåking
3. Vannutskiftning
4. Vannforurensning

4 emneord, engelske:
1.
2.
3.
4.

    
Prosjektleders sign.:                      Seksjonsleders sign.:                      Instituttets sign.:

ISBN 82-577-0199-8

FORORD

Rapporteringen av resultatene fra overvåkingen i Grenlandsområdet i 1978 skjer i form av kortfattede delrapporter. Hver delrapport omfatter et avgrenset emne. Når alle delrapportene er ferdige, samles de i en årsrapport. I årsrapporten gis en helhetlig vurdering av forurensningstilstanden.

Årsrapporten for 1977 (NIVA 1979) gir en nærmere beskrivelse av overvåkingsarbeidet i Grenlandsfjordene og Skienselva.

Resultater fra undersøkelsene i 1978 er tidligere rapportert i Delrapport nr. 1 (Miljøgifter i taskekrabbe, blåskjell og alger) og Delrapport nr. 2 (Metaller og partikulært materiale i vannmassene).

Brekke, 10. september 1979

  
Jarle Mofver

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

	Side:
FORORD	1
INNLEDNING	4
METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE FORHOLD I 1978	7
VANNUTSKIFTNINGEN I OVERFLATELAGET OG DYPVANNET	11
LITTERATUR	22

F I G U R F O R T E G N E L S E

Figur 1. Stasjoner for undersøkelser av vannutskiftning og vannkvalitet.	4
Figur 2. Langsgående dybdesnitt Frierfjorden-Langesundsfjorden	5
Figur 3. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser etter saltholdighet	7
Figur 4. Den månedlige middeltemperaturens avvik fra normalen for Jomfruland fyr i 1978.	8
Figur 5. Den månedlige nedbør ved Jomfruland fyr i 1978, fremstilt som prosent av normalen.	8
Figur 6. Vindforholdene på Langøyntangen i 1978.	9
Figur 7. Ukemidler av vannføringen i Skienselva, målt ved Skotfoss i 1978.	10
Figur 8. Vannføring i Skienselva og saltholdighet i 0.5 m dyp på st. BC-1, Frierfjorden, under toktene i 1978.	11
Figur 9. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) i 1978.	15
Figur 10. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i saltholdighet ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1978.	15
Figur 11. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.	15
Figur 12. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) i 1978.	16
Figur 13. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i saltholdighet ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1978.	16
Figur 14. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.	17
Figur 15. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i oksygenforhold ( $\text{ml O}_2/1$ ) i 1978.	17

	Side:
Figur 16. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) i 1978.	18
Figur 17. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i saltholdighet ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1978.	18
Figur 18. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.	19
Figur 19. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i oksygeninnhold (ml $\text{O}_2/1$ ) i 1978.	19
Figur 20. Oksygenforhold (ml $\text{O}_2/1$ ) 7.-8.2.1978.	20
Figur 21. Oksygenforhold (ml $\text{O}_2/1$ ) 7.-8.3.1978.	21

T A B E L L F O R T E G N E L S E

Tabell 1. Stasjoner, prøvetaking og analyseprogram for hydrokjemitoktene til Skienselva og Grenlandsfjordene i 1978.	6
--	---

## INNLEDNING

I 1978 ble det gjennomført i alt fire hydrokjemis-tokt i overvåkingsprogrammet. Tidspunktene var: 7. - 8. mars, 30. - 31. mai, 8. - 9. august og 21. - 22. november.

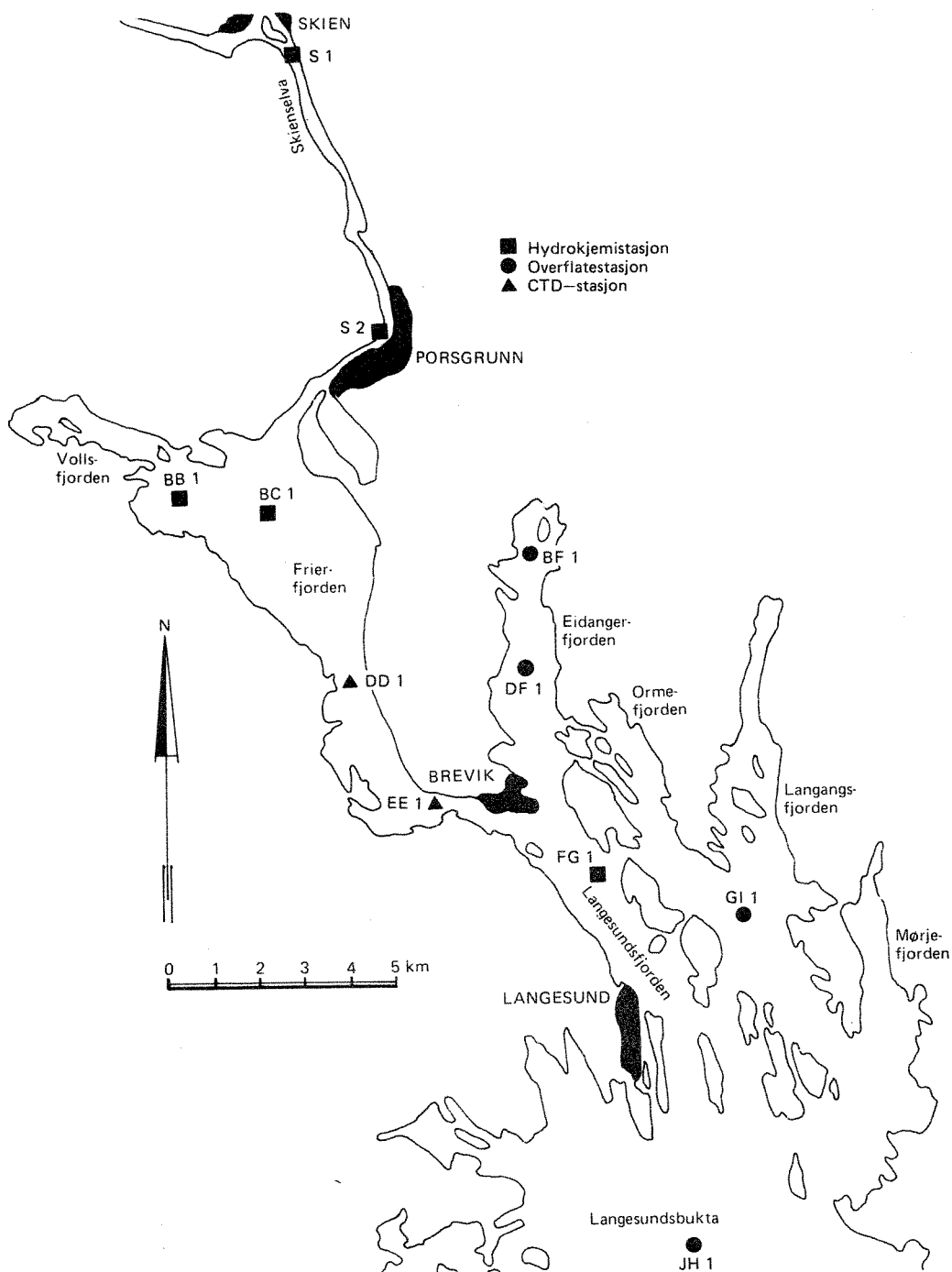


Fig. 1. Stasjoner for undersøkelser av vannutskiftning og vannkvalitet.

Ni faste stasjoner inngår i overvåkningsprogrammet. Prøvetaking, analyseprogram og posisjon for disse fremgår av tabell 1 og figur 1.

Som standard prøvetakingsdyp brukte vi: 0-2m, 4m, 8m, 12m, 16m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m, 80m og 100m. Nederste dyp ble tilpasset bunndypet på den aktuelle stasjonen. I Frierfjorden ble det også innsamlet prøver fra 25 m dyp.

I den utstrekning tiden tillot det tok vi på St. DD-1 og EE-1 vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet med en såkalt STD-sonde (Saltholdighet - Temperatur - Dyp).

En langsgående bunnprofil av strekningen Frierfjorden - Langesundsbukta med inntegnet stasjonsplassering er vist på Fig. 2. Vi merker oss tersklene ved Brevik (23 m dyp) og ved Kjørtingen (50 m dyp). Disse tersklene er vesentlige hinder for utskiftningen av dypvannet i bassengene innenfor.

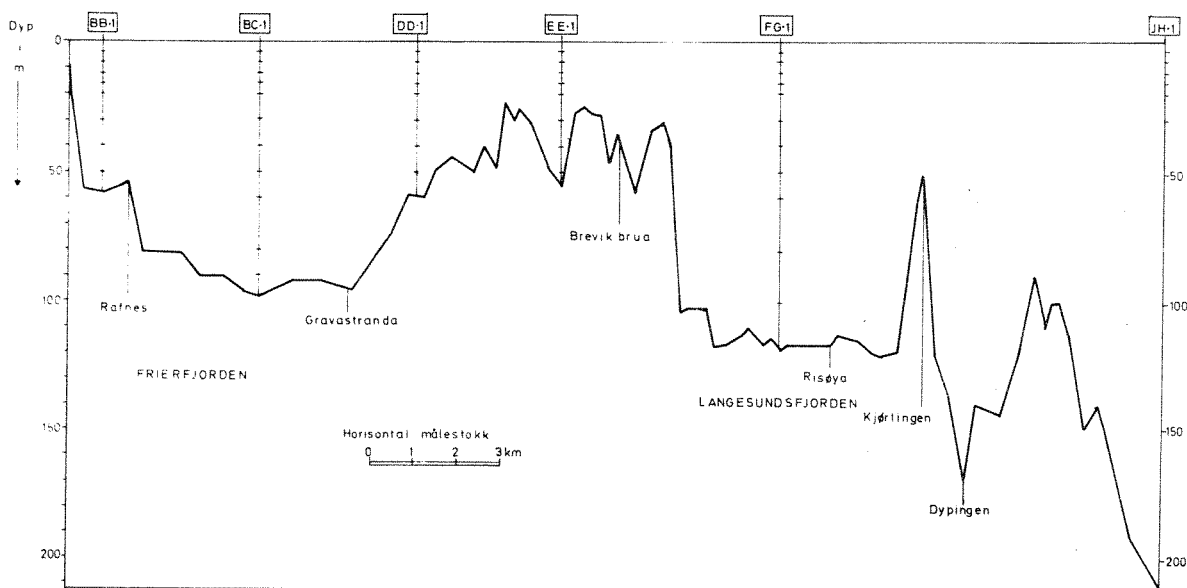


Fig. 2. Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsfjorden.

Vannmassene i fjordområdene kan generelt inndeles i tre lag (Fig. 3):

Ett overflatelag av brakkvann, ett intermediært lag, som strekker seg ned til terskeldypet eller noe under, og dypvannet som ligger mellom det intermediære vannlag og bunnen. Overgangen fra brakkvannslag til sjøvannslag er markert av en sterk økning i saltholdigheten, og det omtales oftest som et sprangsjikt. Overflatelagets saltholdighet i Frierfjorden varierer stort sett innenfor området  $0.5-8^{\circ}/\text{oo}$ , i hovedsaken som følge av vekslende ferskvannstilførsel.

Tabell 1. Stasjoner, prøvetaking og analyseprogram for hydrokjemitoktene til Skienselva og Grenlandsfjordene i 1978.

Stasjon	Obs. av vind, vær, bølge høyde og siktedyp	Temperatur, Saltholdighet <sup>1)</sup>	Tot-N, NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> Tot-P, PO <sub>4</sub> , O <sub>2</sub>	Tot. org. karbon	Susp. tørrstoff, Gløderest	Hg, Pb, Cu og Mn
S-1	Alle stasjoner	A	A	B	C	Alle stasjoner
S-2		A	A	B	C	
BB-1		A	A	B		
BC-1		A	A	B		
BF-1		A	B	B		
DF-1		A	A	B		
FG-1		A	A	B		
GI-1		A	B	B		
JH-1		A	B	B		

A: Prøver fra alle standard-dyp

B: Prøver bare fra 0 - 2 m dyp

C: Prøver fra 0 - 2 m, sprangsjikt og nær bunnen

1) Temperatur og saltholdighet målt med STD-sonde.



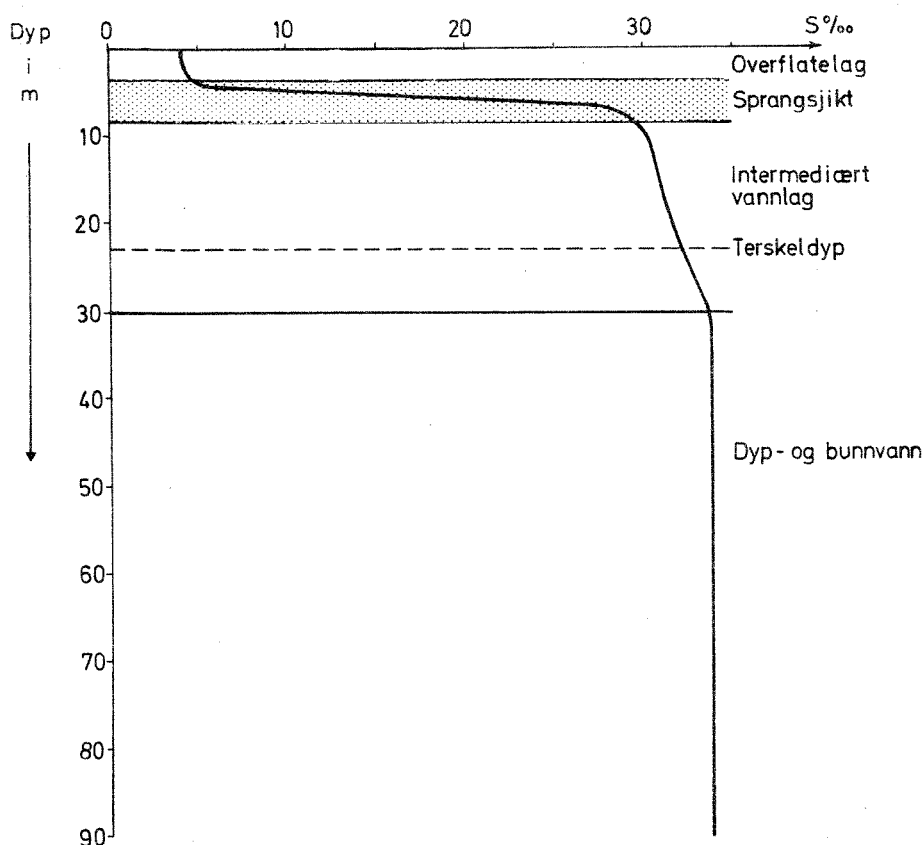


Fig. 3. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser etter saltholdighet.

For en generell beskrivelse av vannutskiftningsprosessene i de forskjellige vannmassene henviser vi til en tidligere rapport (NIVA, 18.5.1976).

#### METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE FORHOLD I 1978

Opplysninger om temperatur og nedbør er hentet fra klimatiske månedsoversikter for 1977 utgitt av Det Norske Meteorologiske Institutt i Oslo (MI 1978, MI 1979). Resultatene av vindmålinger for 1978 stammer også fra samme institutt.

Temperaturforhold og nedbør i nedre del av Telemark i 1978 er beskrevet ved den månedlige middeltemperaturs avvik fra normalen (middel for 1931 - 1960) og månedlige nedbør i prosent av normalen. Fig. 4 og 5 viser resultater fra Jomfruland fyr. Med unntak for januar, som var en relativt

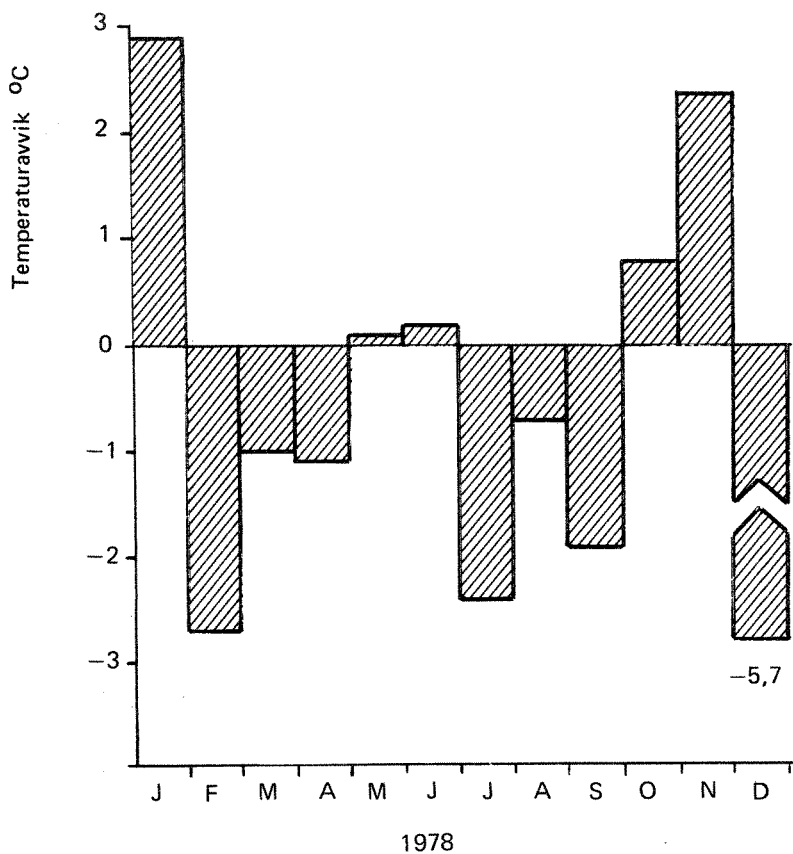


Fig. 4. Den månedlige middeltemperaturens avvik fra normalen for Jomfruland fyr i 1978.

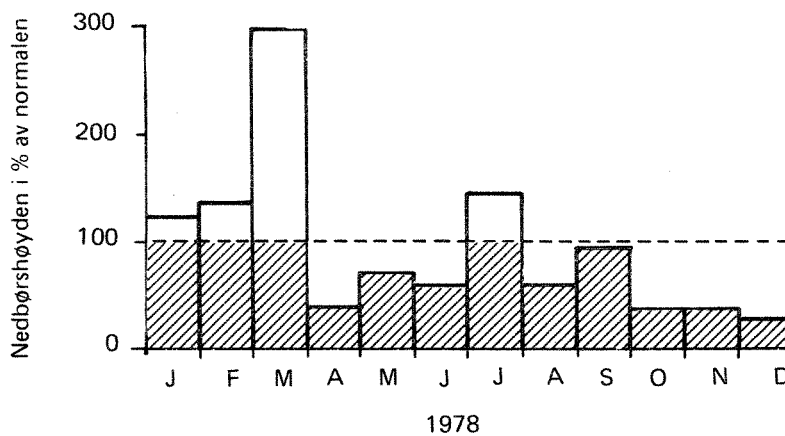


Fig. 5. Den månedlige nedbør ved Jomfruland fyr i 1978, fremstilt som prosent av normalen.

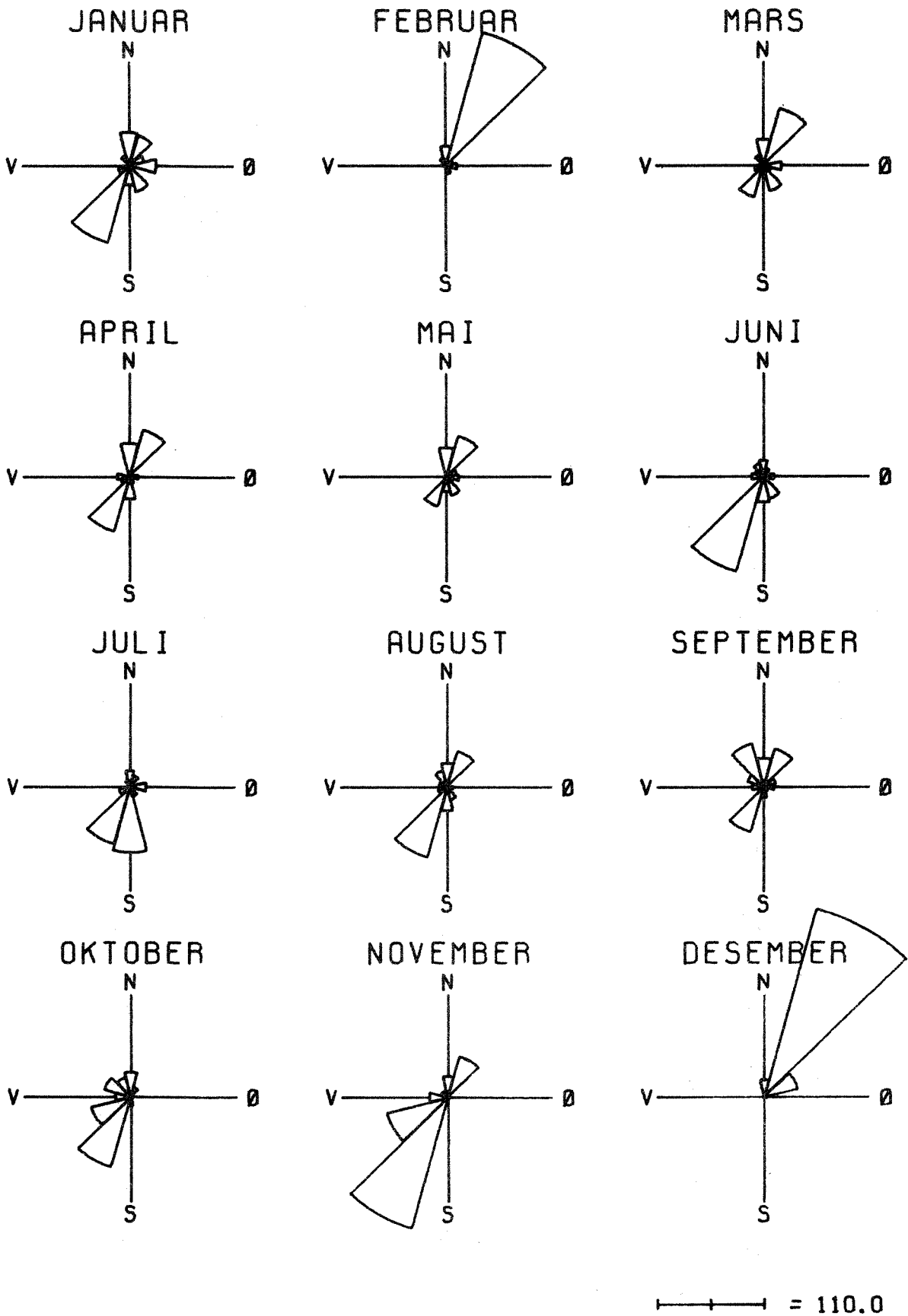


Fig. 6. Vindforholdene på Langøytangen i 1978.

varm måned, var vinteren kald og nedbørsrik. Resten av året var det gjennomgående mindre nedbør enn normalt, og med en kald ettersommer og høst. Desember var mye kaldere enn normalt.

For å beskrive vindforholdene i 1978, anvender vi størrelsen vindmengde for de enkelte måneder. Vindmengden er beregnet for 30°-sektorer og defineres her som produkter av månedlig midlere vindstyrke (i Beaufort) i en gitt sektor og antall observasjoner innenfor denne sektoren, Fig. 6. Vindforholdene har fulgt det normale forløp med overveiende nord-nordøstlig vind i vinterhalvåret og sør-sørvestlig vind i sommerhalvåret. Vi merker oss perioder med sterk nordlig vind i februar og desember og sterk sørlig vind i november.

Ukemedler av vannføringen i Skienselva i 1978 målt ved Skotfoss, er vist på Fig. 7. Elvens middelvannføring i 1978 var ca. 262 m<sup>3</sup>/s. Det ligger nær opptil 270 m<sup>3</sup>/s, som ifølge Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen var middelvannføringen i 30-års perioden 1937 - 1967.

Perioder med sterk varme ga store flomtopper i slutten av mai (705 m<sup>3</sup>/s den 30.5) og i begynnelsen av juli (715 m<sup>3</sup>/s den 6.7). Minimum vannføring var 86 m<sup>3</sup>/s den 31.8 og 1.9. På grunn av lite nedbør ble det ingen høst-flom.

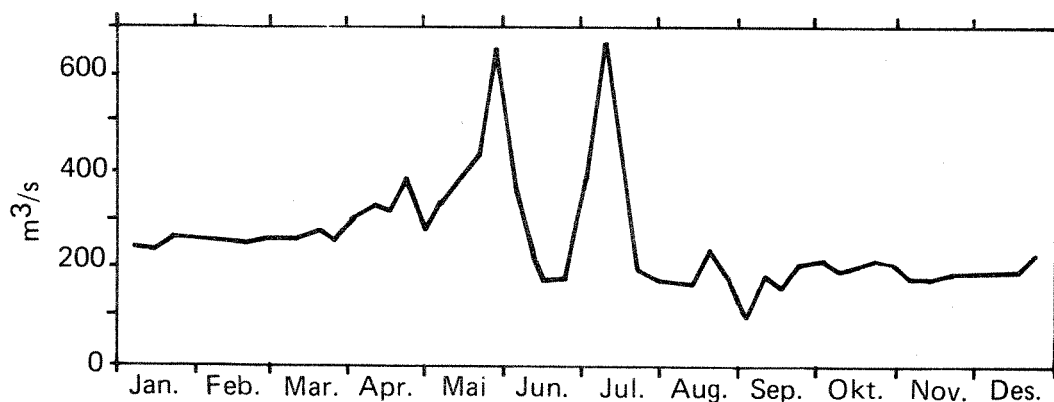


Fig. 7. Ukemedler av vannføringen i Skienselva, målt ved Skotfoss i 1978.

## VANNUTSKIFTNINGEN I OVERFLATELAGET OG DYPVANNET

Foruten data fra de fire toktene som NIVA gjennomførte i 1978, har vi benyttet målinger av temperatur, saltholdighet og oksygenkonsentrasjon på St. BC-1, FG-1 og JH-1 hentet fra syv toktrapporter fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal (se litteraturliste). Målingene ble utført 7. - 8. februar, 7. - 8. mars, 11. - 12. april, 18. - 19. mai, 13. juni, 29. august og 31. oktober - 1. november.

I det følgende beskrives hovedtrekkene ved vannutskiftningsforholdene i 1978:

### Overflatelaget

Overflatelagets oppholdstid i fjordområdene, dets saltholdighet og tykkelse er for en stor del dominert av ferskvannstilførselen fra Skienselva (NIVA, 9.2.1979). I særlig grad gjelder dette for Frierfjorden. For områdene utenfor Brevik, og fremfor alt Eidangerfjorden, kan vindforholdene også spille en betydelig rolle for forholdene i overflatelaget.

I Fig. 8 er vannføringen i Skienselva under toktene i 1978, plottet sammen med saltholdigheten i 0.5 m dyp på St. BC-1.<sup>\*)</sup> Ettersom man vil vente at saltholdigheten avtar ved økende vannføring, gir aksene for saltholdighet økende verdier mot nedre kant av figuren. Det er tydelig samvariasjon mellom de to størrelsene.

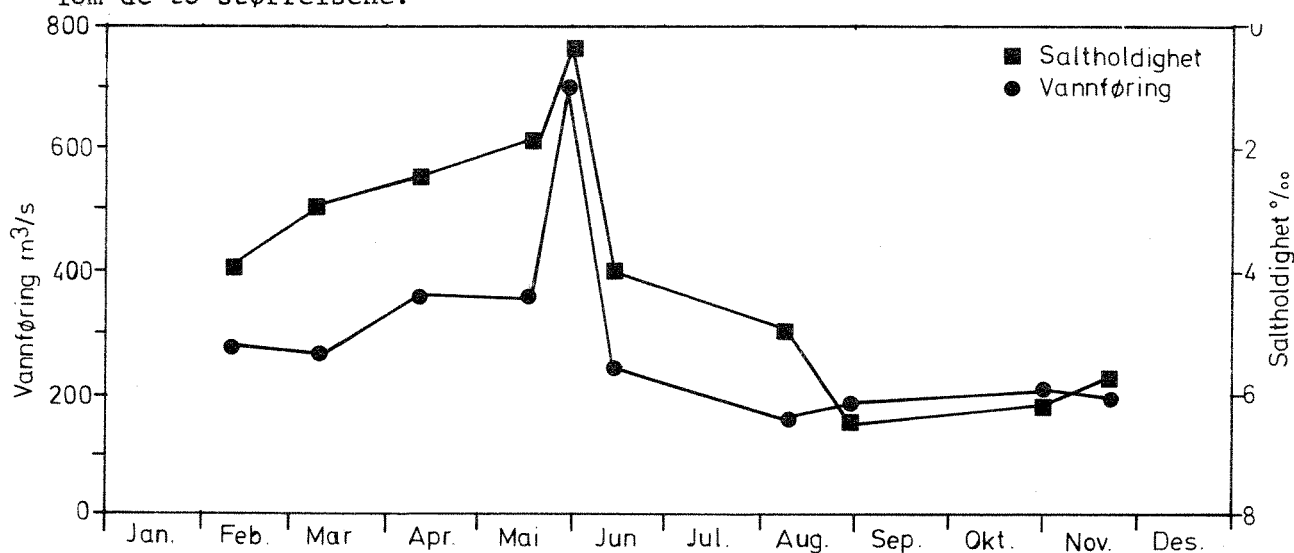


Fig. 8. Vannføring i Skienselva og saltholdighet i 0.5 m dyp på st. BC-1, Frierfjorden under toktene i 1978.

\*) På figuren er trukket rette linjer mellom målepunktene uten hensyn til f.eks. vannføringen i det mellomliggende tidsrom.

Toktet den 30. - 31. mai ble gjennomført mens den første vårflommen var på topp. Vannføringen i Skienselva var ca  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sjøvannslaget, som normalt går helt opp til Skien, var da blitt presset nedover elva så langt som til Elkem-Spigerverket, PEA, i Porsgrunn. Alle de dype bassengene (20 - 30 m dyp) oppover i elva var også tømt for sjøvann. En kan anta at flommen medførte en større utspyling av bunnmateriale fra Skienselva til Frierfjorden. Det samme skjedde sannsynligvis under flommen i begynnelsen av juli.

I Frierfjorden var overflatelagets saltholdighet meget lav: ca.  $0.3-1.0^\circ/\text{oo}$ . Tykkelsen var ca 7.5 m, mot 3 - 4 m ved normal vannføring.

### Dypvannet

I drøftingen av vannutskiftningsforholdene i 1978 skal vi konsentrere oss om forholdene på St. BC-1 i Frierfjorden, St. FG-1 i Brevikfjorden og St. JH-1 på Langesundsbukta. Posisjonene fremgår av Fig. 1 - 2.

Den hydrografiske utviklingen på disse stasjonene er framstilt på Fig. 9-19 som viser variasjonene i temperatur, saltholdighet, tetthet<sup>\*)</sup> og oksygeninnhold i 1978. På figurene er tokt utført av NIVA og Statens Biologiske stasjon, Flødevigen angitt med henholdsvis "N" og "F".

Ved årsskiftet 1977/78 hadde Frierfjordens dypvann vært stagnant siden mai 1977. Dypvannet i Brevikfjorden hadde blitt delvis utskiftet så sent som i november 1977.

Under første tokt i februar hadde vannmassene under ca. 50 m dyp på Langesundsbukta forholdsvis høy tetthet ( $\sigma_t = 27.0 - 27.54$ ) og en innstrømming til fjordområdene nær forestående. I Frierfjorden var oksygeninnholdet i dypvannet lavere enn  $0.7 \text{ ml O}_2/\text{l}$  (Fig. 20).

Under det etterfølgende tokt i mars var innstrømmingen i full gang. Dypvannet i Eidanger- og Brevikfjorden var erstattet av kaldere og saltere vannmasser (Fig. 12 - 13). I Frierfjorden var dypvannsfornyelsen delvis gjennomført. Under ca. 60 m dyp var bassenget fylt med nytt og relativt oksygenrikt vann, mens det gamle oksygenfattige dypvannet var presset

\*) Vannmassenes tetthet er fremstilt ved størrelsen  $\sigma_t$  der  $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$  og  $\rho$  er egenvekten. En egenvekt på f.eks.  $1.025,3 \text{ kg/m}^3$  gir derved en  $\sigma_t$ -verdi på 25.3.

unna og befant seg på høyere nivå lenger inne i fjorden (se Fig. 21). Som det framgår av Fig. 16 - 17, medførte denne dypvannsfornyelsen en økning i temperatur og saltholdighet i Frierfjordens dypvann.

Omfanget av dypvannsutskiftninger som denne er tidligere beregnet ved fosforbudsjetter (se NIVA 9.2.1979). For 1978 er dette ikke mulig fordi vi mangler opplysninger om fosforkonsentrasjonene i Frierfjordens dypvann før dypvannsutskiftningen begynte. Vi har derfor forsøkt å beregne omfanget av dypvannsutskiftningen etter en metode som benytter hevingen av  $\sigma_t$ -flatene (Linde, 1970) og ved oksygenbudsjetter. Resultatene tyder på en utskiftning av 60 - 80% (middel ca. 70%) av vannmassen under 60 m dyp i Frierfjorden. Fornyelsen var størst under ca. 80 m dyp.

I mai inntraff en ny innstrømming til Eidanger-Brevikfjorden av vann av høy tetthet. Dypvannet her gjennomgikk en omfattende fornyelse helt til bunns. Dette medførte også etterhvert en ny innstrømming av relativt tungt vann over terskelen ved Brevik. Innstrømmingen medførte en delvis fornyelse av vannmassen ned til ca. 50 m dyp i Frierfjorden, og fjernet mye av den oksygenfattige vannmassen som lå i 40-60 m dyp (fig. 19). Variasjonene i dypvannets temperatur og saltholdighet kan også tyde på en viss tilførsel av nytt vann i september. Det er imidlertid også mulig at variasjonene ikke er reelle, men skyldes mindre uoverensstemmelser mellom NIVA's og Statens Biologiske Stasjon Flødevigens bestemmelse av temperatur og saltholdighet.

Senere utover høsten fram til siste tokt den 22. november, var dypvannet stagnant, noe som kommer til uttrykk ved en rask reduksjon i oksygeninnholdet, Fig. 19.

Sammenfatter vi forløpet av de større dypvannsutskiftningene i Frierfjorden siden 1974, blir resultatet (etter NIVA, 9.2.1979, 25.5.1979):

Mars - april 1974	70 - 80% fornyelse
Mars - april 1975:	15 - 20% "
Januar - februar 1976:	ca. 10% "
Februar - april 1977:	75 - 80% "
Februar - mars 1978:	60 - 80% "

Dette illustrerer hvordan vannutskiftningen - og dermed også oksygenforholdene i dypvannet - kan variere fra år til år. Både 1977 og 1978 har vært år med relativt stor dypvannsfornyelse. De neste års målinger vil vise om vannutskiftningen i Frierfjordens dypvann gjennomgående er bedre enn tidligere antatt.



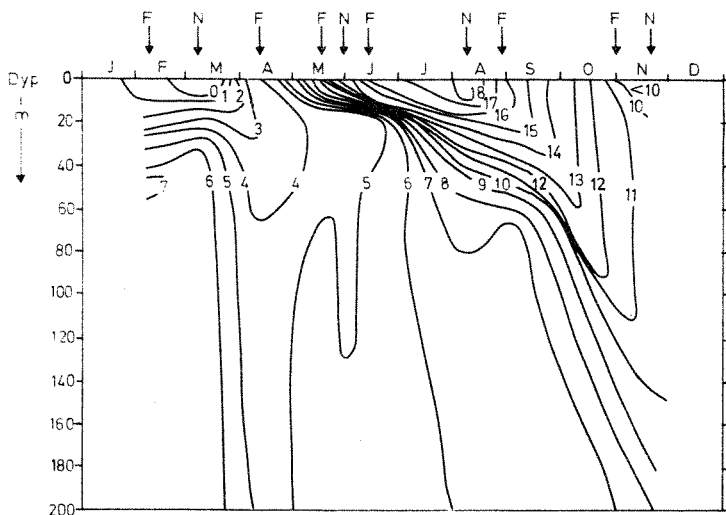


Fig. 9. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i temperatur (°C) i 1978.

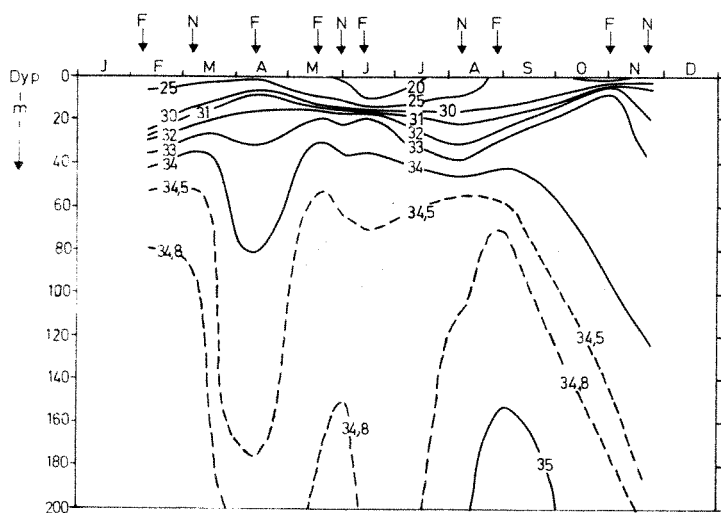


Fig. 10. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i salt-holdighet (‰) i 1978.

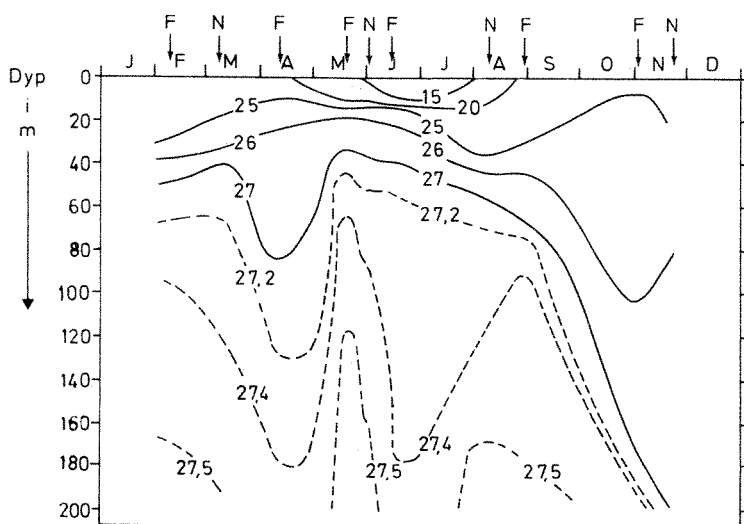


Fig. 11. St. JH-1, Langesundsbukta. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.

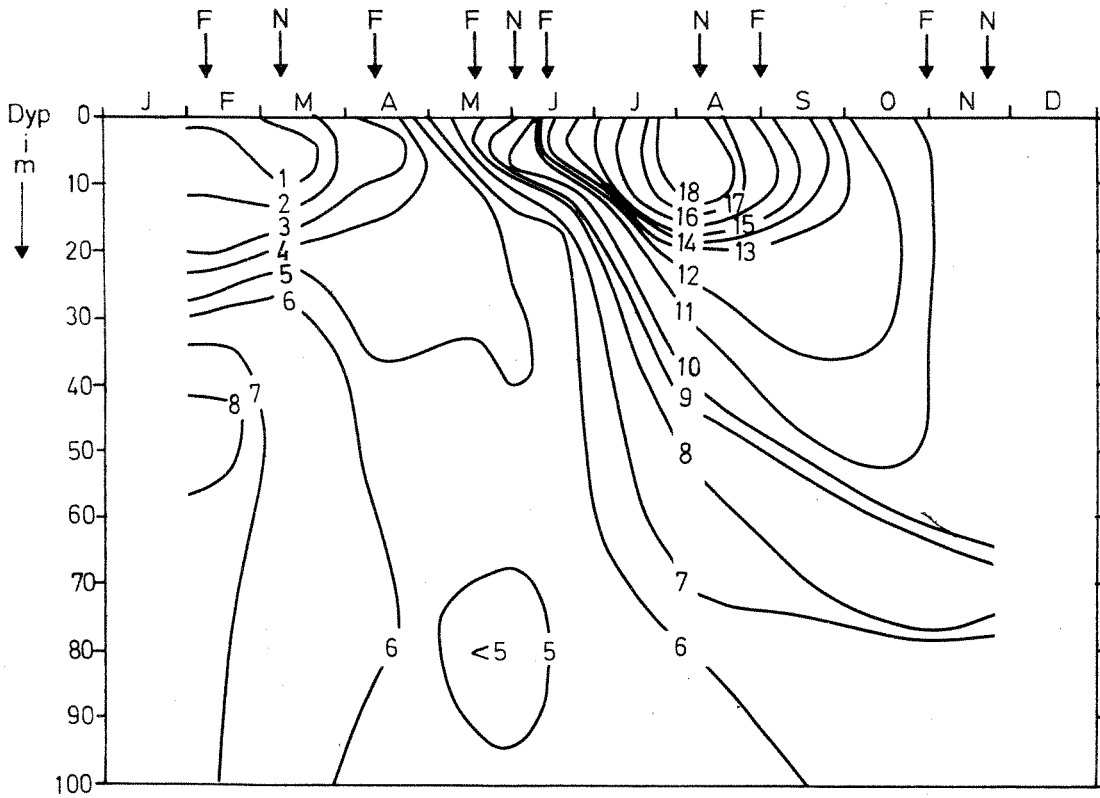


Fig. 12. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) i 1978.

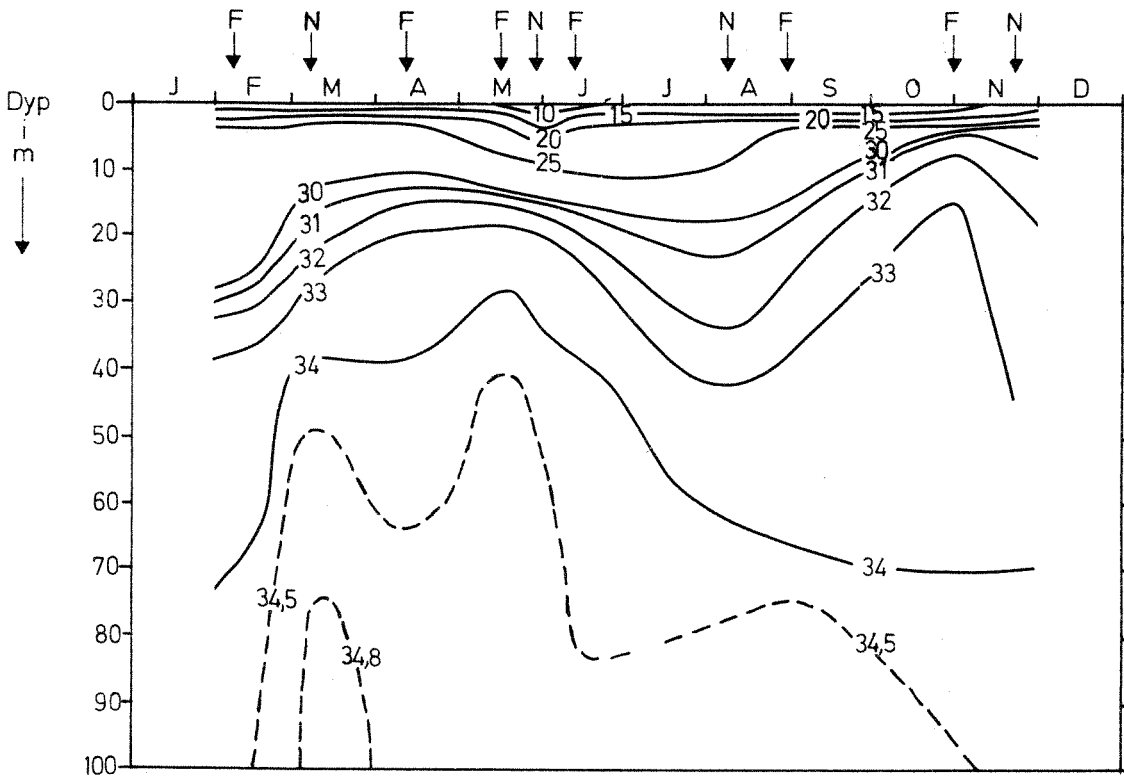


Fig. 13. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i saltholdighet ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1978.

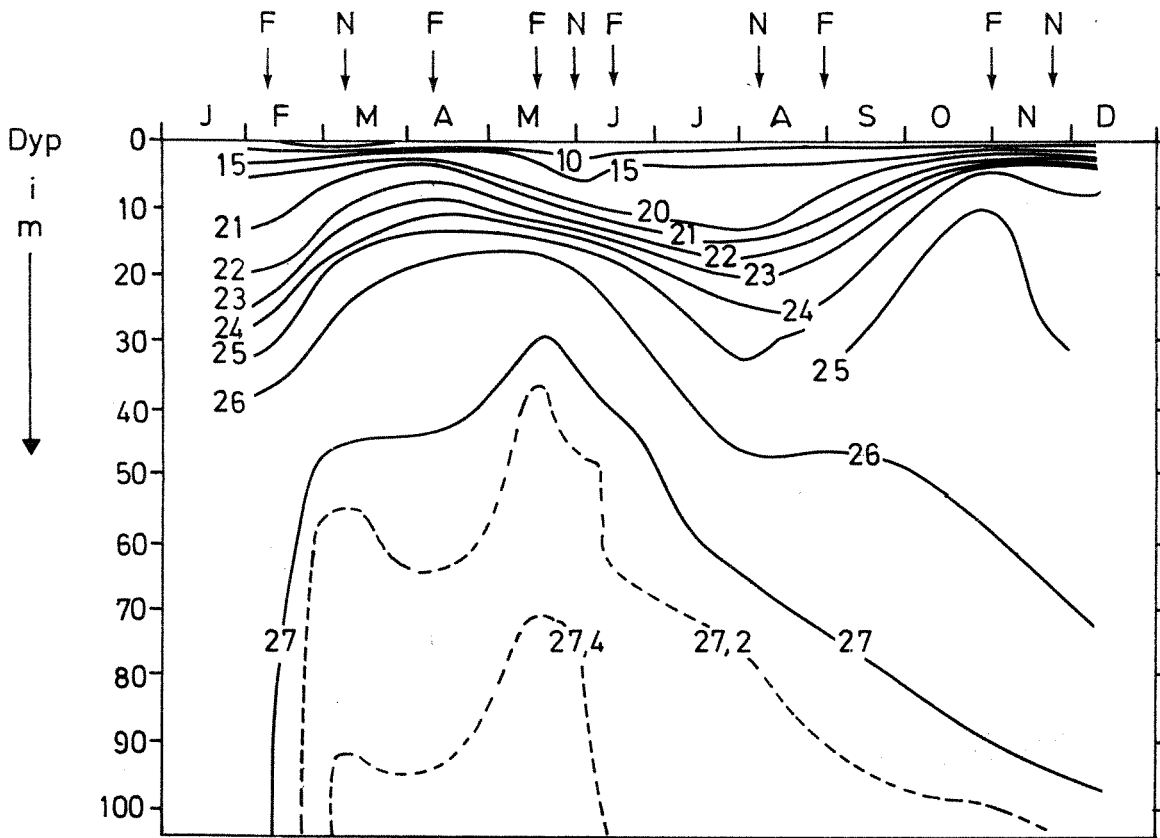


Fig. 14. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.

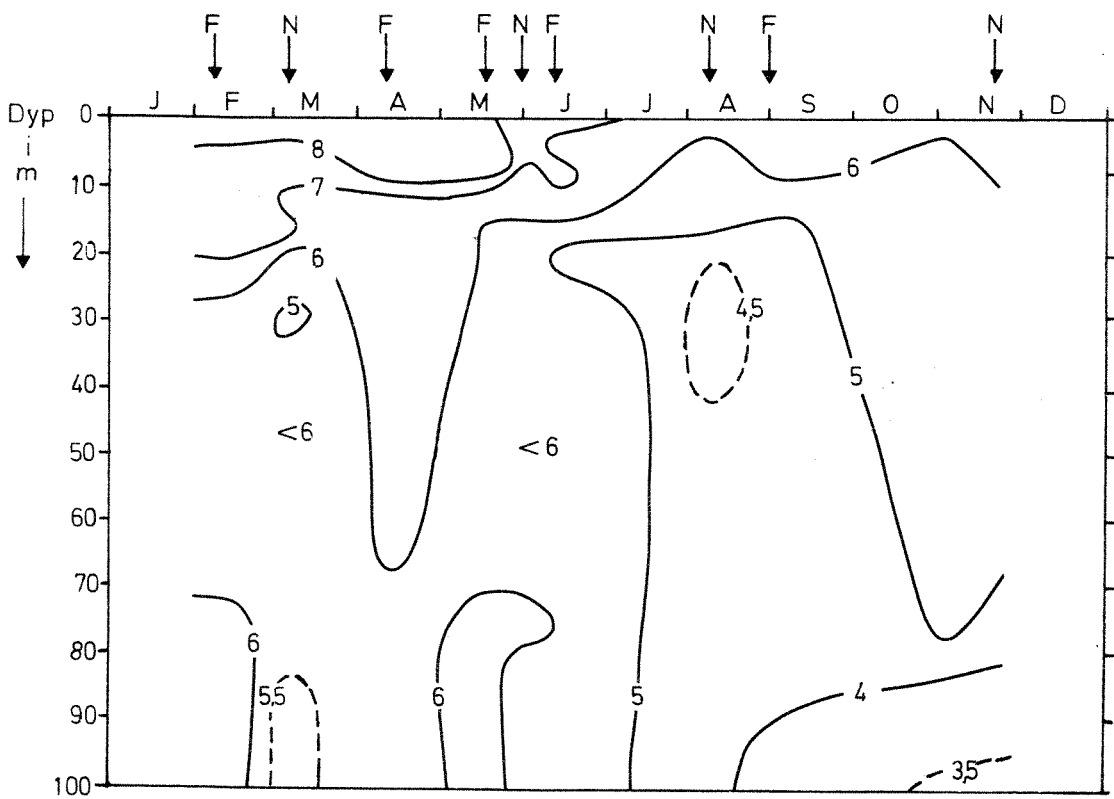


Fig. 15. St. FG-1, Brevikfjorden. Variasjoner i oksygenforhold (ml O<sub>2</sub>/l) i 1978.

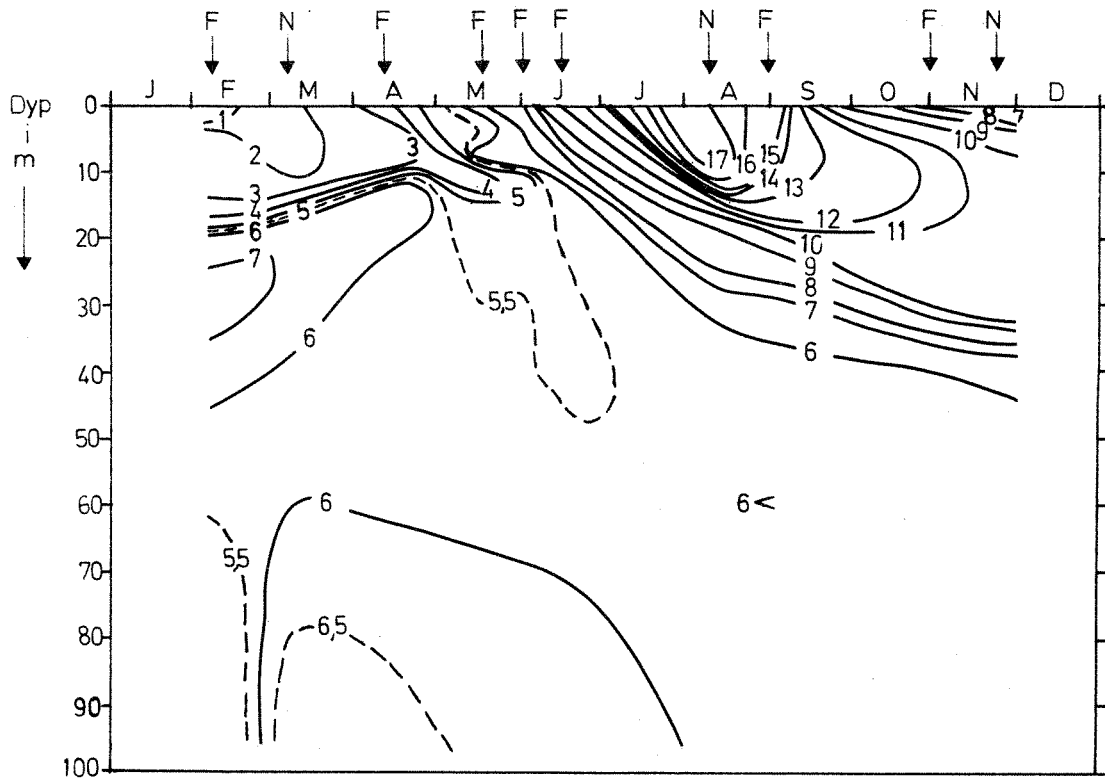


Fig. 16. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) i 1978.

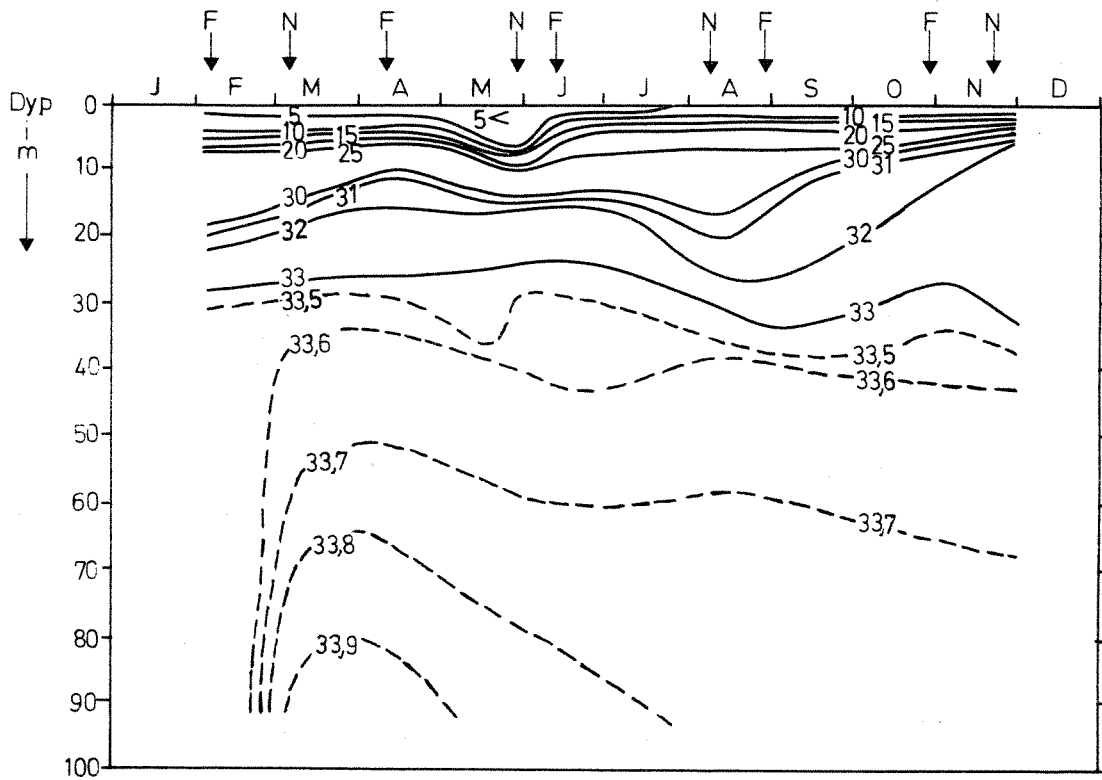


Fig. 17. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i saltholdighet ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i 1978.

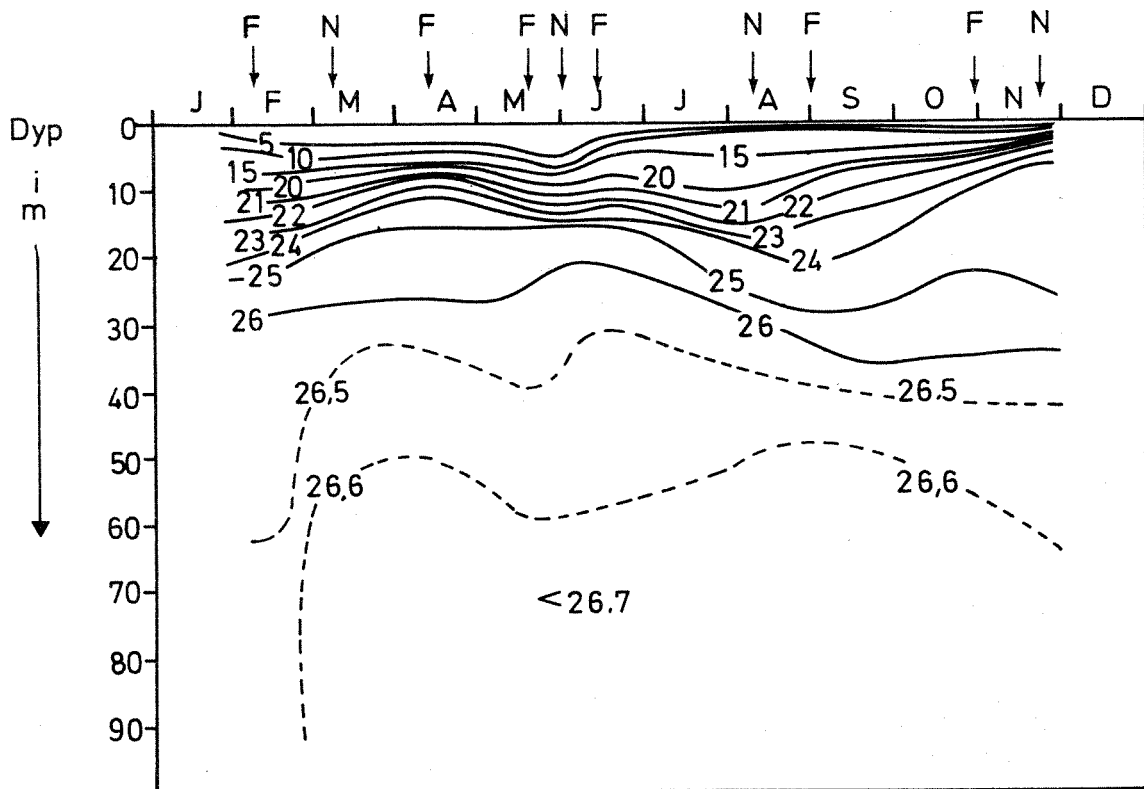


Fig. 18. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i tetthet ( $\sigma_t$ ) i 1978.

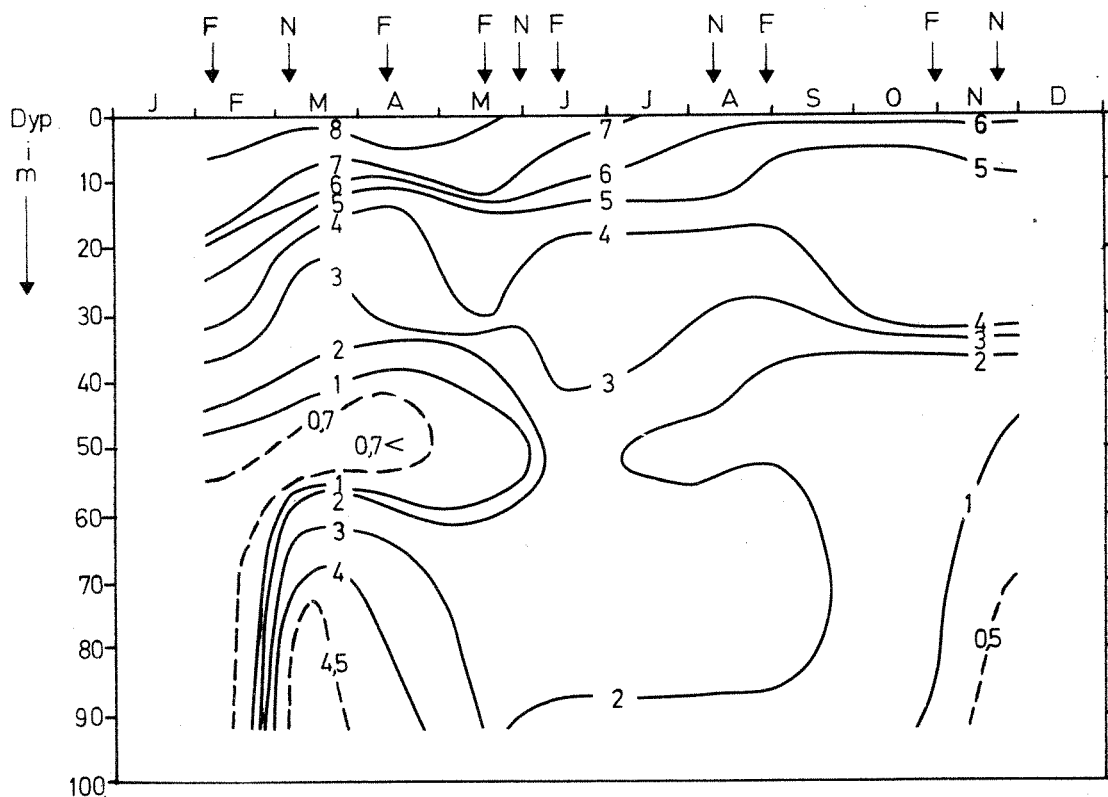


Fig. 19. St. BC-1, Frierfjorden. Variasjoner i oksygeninnhold (ml  $O_2$ /l) i 1978.

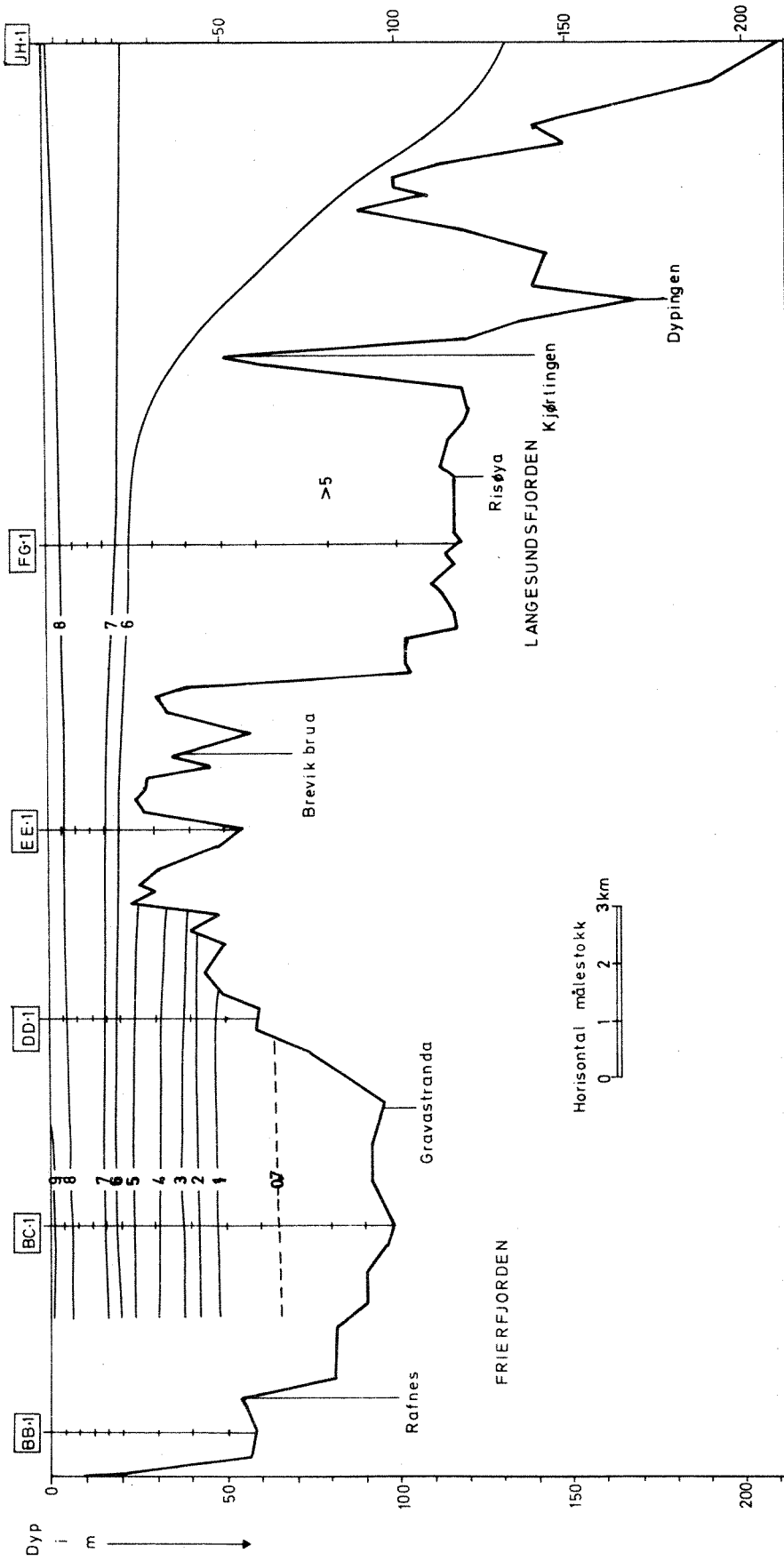


Fig. 20. Oksygenforhold (ml O<sub>2</sub>/l) 7.-8.2.1978.

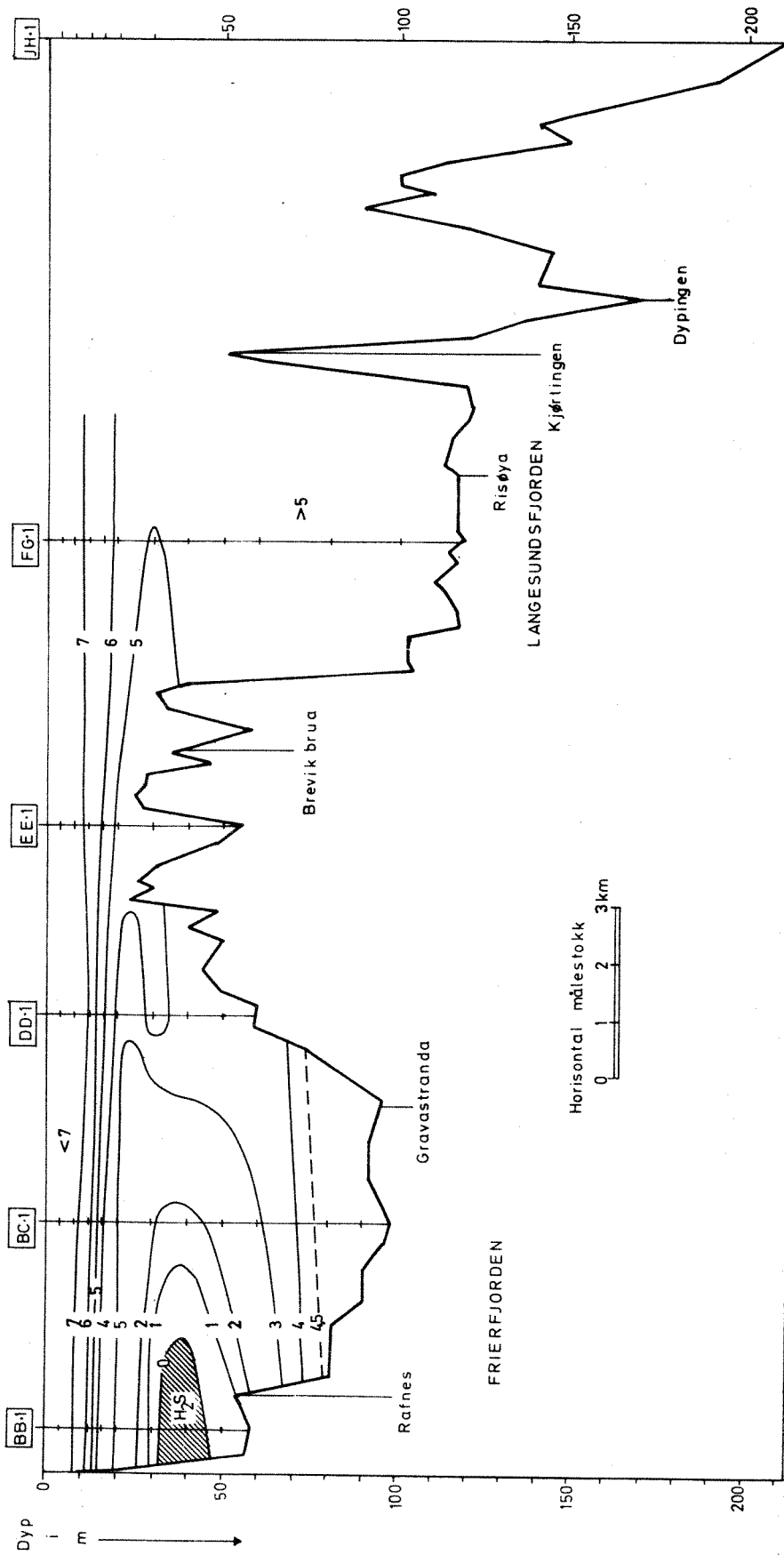


Fig. 21. Oksygenforhold (ml O<sub>2</sub>/l) 7.-8.3.1978.

LITTERATUR

Linde, E., 1970:

Hydrography of the Byfjord Report. 20. Geophysical institute, Div. A.  
University of Bergen, Norway.

MI, 1978:

Klimatologiske månedsoversikter for månedene januar-september 1978.  
Blindern, Oslo.

MI, 1979:

Klimatologiske månedsoversikter for månedene oktober-desember 1978.  
Blindern, Oslo.

NIVA, 18.5.1976:

O-111/70. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og  
tilliggende fjordområder.

Rapport nr. 4. Fremdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen  
i fjordområdene, mars 1974 - desember 1975.

Saksbehandler: Jarle Molvær. Stensilert, 49 s. + fig.

NIVA, 9.2.1979:

O-70111. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og  
tilliggende fjordområder. Rapport nr. 8, Sluttrapport.

Saksbehandler: Jarle Molvær. Stensilert 251 s.

NIVA, 25.5.1979:

O-76129. Overvåking av forurensninger i Grenlandsfjorden og Skiens-  
elva. Årsrapport for 1977. Saksbehandler: Brage Rygg.

Stensilert 152 s.

Statens Biologiske stasjon, Flødevigen, 1978:

Toktrapper PTK 1/78 - 5/78. Saksbehandlere: Einar Dahl,  
Else Ellingsen og Stein Tveite.

Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen, 1979:

Toktrapper PTK 6/78 - 7/78.

Saksbehandlere: Else Ellingsen og Stein Tveite.