

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-111/70

RESIPIENTVURDERINGER

AV

NEDRE SKIENSELVA, FRIERFJORDEN OG
TILLIGGENDE FJORDOMRÅDER

Rapport 4

Fremdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen i
fjordområdene mars 1974 - desember 1975

Blindern, 18. mai 1976.

Saksbehandler: cand.real. Jarle Molvær

Medarbeidere : Norman Green, B.A.

tekn.ass. Frank A. Kjellberg

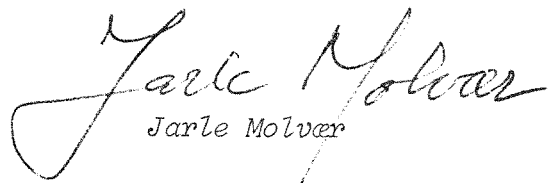
FORORD

Oppdragsgiver for denne undersøkelsen er Fylkesmannen i Telemark, ved Tilsynsutvalget for resipientundersøkelser i Skiensvassdraget og Skiensvassdragets fjordområder.

Undersøkelsene av fjordområdene begynte i mars 1974 og ventes å gå over tre år. Foreliggende rapport er en fremdriftsrapport som representerer resultater fra undersøkelsen av vannutskiftningsforholdene i fjordområdene for tidsrommet mars 1974 - desember 1975. En del foreløpige vurderinger er også gitt.

Porsgrunn Havnevesen og i særdeleshet havneassistent Leif Viken takkes for velvillighet med utlån av båt og annen hjelp ved gjennomføring av undersøkelsene. Takk rettes også til Næringsmiddelkontrollen i Porsgrunn og det tidligere Luftkontrollaboratoriet i Porsgrunn for verdifull hjelp ved feltarbeidet.

Blindern, 18. mai 1976.


Jarle Molvær

MOL/KAR

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
FIGURFORTEGNELSE	5
TABELLFORTEGNELSE	8
SAMMENDRAG	9
1. INNLEDNING	11
2. GENERELLE FORHOLD	12
2.1 Beskrivelse av fjordsystemets topografi og ferskvannstilførsel.	12
2.2 Generell beskrivelse av vannmassene i fjordområdet.	12
2.3 Feltarbeid, materiale og metoder.	13
3. GENERELT OM VANNUTSKIFTNING I TERSKELFJORDER	17
3.1 Den estuarine sirkulasjon.	17
3.2 Vindstrøm.	17
3.3 Terskeloverskyllinger.	17
3.4 Tidevann.	18
3.5 Meteorologisk genererte vannstandsvariasjoner.	18
4. UNDERSØKELSE AV VANNUTSKIFTNINGSFORHOLD I GRENLANDSFJORDENE I TIDSRUMMET MARS 1974 - DESEMBER 1975.	20
4.1 Overflatelaget.	20
4.1.1 Strømkorsmålinger.	20
4.1.2 Overflatelagets oppholdstid.	24
4.2 Utskiftningsprosesser i det intermediære vannlag.	27
4.2.1 Utskiftning ved tidevannet.	27
4.2.2 Den estuarine kompensasjonsstrøm.	27
4.2.3 Strømmålinger på Brevikterskelen.	28
4.3 Terskeloverskyllinger.	32
4.3.1 Resultater fra tidligere undersøkelser.	32
4.3.2 Resultater fra den pågående undersøkelse.	33
4.4 Hydrografiske målinger i Gunnekleivfjorden og Skienselva.	40
4.4.1 Gunnekleivfjorden.	40
4.4.2 Skienselva.	40

	Side:
5. SAMMENFATTENDE VURDERING AV VANNUTSKIFTNINGSFORHOLDENE I GRENLANDSFJORDENE	42
5.1 Overflatelaget	42
5.2 Det intermediære vannlag	42
5.3 Dypvannet	44
6. REFERANSER	47

FIGURFORTEGNELSE

Figur nr.:

- 1 Område for resipientundersøkelse av Skiensvassdragets fjordområder.
- 2 Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta
- 3 Ukemidler av vannføring ved Skotfoss januar 1972 - desember 1975.
- 4 Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.
- 5 Stasjoner i Gunnekleivfjorden.
- 6a Strømmønster ved estuarin sirkulasjon.
- 6b Strøm i fjorder forårsaket av vind.
- 6c Strømmønster ved terskeloverskyllinger.
- 7 Strømkors i 1 m dyp, 22.8.1974.
- 8 Strømkors i 8 m dyp, 22.8.1974.
- 9 Strømmålinger mellom Balsøya og Herøya 22.8.1974. Strømretning og hastighet i måledypene.
- 10 Høy- og lavvann i Frierfjorden 21. - 22.8.1974.
- 11 Målt vannstand ved Herøya 21. - 22.5.1975.
- 12 Strømkorsmålinger i Frierfjorden 22.5.1975. Kors i 2 m og 5 m.
- 13 Strømkorsmålinger i Frierfjorden 22.5.1975. Kors i 8 m og 14 m.
- 14 Generelt bilde av overflatestrømmene i Frierfjorden.
- 15 Brakkvannets midlere oppholdstid i Frierfjorden under de hydrografiske tokt mars 1974 - desember 1975.
- 16 St. EE 1. Målinger av strøm og saltholdighet. Strøm dekomponert langs 90° (+) - 270° (±).
- 17 Målinger av strøm, temperatur og saltholdighet i 18 m dyp på Breviktterskelen 24.10. - 20.11.1975.
- 18 Målinger av strøm, temperatur og saltholdighet i 18 m dyp på Breviktterskelen 26.9. - 9.10.1975
- 19 Døgnmidler av lufttrykk ved Ferder januar 1974 - april 1975.
- 20 Langøytingen fyr. Syv døgn glidende midler av vindens nord-sør komponent.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta:

- 21 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) 12.-14.3.1974.
- 22 Saltholdighet (o/oo) 12.-14.3.1974.
- 23 Oksygen (ml/l) 12.-14.3.1974.
- 24 Oksygen (ml/l) 23.-24.4.1974.

Figur nr.:

25	Temperatur (°C)	19. - 21.6.1974.
26	Saltholdighet (o/oo)	" " "
27	Oksygen ml (O ₂ /l)	" " "
28	Temperatur (°C)	24. - 25.9.1974
29	Saltholdighet (o/oo)	" " "
30	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
31	Temperatur (°C)	10. - 11.12.1974
32	Saltholdighet (o/oo)	" " "
33	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
34	Temperatur (°C)	17. - 18.3.1975
35	Saltholdighet (o/oo)	" " "
36.	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
37	Oksygen (ml O ₂ /l)	22. - 23.4.1975
38	Temperatur (°C)	10. - 11.6.1975
39	Saltholdighet (o/oo)	" " "
40	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
41	Temperatur (°C)	16. - 17.9.1975
42	Saltholdighet (o/oo)	" " "
43	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
44.	Temperatur (°C)	16. - 17.12.1975
45	Saltholdighet (o/oo)	" " "
46	Oksygen (ml O ₂ /l)	" " "
47a	St. BB•1. Temperatur og saltholdighet i dypvannet mars - mai 1974.	
47b	St. BC•1. Temperatur og saltholdighet i dypvannet mars - mai 1974.	
47c	St. CD•1. Temperatur og saltholdighet i dypvannet mars - mai 1974.	
48a.	Frierfjorden st. BC•1. Temperaturvariasjoner mars 1974 - desember 1975.	
48b	Frierfjorden st. BC•1. Saltholdighetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.	
48c	Frierfjorden st. BC•1. Oksygenvariasjoner mars 1974 - desember 1975.	
48d	Frierfjorden st. BC•1. Tetthetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.	
49a	Eidangerfjorden st. DF•1. Temperaturvariasjoner mars 1974 - desember 1975.	

Figur nr.:

- 49b Eidangerfjorden st. DF.1. Saltholdighetsvariasjoner
mars 1974 - desember 1975.
- 49c Eidangerfjorden st. DF.1. Oksygenvariasjoner
mars 1974 - desember 1975.
- 49d Eidangerfjorden st. DF.1. Tetthetsvariasjoner
mars 1974 - desember 1975.
- 50a Langesundsbukta, st. JH.1. Temperaturvariasjoner
januar 1974 - desember 1975.
- 50b Langesundsbukta, st. JH.1. Saltholdighetsvariasjoner
januar 1974 - desember 1975.
- 50c Langesundsbukta, st. JH.1. Tetthetsvariasjoner
januar 1974 - desember 1975.

TABELLFORTEGNELSE

- Tabell 1. Oversikt over NIVA's hydrokjemiske tokt til Frierfjorden og utenforliggende fjordområder i tidsrommet mars 1974 - desember 1975.
- Tabell 2. Sammenhørende verdier mellom lufttrykk og vannstandsendringer.
- Tabell 3. Midlere hastighet på strømkorsene 22.8. 1974.
- Tabell 4. Midlere hastighet på strømkorsene 22.5. 1975.
- Tabell 5. Brakkvannets oppholdstid i Frierfjorden under de hydrokjemiske tokt mars 1974 - desember 1975.
- Tabell 6. Målinger med selvregistrerende strømmåler i 18 m dyp på Brevikterskelen mai 1974 - februar 1975. Kommentarer til strømretning, hastighet, temperatur og saltholdighet.
- Tabell 7. Den prosentvise fornyelsen av Frierfjordens dypvann mars - mai 1974.

SAMMENDRAG

1. Frierfjorden består av et relativt vidt og dypt (ca. 98 m) fjordbasseng som i sør smalner av og har forbindelse med de ytre fjordområder gjennom Brevikstrømmen. Her ligger terskelen til Frierfjorden med et største dyp på ca. 23 m.

Eidangerfjorden, Brevikfjorden og Langesundsfjorden er alle relativt smale og dype. Største dyp er 123 m i søndre del av Langesundsfjorden. Like sør for dette ligger en terskel med største dyp på ca. 50 m.

Fjordområdene får i hovedsaken sin ferskvannstilførsel fra Skienselva. Midlere vannføring i elva er ca. $270 \text{ m}^3/\text{s}$, vanligvis varierende mellom ca. $50 \text{ m}^3/\text{s}$ og $600\text{-}800 \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Ut fra den vertikale saltholdighetsprofilen kan vannmassene i Grenlandsfjordene grovt inndeles i tre lag: et overflatelag bestående av vann med lav saltholdighet (brakkvann), et underliggende intermediært sjøvannslag som oftest når ned til terskeldyp eller litt dypere, og dypvannet.
3. Overflatelaget er ca. 1-7 m tykt, varierende med ferskvannstilførselen. Det strømmer raskt ut gjennom fjordområdene. For Frierfjorden som helhet vil teoretisk oppholdstid for overflatelaget være i området 1.5-4.5 døgn, avhengig av ferskvannstilførselen. I selve brakkvannsstrømmen vil oppholdstiden være kortere, trolig 8-20 timer og tilsvarende lengre i områdene med svakest strøm (Herrebukta og østsiden av Frierfjorden).

For strekningen Brevik-Langesundsbukta er midlere oppholdstid beregnet til å variere mellom ca. 5 timer og 20 timer.

4. I Frierfjorden begynner det intermediære vannlag oftest i 6 - 8 m dyp og når ned til ca. 30 m. I fjordområdene utenfor Brevik opptrer vanligvis et intermediært vannlag mellom 6 - 8 m og ca. 50 m dyp.

Utskiftningen av det intermediære vannlag i fjordområdene er i hovedsaken resultat av tidevann, den estuarine kompensasjonsstrøm og mer sporadiske,

massive innstrømminger av nytt vann over tersklene ved Kjørtingen og Brevik.

Ved en midlere tidevannsvariasjon på 0,25 m vil et vannvolum på ca. $5 \cdot 10^6$ m³ bli transportert ut og inn gjennom Brevikstrømmen to ganger i døgnet. Antas at 30 % av dette vannvolumet fornyes ved hver tidevannssyklus, dvs. ca. $3 \cdot 10^6$ m³/døgn, medgår ca. 100 døgn før hele vannmassen mellom ca. 6 m og 25 m dyp i Frierfjorden er utskiftet gjennom ren tidevannsfornyning.

Beregninger av volumtransporten ved den estuarine kompensasjonsstrømmen viser at dennes bidrag til vannutskiftningen kan være i området $5-40 \cdot 10^6$ m³/døgn.

Den estuarine kompensasjonsstrømmen er trolig konsentrert om de områder hvor brakkvannsstrømmen er sterkest og bidrar ventelig mindre til utskiftningen i Herrebukta og på Frierfjordens østside.

Større innstrømminger av nytt vann fra Skagerak til de ytre fjordområdene medfører vanligvis tilsvarende innstrømminger over Brevikterskelen og dermed til delvise fornyelser av det intermediære vannlag i Frierfjorden. Dette synes å foregå tre - fem ganger pr. år.

5. Dypvannet i Frierfjorden ligger vanligvis mellom ca. 30 m og bunn. Det skiller seg fra det overliggende intermediære vannlag ved at det oftest er nokså homogent hva temperatur og saltholdighet angår, og periodevis er helt stagnant.

Dypvannet i Eidanger-, Brevik- og Langesundsfjordene ligger oftest mellom 60-70 m og bunn. Det er imidlertid mindre homogent og fornyes oftere enn Frierfjordens dypvann.

Dypvannet i fjordområdene fornyes under større innstrømminger av tungt vann fra Skagerak.

De foreliggende resultatene tyder på at dypvannsfornyelser i Frierfjorden vanligvis foregår med ett til to års mellomrom. Graden av fornyelse vil imidlertid variere fra gang til gang, med 70-75 % fornyelse som maksimum. I fjordområdene utenfor Brevik blir dypvannet fornyet 1 - 2 ganger pr. år.

1. INNLEDNING

I Norsk institutt for vannforsknings (NIVAs) programforslag av 9.11.1973 (NIVA 1973 b) er formålet med undersøkelsene definert slik:

- I Beskrive fjordsystemet med hensyn til vannmassenes kvalitet sett i relasjon til generelle bruksinteresser, herunder å beskrive den alminnelige forurensningstilstand og spesielle, lokale forureningsvirkninger.
- II Gi grunnlag for å vurdere hvordan den eksisterende tilstand kan utbedres.
- III Gi grunnlag for vurdering av fjordsystemets fremtidige utnyttelse som resipient.

I "Rapport 2. Fremdriftsrapport fra undersøkelsen mars 1974-februar 1975", (NIVA 1975 a) ble det fremlagt en del foreløpige resultater fra de biologiske undersøkelsene og undersøkelsene av vannutskiftning og vannkvaliteten i Frierfjorden og tilliggende fjordområder for det første undersøkelsesåret. I den rapporten ble resultatene fra undersøkelsene av vannutskiftningen gitt forholdsvis liten plass. Foruten resultater fra undersøkelsenes annet år, 1975, presenteres derfor i denne fremdriftsrapporten også resultater fra undersøkelsens første år.

En del data fra Statens Biologiske Stasjon, Flødevigens, hydrografiske tokt til området i tidsrommet 1952 - 72 samt januar - februar 1974 er også brukt.

Man vil presisere at dette er en fremdriftsrapport som bygger på en foreløpig gjennomgåelse av det hittil innsamlede datamaterialet. De vurderinger og konklusjoner som er gjort, må derfor også betraktes som foreløpige.

De endelige vurderinger og konklusjoner har man grunnlag for først etter at undersøkelsens 3. år er gjennomført, og vil da bli gitt i en avsluttende rapport.

2. GENERELLE FORHOLD

2.1 Beskrivelse av fjordsystemets topografi og ferskvannstilførsel

Frierfjorden består av et relativt vidt og dypt (maks. dyp ca. 98 m) fjordbasseng som i sør smalner av og har forbindelse med de ytre fjordområder gjennom Brevikstrømmen (se figur 1).

Innerst inne i fjorden ligger Herrebukta med et største dyp på ca. 58 m. Mellom Herrebukta og selve Frierfjorden ligger et grunt område (25-40 m dyp) som er gjennomskåret av en smal renne med største dyp 53 m.

I den smale Brevikstrømmen ligger terskelen til Frierfjorden. Terskelen har et største dyp på ca. 23 m, men er i dette dyp så smal at den effektive gjennomstrømmingen trolig skjer fra ca. 20 m og høyere.

Eidangerfjorden, Brevikfjorden og Langesundsfjorden er alle relativt smale, med bredde 0,7-1,5 km. Innerst i Eidangerfjorden øker dypet raskt ned til ca. 70 m, for så å øke gradvis til ca. 123 m i søndre del av Langesundsfjorden. Her innsnevres fjorden, og dypet avtar til en terskel med største dyp ca. 50 m. Et langsgående dybdesnitt fra Frierfjorden til Langesundsbukta er vist på figur 2.

Frierfjorden og tilliggende fjordområder får i hovedsaken sin ferskvannstilførsel fra Skienelva. Midlere vannføring i elva er ca. ~~270~~ 270 m³/s. Vannføringen er karakterisert av en vårflom i tidsrommet april-juni, og vanligvis minimum vannføring i tidsrommet juli-august. Ukemidler av vannføringen ved Skotfoss i tidsrommet januar 1972 - desember 1975 er vist i figur 3.

2.2 Generell beskrivelse av vannmassene i fjordområdet

Frierfjordens vannmasser kan inndeles i fire lag, figur 4. Øverst ligger et nesten ferskt hurtig strømmende overflatelag av varierende tykkelse (1-7 m). Saltholdigheten i dette laget varierer innenfor området 0,5-10 ‰, avhengig av Skienselvas vannføring og nedbør.

Overflatelaget er skilt fra en underliggende intermediær sjøvannmasse av et overgangslag (sprangsjikt) hvor saltholdigheten øker raskt med

dypet. Den intermediære vannmassen går vanligvis ned til 30-35 m dyp. I denne vannmassen bidrar den estuarine kompensasjonsstrømmen, tidevannsstrømmer og tilfeldige terskeloverskyllinger til relativ god vannutskiftning.

Under det intermediære vannlag ligger en vannmasse hvor variasjonene i temperatur og saltholdighet vanligvis er små. Terskelen ved Brevik er et avgjørende hinder for utskiftningen av dette dypvannet som periodevis er stagnant og bare fornyes av større terskeloverskyllinger med tungt vann.

Også i fjordområdene utenfor Brevik finnes et markert overflatelag av varierende tykkelse (1-6 m), og et overgangslag mellom dette og det underliggende sjøvann. Til tider vil det oppstå et intermediært vannlag, som maksimalt synes å nå ned til ca. 50 m (terskeldypet). Med varierende hydrografiske forhold kan imidlertid nedre grense for det intermediære vannlaget ligge mye høyere, rundt 20 m, eller også kan det intermediære vannlag være helt borte.

2.3 Feltarbeid, materiale og metoder

Vannprøver er blitt innsamlet på 8 faste stasjoner i fjordområdene, derav 4 stasjoner innenfor Brevik (figur 1). Det bemerkes at i september 1975 ble st. BC-1 flyttet mer midtfjords og en ny stasjon, DD-1 ble opprettet utenfor Asdalstangen noe sør for Saltbua. St. CD-1 ble da sløyfet. Disse endringene ble gjort for bedre å knytte forbindelsen mellom stasjonene inne i fjorden og stasjonene ved terskelen.

Under toktene i tidsrommet september 1974 - januar 1975 ble det også tatt en stasjon nær Rafnes og en stasjon nær Herøya som da sammen med st. BC-1 dannet et tverrsnitt over fjorden.

Siden september 1975 har man tatt en overflatestasjon innerst i Eidangerfjorden.

I Skienselva har man tatt to faste stasjoner, nedenfor Klosterfoss og ved Porsgrunn bybro.

I september 1975 ble det etter avtale med oppdragsgiver tatt vannprøver på tre stasjoner i Gunnekleivfjorden (figur 5).

Fra mars 1974 - juni 1975 ble de faste fjordstasjonene tatt hver måned. Siden er toktene blitt gjennomført med ca. 1,5 måneders mellomrom.

Toktene er inndelt i to typer, hovedtokt og hydrografisk tokt. På begge typer tokt har det blitt tatt vannprøver for bestemmelse av temperatur, salt- holdighet og oksygeninnhold fra standarddypene 0, 4, 8, 12, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150 og 200 m, hvor da nederste måldypet blir tilpasset bunndypet på hver stasjon. På hovedtoktene har det i ca. 2/3 av måledypene blitt tatt vannprøver for vannprøver av total nitrogen, nitritt + nitrat, ammonium, total fosfor, ortofosfat, total organisk karbon og jern. På de fleste stasjonene er innsamlet 2-5 vannprøver for bestemmelse av tungmetaller og 2-3 vannprøver for bestemmelse av organiske miljøgifter. På stasjonene BC-1, CD-1, EE-1 og JH-1 er innsamlet vannprøver fra 0-2 m dyp for bestemmelse av vannets vekstpotensial. Dessuten har man målt siktedypet og samlet inn planteplanktonprøver.

På de hydrografiske toktene har en tatt vannprøver for analyse på plante- næringsstoffer fra overflatelaget, vannprøver for vekstpotensialmålinger og planteplanktonprøver. Man har ikke tatt vannprøver av tungmetaller eller organiske miljøgifter.

Fra lokalt hold har det i hovedsaken vært deltagelse fra Luftkontroll- laboratoriet og Byveterinærkontoret i Porsgrunn.

Som lokal båt er brukt Porsgrunn Havnevesens oppsynsbåt "PHV" med havneassi- stent L. Viken som båtfører.

Vannprøvene har blitt innsamlet med 1,8 l Nansenvannhentere og 1,7 l Hydro- Bios vannhentere utstyrt med vendetermometre. Termometrene registrerer temp- eraturen med en nøyaktighet på $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

Vannprøvenes saltholdighet er bestemt gjennom måling av vannets ledningsevne med laboratoriesalinometer. Metoden har en nøyaktighet på ca. $\pm 0,003$ o/oo.

Vannprøvenes innhold av oksygen/hydrogensulfid er bestemt ved en modifisert versjon av Winklermetoden beskrevet av Gaarder (1916). Nøyaktigheten er 2-5 %.

På de fleste stasjoner er også gjort detaljmålinger av temperatur og salt- holdighet in situ med feltinstrumentet salinoterm. Dette består av en av- leserenhet og en tilknyttet sonde som senkes ned til det ønskede dyp.

Tabell 1 angir tidspunkt, varighet, fartøy og bemanning på toktene til fjordområdene.

Tabell 1. Oversikt over NIVAs hydrokjemiske tokt til Frierfjorden og utenforliggende fjordområder i tidsrommet mars 1974 - desember 1975.

Tidspunkt	Type tokt		Båt		Bemanning	
	Hovedtokt	Hydrografisk	NIVA	Lokal	NIVA	Lokal
12.-14.03.1974	x			x	x	x
23.-25.04.1974		x		x	x	x
20.-22.05.1974		x		x	x	x
19.-21.06.1974	x		x		x	x
17.-19.07.1974		x		x	x	x
14.-16.08.1974		x		x		x
24.-26.09.1974	x		x		x	
22.-24.10.1974		x		x	x	x
19.-21.11.1974		x		x	x	x
10.-12.12.1974	x		x		x	
14.-15.01.1975		x		x	x	x
12.-13.02.1975		x	x		x	
17.-18.03.1975	x		x		x	x
22.-23.04.1975		x		x	x	x
13.-14.05.1975		x	x		x	x
10.-11.06.1975	x		x		x	
29.-30.07.1975		x		x	x	x
16.-17.09.1975	x		x		x	x
28.-29.10.1975		x		x	x	x
16.-18.12.1975	x		x		x	x

Teoretisk målenøyaktighet er ca. $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ for temperatur og $\pm 0,1$ o/oo for saltholdighet.

På grunn av usikkerhet i måledyp og kalibrering blir imidlertid den reelle målenøyaktighet oftest noe mindre.

Det har blitt gjennomført to serier med strømkorsmålinger mellom Herøya og Balsøya, den 22.8.1974 og 22.5.1975. Første gang var Skiensselvas vannføring målt ved Skotfoss $55 \text{ m}^3/\text{s}$ og 22. mai 1975 var vannføringen $386 \text{ m}^3/\text{s}$.

Den 25.4. 1974 ble det satt ut en selvregistrerende strømmåler (Aanderaa-strømmåler) på terskelen innenfor Brevik, like ved st. EE-1. Måleren ble plassert i 18 m dyp og registrerte strømstyrke, strømretning og temperatur hvert 10. minutt. Fra 26.9. 1974 ble også saltholdighet registrert. Måleren ble tatt opp 12.2. 1975.

Med unntak av tidsrommet 25.4.-22.5. 1975, første måleperiode, ble hele det ovennevnte tidsrommet dekket med målinger. Den første måleperioden ble mislykket p.g.a. teknisk feil med strømmåleren.

På 6 av toktene har man på samme sted målt strømstyrke og strømretning i en rekke dyp mellom overflaten og 40 m dyp. Til dette er brukt gelatinstrømmålere (Haamer 1973).

3. GENERELT OM VANNUTSKIFTNING I TERSKELFJORDEN

Generelt sett kan vannutskiftningen i terskelfjordersies å være bestemt av fem forskjellige mekanismer, den estuarine sirkulasjon, vindstrøm, terskeloverskyllinger; tidevann og meteorologisk genererte vannstandsvariasjoner. Disse vannutskiftningsmekanismene skal kort omtales.

3.1 Den estuarine sirkulasjon

Når ferskvann tilføres inne i en fjord vil det vanligvis strømme ut fjorden som et mer eller mindre brakt overflatelag, ettersom noe av det underliggende sjøvann rives med at det utstrømmende vannet. Denne brakkvannsstrømmen øker dermed i mektighet og saltholdighet utover i fjorden. Det sjøvannet som dermed transporteres ut fjorden blir erstattet av en inngående motstrøm i dypere lag. Dette strømmønsteret kalles estuarin sirkulasjon (figur 6a), og motstrømmen kalles oftest en estuarin kompensasjonsstrøm.

3.2 Vindstrøm

De fleste fjorder er omgitt av relativt høye landområder, og dette resulterer i at vinden oftest blåser noenlunde i fjordens lengderetning. På grunn av vindens drag på overflatelaget vil dette bli satt i bevegelse ut fjorden eller det opptrer oppstuvning av vannmasser inne i fjorden avhengig av om vindretningen er ut eller inn fjorden. Dette medfører lokale vannstandsendringer som setter i gang trykkdrevne strømmer i de dypere vannlag (figur 6b). Vindstrøm er derfor en effektiv utskiftningsmekanisme, spesielt for de øvre vannlag.

3.3 Terskeloverskyllinger

De fleste større norske fjorder består av et eller flere dype bassenger med en terskel (grunt område) ved utløpet. Det forekommer da situasjoner (oftest vinter-vår) da en tung vannmasse utenfra strømmmer inn over terskelen. Denne nye vannmassen vil i større eller mindre grad bli blandet med vannmassene inne i fjorden mens den synker ned til det nivå som tilsvarer dens tetthet (egenvekt). Dermed kan man få en hel eller delvis fornyelse av dypvannet i fjordbassenget (figur 6c).

I den etterfølgende mer eller mindre stagnante perioden, vil ordnede og uordnede (turbulente) bevegelser i dypvannet medføre at dette langsomt blir oppblandet med lettere vann fra høyere vannlag (vertikal diffusjon). Denne vannutvekslingen fører vanligvis ikke til merkbar bedring av vannkvaliteten i dypvannet, men den gradvise reduksjon av vannmassenes tetthet (egenvekt) legger forholdene til rette for en ny terskeloverskylling og dypvannsfornyelse.

3.4 Tidevann

Tidevannet har sin årsak i månens og solens tiltrekningskraft og jordens, månens og solens relative bevegelser. Dette resulterer i periodiske vannstandsvariasjoner. Langs norskekysten dominerer det halvdaglige tidevann (12.42 timers periode) som gir høy- og lavvann to ganger i døgnet. Ved disse vannstandsvariasjonene vil store vannmasser bli transportert ut av fjordområdene ved synkende vannstand, og tilsvarende vannvolum tilbake ved stigende vannstand. Avhengig av fjordsystemets topografi kan imidlertid en betydelig del av denne innstrømmende vannmassen bestå av det samme vann som ble transportert ut fjorden ved synkende vannstand. Den netto tidevannsutskiftningen er derfor vanskelig å beregne.

Da dette dreier seg om horisontale vannbevegelser, vil tidevannet vanligvis ikke bidra vesentlig til fornying av vannmassene under terskeldypet i en fjord.

3.5 Meteorologisk genererte vannstandsvariasjoner

Vindens evne til å heve eller senke vannstandne i et fjordområde er allerede nevnt. Variasjoner i lufttrykket vil likeledes i stor grad påvirke vannstanden i et område idet økende lufttrykk generelt sett medfører synkende vannstand og fallende lufttrykk økende vannstand. Tabell 2 gir en viss rettleiding om dette, men man vil påpeke at vannstandens respons på lufttrykkvariasjoner kan variere fra fjord til fjord.

Tabell 2. Sammenhørende verdier mellom lufttrykk og vannstandsendringer
(etter Tidevannstabeller for den Norske kyst med Svalbard 1974.
Norges Sjøkartverk).

Barometerstand i mm	720	728	743	743	750	760	770	770	784
Vannstandsending i dm	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

I likhet med tidevannet vil da disse vannstandsvariasjonene bidra til å skifte ut vannmassene i fjordområder.

4. UNDERSØKELSER AV VANNUTSKIFTNINGSFORHOLD I GRENLANDSFJORDENE I TIDSROMMET MARS 1974 - DESEMBER 1975

4.1 Overflatelaget

4.1.1 Strømkorsmålinger

Ved strømkorsmålingene den 22.8. 1974 ble det satt ut i alt 11 strømkors fordelt på 8 utslippssteder mellom Herøya og Balsøya (figur 7). Syv kors ble plassert i 1 m dyp og 4 kors i 8 m dyp. Måledypene var bestemt ut i fra resultatene av orienterende strøm- og sjiktningmålinger utført i samme område dagen før. Under målingene gikk to av strømkorsene tapt ved at de ble påkjørt av passerende båter.

Den 22.8. 1974 var det høyvann i Porsgrunn kl. 0757 og kl. 2034, og lavvann kl. 0106 og kl. 1319 (Tidevannstabeller for den norske kyst med Svalbard 1974. Utgitt av Norges Sjøkartverk), se figur 10. Under målingene blåste det sørvest bris av styrke 2-4 m/s. Vannføringen i Skienselva målt ved Skotfoss var $58 \text{ m}^3/\text{s}$.

Av bevegelsene til korsene i 1 m dyp (figur 7) fremgår at brakkvannsstrømmen i Frierfjorden holdt seg relativt smal og konsentrert fra Skienselvas munningsområde og over mot andre siden av fjorden. Figuren viser også hvordan omkringliggende vannmasser blandes inn i og rives med av brakkvannsstrømmen. Dermed oppstår bakevjer (se bevegelsen til kors A) og strøm nordvestover langs Herøya mot elvemunningen. Kors J's bevegelse er bemerkelsesverdig idet den viser at bakevjen ved Herøya forgrenet seg oppover langs kaiområdet vestside.

Bevegelsene til strømkorsene i 8 m dyp er vanskeligere å tolke (figur 8). Resultatene av strømmålinger på tre stasjoner mellom Herøya og Balsøya gir imidlertid verdifull ekstra informasjon om strømforholdene (figur 9). På figur 9 er strømrretning og hastighet i de forskjellige måledyp fremstilt ved piler. Pilens retning angir strømrretningen og deres lengde er et mål for strømhastigheten. Vi ser det opptrer store endringer i strømrretning og hastighet fra måledyp til måledyp.

Måleresultatene fra 8 m dyp tyder på at kors I fulgte en vestgående dypstrøm

over mot midten av utslippsområdet hvor det i likhet med kors F har blitt påvirket av draget på overflatemarkøren av en vestgående strøm i 0-5 m og samt en sørgående strøm i 6-10 m dyp. Dette førte korsene mer i sørvestlig retning. Når Balsøya ble korsene ført i nordlig retning, noe som tyder på at bakevjen i dette området både omfatter 1 m dyp og 8 m dyp.

Tabell 3. Midlere hastighet på strømkorsene 22.8.1974.

Kors	Dyp m	Satt ut kl.	Tatt opp kl.	Tilbakelagt distanse m	Midlere hastighet cm/s
A	1	1015	1730	2.040	8
C	1	1020	1743	1.950	7
E	1	1020	mistet	-	-
G	1	1028	1735	1.490	6
H	1	1030	1737	2.360	9
J	1	1040	1600	1.370	7
K	1	1035	1732	2.700	11
L	1	1045	1739	2.150	9
B	8	1015	1550	530	3
F	8	1025	1615	1.030	5
I	8	1032	1721	1.280	5
M	8	1039	mistet	-	-

Ved strømkorsmålingene den 22.5.1974 ble det satt ut i alt 14 strømkors mellom Herøya, fordelt på 4 utslippssteder (fig. 12). På alle stasjoner ble det satt ut kors i 2 m, 5 m og 8 m dyp. På de to midterste stasjonene ble det også satt ut strømkors i 14 m dyp.

I måleperioden blåste vind fra nordvest av styrke 3-6 m/s. Vannføringen i Skienselva var 386 m³/s.

Den 22.5.1975 var det høyvann ved Herøya ca. kl. 03 og kl. 16. Det var lavvann ca. kl. 10 og kl. 2030 (fig. 11). Strømkorsene ble satt ut like før lavvann, og de siste ble tatt opp ved høyvann.

Korsene i 1 m dyp har alle fulgt brakkvannsstrømmen fra Skienselvas munningsområde i retning Rafnes-Tråk området. De har etterhvert bøyd av og fortsatt ut i fjorden noenlunde parallelt med land.

Bredden av overflatestrømmen og hastigheten (tabell 4) i denne var betydelig større enn i august 1974. Dette må i hovedsaken skyldes større vannføring i Skienselva og i noen grad også den nordlige vinden under målingene.

Noen klare indikasjoner på bakevjer på begge sider av Skienselvas munning fremkom ikke.

Tabell 4. Midlere hastighet på strømkorsene 22.5.1975.

Kors	Dyp m	Satt ut kl.	Tatt opp kl.	Tilbakelagt distanse m	Midlere Hastighet cm/s
A	2	0910	1435	4.070	21
D	2	0917	1323	4.820	33
H	2	0923	1604	2.850	12
L	2	0926	1613	1.010	4
B	5	0910	1432	3.650	19
E	5	0917	1531	2.050	9
I	5	0923	1550	4.440	19
M	5	0926	1609	1.590	7
C	8	0910	1618	1.020	4
F	8	0917	1605	970	4
J	8	0923	1552	670	3
N	8	0926	1602	900	4
G	14	0917	1615	1.810	7
K	14	0923	1623	830	3

Av strømkorsene i 5 m dyp har korsene B og I i hovedsaken fulgt samme baner som korsene i 1 m dyp. Hastighetene har også vært av samme størrelsesorden.

Kors F's bane er interessant i det den indikerer at en gren av brakkvannsstrømmen tok veien inn i Herrebukta. Eksistensen av en hvirvel her har en påvist tidligere (NIVA 1975 b).

Kors M's bane var meget uregelmessig og lar seg vanskelig forklare. Den viser en hvirvel utenfor Herøya, men hvirvelen går motsatt vei av det tilfellet var i august 1974 (fig.7) og det man for øvrig skulle vente. Grunnen til at korset svingte tilbake mot Herøya, kan imidlertid være en kombinasjon av nordlig vind og at den inngående tidevannsstrøm avtok i styrke mot tiden for høyvann.

Banene til korsene i 8 m og 14 m gir usikker informasjon om strømforholdene i disse dyp (fig.13). Strømkorsenes baner synes å være bestemt av overflatestrømmens drag på overflatemarkørene, og viser neppe strøm-baner i måledypene.

Sammenholdes disse resultatene fra strømkors- og pendelstrømmålere med andre strømmålinger i området (NIVA 1975 c), gir dette et brukbart bilde av overflatestrømmene i Frierfjorden. Dette er skjematisk fremstilt i figur 14.

4.1.2 Overflatelagets oppholdstid

Brakkvannets oppholdstid T i Frierfjorden er beregnet som tiden det tar å fornye mengden ferskvann Q i brakkvannslaget ved en gitt ferskvannstilførsel R .

Da er:

$$T = \frac{Q}{R} \quad (1)$$

idet $Q = f \cdot V \quad (2)$

og $f = \frac{S_s - S_b}{S_s} \quad (3)$

der f = midlere ferskvannskonsentrasjon i brakkvannslaget
 V = brakkvannslagets volum
 S_b = midlere saltholdighet i brakkvannslaget
 S_s = saltholdighet i underliggende sjøvann, (20 m dyp)

Overflatearealet av selve Frierfjorden innenfor Steinsholmen i Brevikstrømmen er ca. $17,5 \text{ km}^2$. Dette arealet er brukt ved beregningen av brakkvannslagets volum.

Det må understrekes at den beregnede oppholdstiden er et middel for hele fjorden, tabell 5.

I områder hvor brakkvannsstrømmen er på sitt sterkeste (i Skiensselvas munningsområde, langs Rafneslandet og i søndre del av fjorden) vil oppholdstiden være betydelig kortere, og tilsvarende lenger i områder med svake strømmer som i Herrebukta og på Frierfjordens østside. I de førstnevnte områdene viste strømkorsmålingene den 23.5.1975 samt andre strømmålinger utført vinteren og våren 1975 (NIVA 1975 b,c) at brakkvannsstrømmen hadde en hastighet på ca. 15-40 cm/s, avhengig av ferskvannstilførsel og vindforhold. På strekningen Skiensselvas munningsområde til Brevikbua (ca. 11 km) gir dette oppholdstider på 8-20 timer.

Tabell 5. Brakkvannets oppholdstid i Frierfjorden under hydrokjemiske tokt mars 1974 - desember 1975

År	Måned	Dag	Tykkelse av brakv.lag m	Volum av brakv.lag m ³	Sb o/oo	Ss o/oo	Q ₃ m ³	R ₃ ^{x)} m	T døgn
1974	Mars	12	4	7	5.0	28.9	5.8 · 10 ⁷	260	2.6
	April	24	3	5.3	5.5	33.8	4.5 "	340	1.5
	Mai	21	4	7	3.5	33.9	6.3 "	230	3.2
	Juni	20	2.5	4.4	6	33.4	3.6 "	90	4.6
	Juli	18	2.5	4.4	8	32.0	3.3 "	150	2.6
	August	15	1.5	2.6	11	31.7	1.7 "	60	3.3
	September	24	4.5	7.9	5	30.7	6.6 "	280	2.7
	Oktober	22	4	7	5	31.6	5.9 "	420	1.6
	November	20	5	8.8	4	32.5	7.7 "	360	2.5
	Desember	10	4	7	5	32.9	6.0 "	270	2.6
	Januar	14	4	7	7	33.2	5.5 "	260	2.1
	Februar	13	4	7	6	31.8	5.7 "	240	2.7
1975	Mars	17	3.5	6.1	5	31.4	5.1 "	240	2.5
	April	23	4.5	7.9	5	33.5	6.7 "	240	3.2
	Mai	14	7	12.3	3	32.8	11.2 "	530	2.4
	Juni	10	4	7	7	33.0	5.5 "	210	3.0
	Juli	30	3	3	5	29.2	4.4 "	150	3.4
	September	16	3	5.3	7	32.6	4.2 "	130	3.7
	Oktober	29	3	5.3	7	32.3	3.8 "	190	2.3
	Desember	16	3	5.3	7	32.5	4.1 "	250	1.9

x) Vannføring ved Skotfoss dagen for målingene i Frierfjorden. Verdier avrundet oppover til nærmeste 10 m³/s.

I figur 15 er den beregnede midlere oppholdstid plottet sammen med fjordens ferskvannstilførsel (Skiensselvas vannføring målt ved Skotfoss dagen før saltholdighetsmålingene i Frierfjorden). Det fremgår at oppholdstiden er tilnærmet omvendt proporsjonal med ferskvannstilførselen. Minskningen i oppholdstiden ved økende ferskvannstilførsel synes imidlertid å være relativt liten. Dette kan skyldes at overflatelagets tykkelse da øker sterkt og at volumtransporten ut fjorden dermed øker tilsvarende med ferskvannstilførselen uten at strømhastigheten i overflatelaget behøver å øke vesentlig.

Man har få holdepunkter for beregning av brakkvannlagets oppholdstid på strekningen Brevikbrua - Langesundsfjorden. De strømmålinger som Vassdrags- og Havnelaboratoriet (VHL) utførte i dette området i oktober 1965 (VHL 1965) og mai 1966 (VHL 1966) gir imidlertid en del informasjon. Målingene ble utført ved en ferskvannstilførsel på henholdsvis 200-250 m³/s og 500-750 m³/s.

Målingene viste at strømhastigheten i overflatelaget lå i området 20-90 cm/s. Antas at midlere strømhastigheter for hele området varierer innenfor 15-60 cm/s gir dette oppholdstider på ca. 5-20 timer for strekningen Brevikbrua-Langesundsbukta.

Man har ikke grunnlag for å beregne overflatelagets oppholdstid i Eidangerfjorden. Den har bare liten direkte ferskvannstilførsel, men en god del brakkvann fra Frierfjorden tar veien inn i fjorden. Dette setter ventelig opp et komplisert strømsystem, hvor den netto transporten er vanskelig å beregne. I tillegg kommer bidraget fra strømmene som vinden fremkaller ved sitt drag på overflaten. Det sistnevnte antas å ha stor betydning for overflatelagets oppholdstid i Eidangerfjorden.

4.2 Utskiftningsprosesser i det intermediære vannlag

Det intermediære vannlag i Frierfjorden strekker seg fra sprangsjiktet og ned til 30-35 m dyp. Utskiftningen av denne vannmassen er en funksjon av alle de fem mekanismene omtalt i kap. 3.

4.2.1 Utskiftning ved tidevannet

Tidevannet i Grenlandsfjordene er i alt vesentlig halvdaglig (12.42 timers periode). Ved en midlere vannstandsvariasjon på ca. 25 cm og fjordareal på ca. 20 km² totalt for Frierfjordområdet, vil et vannvolum på ca. 5 · 10⁶ m³ bli transportert ut og inn gjennom Breviksstrømmen to ganger i døgnet.

Ved hver tidevannssyklus blir bare en viss del av den utstrømmende vannmassen fornyet, og resten vil strømme inn i Frierfjorden igjen ved stigende vannstand. Hvor stor prosent av vannmassen som fornyes ved hver tidevannsperiode er meget vanskelig å beregne nøyaktig, og beregningene vil ikke bli forsøkt utført i denne rapporten. Et realistisk estimat av fornyelsen kan imidlertid være ca. 30 % pr. tidevannsperiode. Under den forutsetning medgår ca. 100 døgn før hele vannmassen mellom ca. 6 m og 25 m dyp i Frierfjorden er utskiftet gjennom ren tidevannsforsyning (ca. 285 · 10⁶ m³).

4.2.2 Utskiftning ved den estuarine kompensasjonsstrømmen

Under beregningen av brakkvannslagets oppholdstid i Frierfjorden ble ferskvannskonsentrasjonen i dette laget beregnet. På tilsvarende vis kan sjøvannskonsentrasjonen

$$C = \frac{S_b}{S_s}$$

beregnes, og dermed mengden av sjøvann i brakkvannsstrømmen.

Denne utgående sjøvannstransporten i brakkvannslaget kan dermed enkelt beregnet til ca. 20-70 m³/s, i hovedsaken varierende med Skienselvas vannføring. Under forutsetning av konstant saltholdighet i det intermediære vannlag, må dermed den estuarine kompensasjonsstrømmen transportere like mye sjøvann

inn i fjorden.

Nå viste strømmålinger i Frierfjorden vinteren og våren 1975 (NIVA 1975 b,c), at den utgående strømmen oftest inkluderte sprangsjiktets nedre del og iblant nådde langt ned i det intermediære vannlag, d.v.s. omfattet et område med betydelig høyere innhold av sjøvann. En tilsvarende økning i kompensasjonsstrømmen skulle dermed oppstå.

En beregning av den totale transporten av sjøvann inn i fjordsystemet er ikke gjennomført her, men man kan nevne at Carstens (1970) har teoretisk beregnet den til ca. 80-500 m³/s, noe som passer med det som ble nevnt i foregående avsnitt.

En vil presisere at slike beregninger er beheftet med store usikkerheter, men de gir likevel en pekepinn om størrelsen av de transportene en ønsker opplysninger om. De indikerer at den estuarine kompensasjonsstrømmen generelt sett bidrar langt mer enn tidevannet til fornavelsen av det intermediære vannlag, men den er trolig konsentrert om de områdene i fjorden hvor brakkvannsstrømmen er sterkest og bidrar ventelig lite til vannutskiftningen i Herrebukta og på Frierfjordens østside.

4.2.3 Strømmålinger på Brevikterskelen

Ved st. EE-1 har man i alt 6 ganger målt strømhastighet og strømretning i en rekke dyp mellom overflaten og 30-40 m dyp. Til dette er brukt gelatinstrømmålere (Haamer 1973).

I fig. 16 er strømkomponenten i retning 090^o-270^o plottet sammen med den vertikale saltholdighetsfordeling. Retning 090^o (ut fjorden) er valgt som positiv.

Målingene er gjort ved forskjellige vannføringer i Skienselva (målt ved Skotfoss), skiftende vindforhold og ved forskjellige tidspunkt i tidevannssyklusen.

I overflatelaget synes strømhastigheten i hovedsaken å variere med fjordens ferskvannstilførsel, og i mindre grad med skiftende vindretninger.

Strømhastigheten går mot null i sprangsjiktet eller like under dette.

Mellom sprangsjiktet og ned til 25 m (terskeldypet er 23 m) gjennomgår strømprofilene store variasjoner. Her ligger den estuarine motstrømmen pålagret inn- og utstrømmende tidevann og meteorologisk genererte strømmer. (Kfr. kap. 3).

Måleresultatene tyder på at det vertikale strømprofilene og dermed mengden inn- og utstrømmende vann under sprangsjiktet i stor grad varierer med inn- og utstrømmende tidevann.

Hensikten med å ha en selvregistrerende strømmåler i 18 m dyp på Brevikterskelen var å få en tidfesting av en eventuell innstrømming av nytt vann over terskelen, samt gi en informasjon om hvordan og hvor lenge slike innstrømminger foregår.

Som det fremgår av tabell 6 har det vært to tidsrom med i hovedsaken innstrømmende vann: juni-juli 1974 og oktober-november 1974. En grafisk fremstilling av de registrerte tidsvariasjonene i strømretning, strømhastighet, temperatur og saltholdighet under selve innstrømmingen i oktober-november er vist på figur 17.

Strømmålingene er dekomponert i en nord-sør og en øst-vest komponent. Strøm mot øst (ut fjorden) og mot nord regnes som positiv. De tykke "glatte" linjene viser 25-timers glidende midler av målingene, der 12,5 og 24-timers tidevann er filtrert bort. De tynnere, uregelmessige linjene viser timesmidler av målingene.

Av figuren fremgår at innstrømmingen har vært konsentrert om to tidsrom, 25.-28.10. og 1.-14.11. 1974, og at det innstrømmende vannet var kaldt og salt. Fra den 31.10. til 13.11. avtok temperaturen fra ca. 12.6°C til ca. 10.9°C og saltholdigheten økte fra ca. 32‰ til ca. 34,5‰. Dette passer med resultatene av temperatur- og saltholdighetsmålingene i 16-30 m dyp (st. CD-1) under påfølgende hydrografiske tokt 19.-21.11. 1974 som viste at temperaturen der hadde avtatt med 2-2.5°C og saltholdigheten økt med 0.5-1 ‰ siden foregående tokt.

Karakteristisk for den innstrømmende vannmassen er at strømhastighet og strømretning er sterkt tidevannspåvirket. På fig. 18 ses hvordan det halvdaglige tidevann får strømhastigheten til å variere med en amplitude på

opptil 15 cm/s.

Slike sterke tidevannsstrømmer opptrer også under andre perioder med innstrømming, og synes dermed å være typisk for en slik situasjon. Dette kan forklares ved at stort sett hele vannmassen under den utgående brakkvannsstrømmen da strømmer inn over Brevikterskelen. Dermed opptrer tilsvarende tidevannsvariasjoner i strømmen nær bunnen som utførte målinger tyder på vanligvis foregår høyere oppe i vannmassen (figur 16).

Ser man bort fra perioder med langvarige innstrømninger (5-6 dager eller mer), synes innstrømningene oftest å foregå som kortvarige pulser hvor det opptrer høye hastigheter.

I figur 19 er plottet døgnmidler av lufttrykket ved Færder og tidspunktene for registrerte innstrømninger over Brevikterskelen er angitt med piler.

Det er en meget god overensstemmelse mellom innstrømming av vann og fallende lufttrykk, og tilsvarende for utstrømming og stigende lufttrykk. Resultatet er i overensstemmelse med beskrivelsen av meteorologisk genererte vannstandsvariasjoner i kap.2.

I tillegg kommer virkningen av vindens komponent inn eller ut fjorden. Gjennom vindens direkte drag på overflatelaget vil den øke eller minske vanntransporten ut fjorden ved overflatestrømmen, avhengig av vindretningen. Dette vil bidra til de lufttrykksgenererte vannstandsendingene eller eventuelt motvirke disse. Man kan merke seg at lavtrykk over Østlandsområdet ofte er forbundet med vind fra nord, altså ut av Frierfjordområdet (se fig. 20). Vindens betydning for terskeloverskyllinger vil bli nærmere diskutert avsnitt 4.3.2.

Effekten av vannstandsvariasjonene kan illustreres ved at med et overflateareal på $20 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ innenfor Brevikbrua kan en vannstandsheving på 0,4 m (f.eks. endring i lufttrykket fra 770 mm til 736 mm, kfr. tabell 2) medføre en transport av ca. $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ inn i fjordsystemet.

Tabell 6.

Målinger med selvregistrerende strømmålere i 18 m dyp på Brevikterskelen, mai 1974 - februar 1975.
 Kommentarer til strømretning, hastighet, temperatur og saltholdighet

Tidsrom	Hovedstrøm- retninger	Kommentarer		
		Hastighet	Temperatur	Saltholdighet
Mai-juni 1974	Utgående	Sterke inngående pulser	Innstrøm.vann kaldt	Ingen registreringer av saltholdighet Salt innstrømmende - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " - - " - " - " -
Juni-juli "	Inngående x)	Sterk inngående strøm	- " - " - "varmt"	
Juli-aug. "	Mest utgående	Sterke inngående pulser	- " - " - " - "	
Aug.-sept. "	Utgående	- " - " - " - "	Vekselvis kaldt og "varmt"	
Sept.-okt. "	Mest utgående	- " - " - " - "	Innstrøm.vann "varmt"	
Okt.-nov. "	Inngående	Periodevis svak utgåedne	- " - " - " - kaldt	
Nov.-des. "	Mest inngående	Sterke inngående pulser	- " - " - " - "	
Des.-jan. 1975	Mest inngående	- " - " - " - "	- " - " - " - "	
Jan.-feb. "	Utgående	Kortvarige innstrømminger	- " - " - " - "	

x) Siste del av måleperioden mangler

4.3. Terskeloverskyllinger

I dette kapittel vil en omtale terskeloverskyllinger som har medført fornyelser av det intermediære vannlag og dypvannet i fjordområdene.

4.3.1 Resultater fra tidligere undersøkelser

De tidligste data om hydrografi i Frierfjorden og de tilliggende fjordområdene skriver seg fra 1897-98 (Hjort og Gran 1900). Referansemateriale fra henholdsvis 1924 og 1933 finnes i Dannevig (1930) og Strøm (1936).

I tidsrommet 1952-64 ble vannprøver fra fjordområdene innsamlet om Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen. De ble innsamlet en til to ganger pr. år og vanligvis om høsten. Tilsvarende tokt ble utført i 1971 og 1972. Prøvenes temperatur, saltholdighet og oksygeninnhold ble bestemt og resultatene er presentert av Danielsen og Føyn (1973).

Brækken (1966) har i et hovedfagsarbeid målt forskjellige hydrografiske parametre og observert deres variasjon i tidsrommet september 1961 - august 1962.

Av målinger som har gitt mer begrenset informasjon om forholdene i fjordområdenes dypvann kan nevnes Vassdrags- og Havnelaboratoriets undersøkelser i perioden 1965-67 (VHL 1965, VHL 1966) og Norsk Hydre a.s. målinger i området. En fullstendig gjennomgåelse av disse arbeidene er gitt i NIVA (1973 a).

Det innsamlede materiale er nokså tynt som grunnlag for bestemmelsene av dypvannsutskiftningens omfang og hyppighet, men undersøkelsene viser at det foregikk dypvannsfornyelser i Frierfjorden årene 1954, 1955, 1958, 1960, 1964, 1971 og 1972. Det er sannsynlig at dypvannet også ble fornyet i 1963, uten at det kan sies med sikkerhet.

Intermediære innstrømninger synes å ha forekommet i 1924, 1953, 1959, 1961 og 1962.

4.3.2. Resultater fra den pågående undersøkelsen

Som det fremgår av tabell 1 har undersøkelsen pågått siden mars 1974. I det følgende vil en gi en oversikt over de større terskeloverskyllinger som har funnet sted i dette tidsrommet, og de fornyelser av dypvann og intermediære vannlag disse har medført.

Temperatur- saltholdighet- og oksygenforholdene på et langsgående dybdesnitt fra st. BB-1 til st. JH-1 under de enkelte hovedtoktene er vist på figurene 22-46. Tidsvariasjonene for de samme parametre pluss tettheten i tidsrommet mars 1974 - desember 1975 er for stasjonene BC-1, DF-1 og JH-1 vist på fig. 48-50. Vannmassenes tetthet (egenvekt) er der uttrykt ved størrelsen σ_t der $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$ og ρ er egenvekten.

Figurene 21-23 viser temperatur-, saltholdighet- og oksygenforholdene på strekningen Frierfjorden - Langesundsbukta i mars 1974.

En innstrømming av salt (34.4-34.94^o/oo) og kaldt (5.7-6^oC) vann varda i gang, og i Langesund-, Brevik- og Eidangerfjorden var vannmassene fornyet helt til bunn. Vannmassene var i ferd med å strømme inn over Brevikterskelen, og bunnvannet på st. EE-1 var allerede skiftet ut.

Inne i Frierfjorden og Herrebukta var dyp- og bunnvannet fremdeles stagnant med hydrogensulfid (H₂S) opp til ca. 40 m dyp.

Tidspunktet for denne innstrømmningen fremstår klart på figurene 50 a-b som viser saltholdighets- og temperaturvariasjonene på st. JH-1 i Langesundsbukta for tidsrommet januar 1974 - desember 1975. Målingene i januar - februar 1974 er utført av Statens Biologiske stasjon, Flødevigen.

Innstrømmningen markeres ved at salte og tunge vannmasser opptrådte i et nivå hvor de kunne trenge videre inn i Langesundsfjorden (terskeldyp ca. 50 m). Det kan tenkes to årsaker til dette:

Innstrømmningen foregikk under og umiddelbart etter en periode med lavtrykk og nordlig vind (fig. 19 og 20). Den nordlige vinden vil kunne drive overflatelaget ut fra kysten med en etterfølgende heving av tyngre dypvanns-

masser nærmere land: upwelling. Disse vannmassene vil så kunne trenge over tersklene og fornye dypvannet i fjordområdene innenfor. En samtidig reduksjon av lufttrykket vil medføre heving av vannstanden i fjordområdene og dermed forårsake en viss "innsugningseffekt".

En annen grunn kan være at de skiftende hydrologiske forhold i Nordsjøen og Skagerrak av andre enn meteorologiske årsaker har brakt salte og kalde vannmasser inn mot kysten, med det nevnte resultat.

Figur 24 viser oksygenforholdene under det hydrografiske tokt i april 1974. Fornyelsen av dyp- og bunnvannet i Frierfjorden og Herrebukta var da langt på vei fullført, og oksygeninnholdet var økt til 4 - 4.4 ml O₂/l.

Det gamle dypvannet har blitt trengt innover i fjordområdene og løftet opp samtidig som det har foregått en viss innblanding av omkringliggende vannmasser. Man bør merke seg at den intermediære vannmassen helt opp til sprangsjiktet ble fylt av dette gamle dypvannet med oksygeninnhold i området 0-3 ml O₂/l. I forbindelse med slike massive dypvannsfornyelser ville det dermed være interessant å undersøke hvilke konsekvenser dette har for de biologiske forhold i ca. 10-30 m dyp.

Etter denne utskiftningen besto dypvannet i Frierfjorden og Herrebukta av en blanding av nytt og gammelt vann. Blandingsforholdet mellom disse to vannmasser kan grovt beregnes ved å sammenholde temperatur og saltholdighet for det stagnante dypvannet, for den innstrømmende vannmassen og det nye dypvannet som er en blanding av de to førstnevnte vannmasser.

Størst usikkerhet knytter seg til bestemmelsen av temperatur og saltholdighet i vannmassen som strømmet over Breviksterskelen. Vi har valgt å bruke verdiene i 16 m dyp på st. FG-1 under apriltoktet, mens innstrømningen gikk mot slutten ($T = 6.95^{\circ}\text{C}$, $S = 34.25^{\circ}/\text{oo}$).

For dypvannet i Frierfjorden er brukt temperatur og saltholdighet for henholdsvis mars- og maitokt.

På figur 47 a-c er sammenhørende verdier for temperatur og saltholdighet plottet i et såkalt TS-diagram. Måledypene er angitt utenfor de avmerkede

punktene. Ettersom dypvannet i mai besto av en blanding av gammelt dypvann og nytt vann, vil dette dypvannet på figur 47 finnes på linjen mellom de to opprinnelige vannmassene og blandingsforholdet være som $m_2 : m_1$, se fig. 47 a.

Resultatet av beregningene er vist i tabell 7.

Tabell 7. Den prosentvise fornyelsen av Frierfjordens dypvann mars - mai 1974.

Stasjon	Dyp m	Prosentvis fornyelse %
St. BB-1	50	78
St. BC-1	60	76
" "	80	72
St. CD-1	60	77
" "	80	77
" "	90	79

Det totale volum av den innstrømmende vannmassen kan vanskelig beregnes nøyaktig, da man ikke har kunnet beregne den prosentvise fornyelsen over 60 m dyp. En midlere prosentvis fornyelse på 70 % for hele vannmassen under 30 m dyp synes imidlertid å være en realistisk antakelse.

Innenfor Breviksbrua har fjorden et vannvolum på ca. $335 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ mellom bunnen og 30 m dyp. En utskiftning av 70 % av dette medfører $235 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ nytt vann.

Måleresultatene tyder på at innstrømningen over Brevikterskelen foregikk i 6-8 uker. Fordelt over 6 uker blir innstrømningfluksen $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er imidlertid sannsynlig at innstrømningsfluksen har variert og dermed periodevis har vært både mindre og også høyere enn dette.

Etter at innstrømningen var avsluttet ble vannmassene i Langesundsbukta etterhvert skiftet ut av vann med høyere temperatur, lavere saltholdighet og dermed mindre tetthet (figurene 50 a-c).

Under mai-toktet var vannmassene i Brevik- og Langesundsfjorden tyngre enn vannmassene i tilsvarende dyp i Langesundsbukta og forholdene lå tilrette for at dette tunge vannet kunne strøkke ut over terskelen ved Kjørtingen, med en innstrømning av lettere og midre salt vann ($10-11^{\circ}\text{C}$, $30-33\text{ }^{\circ}/\text{oo}$) høyere oppe i vannsøylen.

Under juni-toktet var vannmassen mellom ca. 16 m og 70 m i Brevik- og Langesundsfjorden helt eller delvis fornyet av denn utskiftningen. Denne reduksjonen av tetthet i Brevikfjorden hadde deretter medført en utstrømning av tungt Frierfjordvann over Brevikerskelen. Dette vannet kom fra ca. 12-25 m dyp i Frierfjorden og har utenfor terskelen sunket ned på ca. 40 m dyp hvor det ses som et oksygenminimum (figur 25-27).

Den tilsvarende innstrømning av lettere vann til Frierfjorden medførte der etterhvert en midre reduksjon i saltholdighet og økning i oksygeninnhold ned til ca. 25 m (se figurene 48 a-b).

Innstrømningen av relativt varmt ($13-14^{\circ}\text{C}$) og saltfattig ($32-33^{\circ}/\text{oo}$) vann til fjordområdene utenfor Brevik fortsatte utover i juli-september, se figurene 49 a-b, og berørte vannmassene helt ned til ca. 85 m dyp. Det må imidlertid bemerkes at dette neppe har vært noen kontinuerlig innstrømning, men heller en serie med innstrømninger av vekslende varighet.

I tidsrommet oktober-desember 1974 fant sted en langvarig innstrømning av tyngre vann fra Skagerak til Langesund-, Brevik- og Eidangerfjorden. Dette medførte en viss fornyelse av vannmassene helt til bunnen (se fig. 49 a-b). At økningen i konsentrasjonene av salt og oksygen ble såpass små - fra ca. $34.76^{\circ}/\text{oo}$ til $34.95^{\circ}/\text{oo}$ salt og fra $3.4\text{ ml O}_2/\text{l}$ til ca. $4.3\text{ ml O}_2/\text{l}$ på st. GH-1, 100 m dyp - må skyldes at volumet av nytt vann som nådde bunnen var relativt lite.

Denne innstrømmende vannmassen trengte også inn over Brevikerskelen, som registrert av strømmåleren (se kap. 4.2.3). Hermed foregikk en fornyelse av det intermediære vannlag ned til ca. 35 m i Frierfjorden, og restene av det gamle bunnvannet som siden april hadde ligget i 25-35 m dyp, ble ytterligere fortynnet og transportert ut av fjorden.

Innstrømningen skjedde under og etter en periode med lavtrykk og nordlig vind i Oslofjord- Skagerakområdet (se fig. 19-20). Dette medførte at de øvre vannmasser i Langesundsbukta ble drevet ut fra land, samtidig som dypere liggende tungt og salt vann nær land ble hevet høyt nok til å kunne strømme inn i Langesundsfjorden (VHL 1975), altså en typisk upwellings-situasjon.

Som ved den store innstrømningen av salt og kaldt (tungt) vann i mars-april 1974, synes også innstrømningen i oktober - desember å ha blitt etterfulgt av en utstrømning av tungt vann over terskelen ved Kjørtingen samt en innstrømning av lettere vann høyere oppe i vannsøylen. På grunn av dårlig vær ble ikke st. JH-1 på Langesundsbukta tatt i januar, og man kjenner derfor ikke vannmassens tetthet på denne stasjonen relativt til st. GH-1 ved dette tidspunktet. I februar hadde imidlertid vannmassene på st. JH-1 avtatt i tetthet fra overflaten og til ca. 50 m. Dette indikerer at mekanismen bak denne utskiftningen var den samme som i mai-september 1974.

I Frierfjorden ble det intermediære vannlag delvis fornyet under denne utskiftningen, noe som kom til uttrykk som en reduksjon av saltholdighet og økning av oksygeninnhold mellom ca. 8 m og 20 m (se fig. 48 a-c).

I februar - mars 1975 fant sted en innstrømning med kaldt (ca. $6-6.6^{\circ}\text{C}$) og salt (ca. $33-33.9^{\circ}/\text{oo}$) vann inn i fjordområdene. Volum og tetthet av den innstrømmende vannmasse var ikke like stor som våren 1974, men det foregikk likevel en delvis fornyelse av vannmassene helt til bunnen i Langesunds-, Brevik- og Eidangerfjorden. Dette fremgår tydeligst på figurene 49 a-c, der oksygeninnholdet i 90 m dyp på st. DF-1 i tidsrommet februar - mars økte fra ca. $4 \text{ ml O}_2/\text{l}$ til over $6 \text{ ml O}_2/\text{l}$. Tilsvarende avtok temperaturen fra ca. 8.1°C til 6.7°C , og saltholdigheten økte fra ca. $34.45^{\circ}/\text{oo}$ til ca. $34.73^{\circ}/\text{oo}$.

Under mars-toktet ble det også registrert en fornyelse av dypvannet på st. EE-1, idet bl.a. oksygeninnholdet var økt med $2.2 - 3.5 \text{ O}_2/\text{l}$ siden februar-toktet. I selve Frierfjorden var vannutskiftningen ikke begynt.

Under påfølgende tokt, 22.-23.4.1975, var dypvannsfornyelsen i Frierfjorden stort sett avsluttet. Oksygeninnholdet ved bunnen var økt fra ca. $0.2 \text{ ml O}_2/\text{l}$ og opp til ca. $2.4 \text{ ml O}_2/\text{l}$ (st. BC-1, 85 m dyp), se fig. 37.

Som ved de to innstrømningene i 1974 foregikk også denne under en periode med mye nordlig vind. De hydrografiske forholdene i Skagerak forøvrig har en liten kjennskap til.

Endringene i temperatur og saltholdighet ved denne innstrømningen var meget små. Under ca. 70 m hadde temperaturen avtatt med 0.01-0.03°C. Over 70 m hadde temperaturen økt tilsvarende. Saltholdigheten var uendret eller hadde avtatt med inntil 0.01‰ i måledypene under 40 m. Dette tyder på at det var en relativt liten mengde nytt vann som kom inn i Frierfjorden under denne innstrømningen, og at denne skjedde kort tid etter mars-toktet. Datamaterialet gir ikke grunnlag for en tilsvarende beregning av mengden nytt vann, som for mars - april 1974, men man kan kanskje anta at 20-30 % av dypvannet ble fornyet.

I Herrebukta var dypvannet i april ikke blitt fornyet, og hydrogensulfid (H_2S) var dannet siden mars-toktet.

Denne dypvannsfornyelsen var av betydelig mindre omfang enn i mars - april 1974, og allerede i mai 1975 var oksygeninnholdet redusert til under 1.5 ml O_2 /l i dypvannet i Frierfjorden. Da var imidlertid dypvannet i Herrebukta delvis fornyet, og oksygeninnholdet lå i området 0.3-0.5 ml O_2 /l. Noe av det gamle dypvannet fra Frierfjorden var da transportert ut i Brevik - Langesundsfjorden, markert ved et oksygenminimum i ca. 25-40 m dyp, se figur 49 c.

Under juni-toktet 1975 ble st. JH-1 ikke tatt p.g.a. dårlig vær. Målingene av temperatur, saltholdighet og oksygen er vist på figurene 38-40. Den estuarine kompensasjonsstrømmen inneholdt relativt varmt sjøvann, og fremstår som en "tunge" i ca. 6-10 m dyp innenfor Brevik.

Utenfor Brevik lå fremdeles gammelt Frierfjordvann som et oksygenminimum i ca. 25-35 m dyp.

Etter dette toktet og frem til juli-toktet skjedde trolig en ny utstrømning av tungt vann over tersklene ved Kjørtingen og Brevik, med en tilsvarende innstrømning av lettere vann, se figurene 48 c og 49 c. I Frierfjorden var denne utskiftningen merkbar ned til ca. 25 m. I fjordområdene utenfor Brevik var den merkbar ned til ca. 50 m (terskeldypet).

I september 1975 foregikk en større innstrømming av varmt ($15-16^{\circ}\text{C}$) vann til fjordområdene (figurene 41-43), om denne oppsto som følge av en utstrømming av tyngre dypvann over tersklene er uvisst. I Eidangerfjorden, Brevikfjorden og Langesundsfjorden ble vannmassene helt eller delvis fornyet ned til ca. 80-90 m dyp. Vannmassene hadde videre trengt inn over Brevikterskelen og fornyet det intermediære vannlag i Frierfjorden til ca. 30 m dyp.

Under det etterfølgende toktet i oktober 1975 var det intermediære vannlag (ned til ca. 45 m) i fjordområdene utenfor Brevik i ferd med å bli fornyet ved en innstrømming av nytt vann over terskelen ved Kjørtingen. Dette medførte at temperaturen avtok med $2 - 2.5^{\circ}\text{C}$ og saltholdigheten økte med opptil $0.5^{\circ}/\text{oo}$ (se fig. 49 a-b). Den dominerende vindretning ved dette tidspunkt var nordlig.

Dette vannet var også i ferd med å fornye det intermediære vannlag ned til ca. 30 m i Frierfjorden. Endringene i temperaturen og oksygenkonsentrasjoner var imidlertid små, mens saltholdigheten mellom ca. 8 m og 30 m dyp var økt med $1-2^{\circ}/\text{oo}$. I Frierfjordens dypvann ble det registrert hydrogen-sulfid for første gang siden mars 1974, se figurene 48 a-c.

I desember 1975 var vannmassene i fjordområdene utenfor Brevik blitt fornyet helt til bunnen med jevnt over lavere temperatur og høyere konsentrasjoner av salt og oksygen som resultat, fig. 44-46, 49 a-c. Under ca. 80 m hadde dette imidlertid medført en økning av temperaturen. I 100 m dyp var temperaturen økt fra ca. 6.6°C til ca. 8.2°C samtidig som saltholdigheten var den samme ($34.58^{\circ}/\text{oo}$). Resultatet av (den delvise) fornyelsen var dermed at vannmassen under ca. 80 m dyp avtok i tetthet, noe som er uvanlig. Det kan dermed synes som det gamle dypvannet har blitt tilført noe nytt vann med samme saltholdighet, men med høyere temperatur (ca. 9°C) og høyere oksygeninnhold.

I Frierfjorden foregikk en intermediær innstrømming. Den fremstår særlig godt på fig. 46, som en kile med oksygenrikt vann. Denne vannmassen varda imidlertid for lett til å kunne trenge ned i dypvannet og fornye dette. Øvre grense for hydrogensulfid var ved dette toktet ca. 40 m mot 50 m under foregående tokt.

4.4 Hydrofysiske målinger i Gunnekleivfjorden og Skienselva

4.4.1 Gunnekleivfjorden

Gunnekleivfjorden er et relativt vidt og grunt område, se figur 4. Overflatearealet er 1.06 km^2 og største dyp 11 m. Fjorden har forbindelse med Skienselva i nordvest og med Frierfjorden gjennom en smal og grunn kanal i sør. Åpningen mot Skienselva har minste dyp på ca. 4 m, og i kanalen er minste dyp ca. 2,3 m.

Som vist på fig. 4 ble det i september 1975 tatt vannprøver på 3 stasjoner, i 0 m, 3 m og 8 m dyp. Det ble dessuten målt med salinoterm for hver meter fra overflaten og til bunns. Saltholdigheten i 0-4 m dyp lå i området 5-7 ‰, og oksygeninnholdet i området 4.6-5.5 ml O_2 /l.

Under ca. 5 m lå saltholdigheten i området 12-14 ‰. I 8 m dyp (st. G-3) ble det registrert hydrogensulfid, 9.56 ml H_2S /l.

Resultater fra en enkelt prøveserie gir ikke grunnlag for en generell vurdering av vannutskiftningen i Gunnekleivfjorden. Målingene av saltholdighet og oksygen/hydrogensulfid under 5 m dyp viser imidlertid at "terskelen" (4 m dyp) mot Skienselva er et vesentlig hinder for fornyelsen av dypvannet i Gunnekleivfjorden. Samtidig medfører industriutslipp og kommunale utslipp høyt oksygenforbruk, og resultatet blir at det etterhvert dannes hydrogensulfid i dypvannet.

Man kan gå ut fra at dypvannet utskiftes med visse mellomrom, men utskiftningsfrekvensen og tiden som medgår før det igjen opptrer hydrogensulfid, er ukjent.

4.4.2 Skienselva

I Skienselva har man tatt vannprøver nedenfor Klosterfoss og ved Porsgrunn bybro i mai, juli, september og desember 1974, samt under de fire hovedtoktene i 1975.

Vannprøvene har vanligvis blitt tatt fra overflaten, mens under toktene i september og desember 1975 tok man også vannprøver fra henholdsvis 10 m og 12 m dyp. Vannføringen i Skienselva har variert i området ca. $120 - 400 \text{ m}^3/\text{s}$ ved prøvetakingen.

Resultatene viser at det i Skienselva ligger et brakkvannslag med saltholdighet 0 - 10⁰/oo over en sjøvannsmasse med saltholdighet ca. 25 - 33⁰/oo. De to vannmassene er skilt av et skarpt overgangslag (sprangsjikt). Tykkelsen av brakkvannslaget og saltholdigheten vil variere både nedover langs elva og med vannføringen. I september 1975 var det 5 m tykt ved Klosterfoss, og i desember var det ca. 8 m tykt ved Klosterfoss og 3 m tykt ved Porsgrunn bybro. Vannføringen ved de to tidspunktene var henholdsvis 144 m³/s og 243 m³/s.

Den underliggende sjøvannsmasse beveger seg langsomt oppover elva for å erstatte det sjøvann som brakkvannsstrømmen river med seg (estuarin sirkulasjon). Denne sjøvannsmassen er åpenbart hardt belastet med organisk stoff som nedbrytes under forbruk av oksygen. I september 1975 ble målt 0.44 ml H₂S/l på 10 m dyp ved Klosterfoss. På samme dyp ved Porsgrunn bybro var oksygeninnholdet 4 ml O₂/l.

I desember 1975 var oksygenkonsentrasjonene på 12 m dyp ved Klosterfoss og Porsgrunn bybro henholdsvis 1.6 ml O₂/l og 2.5 ml O₂/l. Bunndypet ved begge stasjoner er ca. 15 m.

Måleresultatene viser at vannutskiftningen i sjøvannsmassen i Skienselva er for dårlig til at man kan unngå kritiske oksygenverdier under nåværende belastning med lett nedbrytbart organisk stoff.

5. SAMMENFATTENDE VURDERING AV VANNUTSKIFTNINGSFORHOLDENE

I GRENLANDSFJORDENE

Ut fra den vertikale saltholdighetsprofilen kan vannmassene i Grenlandsfjordene grovt inndeles i tre lag: overflatelag, intermediært lag og dypvann.

5.1 Overflatelaget

Overflatelaget i Frierfjorden og de utenforliggende fjordområder er ca. 1-7 m tykt, med saltholdighet på 0,5-10 ‰, varierende med ferskvannstilførselen.

Denne brakkvannsmassen strømmer raskt ut gjennom fjordområdene. For Frierfjorden som helhet vil teoretisk oppholdstid for brakkvannet være i området 1,5-4,5 døgn, avhengig av ferskvannstilførselen. For selve brakkvannsstrømmen vil oppholdstiden være betydelig kortere enn dette, trolig 8-20 timer, og dermed betydelig lengre i områdene med svakest strøm (Herrebukta og østsiden av Frierfjorden).

For strekningen Brevik - Langesundsbukta er oppholdstiden beregnet til mellom 5 og 20 timer, avhengig av ferskvannstilførselen.

For Eidangerfjorden har man ikke grunnlag for å beregne overflatelagets oppholdstid.

5.2 Det intermediære vannlag

I Frierfjorden begynner det intermediære vannlag oftest i 6 - 8 m dyp og når ned til ca. 30 m. I fjordområdene utenfor Brevik opptrer vanligvis et intermediært vannlag mellom 6 - 8 m og ca. 50 m dyp.

Utskiftningen av det intermediære vannlag i fjordområdene er i hovedsaken resultat av tidevann, den estuarine kompensasjonsstrøm og mer sporadiske innstrømninger av nytt vann over tersklene ved Kjørtingen og Brevik. For en generell beskrivelse av disse utskiftningsmekanismene vises til kap. 3.

Ved en midlere tidevannvariasjon på 0,25 m og et fjordareal på ca. 20 km², vil et vannvolum på ca. $5 \cdot 10^6$ m³ bli transportert ut og inn gjennom Brevikstrømmen to ganger i døgnet. Antas at ca. 30 % av dette vannvolumet fornyes ved hver tidevannssyklus, ($3 \cdot 10^6$ m³/døgn), medgår ca. 100 døgn i før hele vannmassen mellom ca. 6 m og 25 m dyp i Frierfjorden er utskiftet gjennom ren tidevannsfornyning.

Beregninger av volumtransporten ved den estuarine kompensasjonsstrømmen viser at dennes bidrag til vannutskiftningen trolig kan være betydelig større enn tidevannsutskiftningen, sannsynligvis i området $5-40 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Det må presiseres at beregningene er beheftet med store usikkerheter. Imidlertid gir resultatene en pekepinn på størrelsen av disse transportene.

Det er videre viktig å være oppmerksom på at den estuarine kompensasjonsstrømmen trolig er konsentrert om de områder hvor brakkvannsstrømmen er sterk-est og ventelig bidrar mindre til utskiftningen i Herrebukta og på Frierfjordens østside.

I måleperioden har større innstrømninger av vann fra Skagerak til fjordområdene tre til fem ganger pr. år bidratt til hele eller delvise fornyelser av det intermediære vannlag (og i blant også dypvannet) i Langesund-, Brevik og Eidangerfjordene. Innstrømningene har vanligvis foregått under eller like etter perioden med overveiende nordlig vind og/eller lavt lufttrykk. Inne i fjordområdene vil nordlig vind bidra til at transporten av brakkvann ut fjorden øker. Dette senker vannstanden inne i fjordene og fremkaller dermed en trykkgradient som i det intermediære vannlag resulterer i en økt innstrømning av sjøvann.

Videre vil den nordlige vinden kunne drive overflatelaget ved kysten ut fra land samtidig som dypereliggende salte og kalde (tunge) vannmasser heves nær land. Disse tunge vannmassene kan så strømme over terskelen ved Kjørtingen og inn i fjordområdene utenfor Brevik.

Som nevnt i kap. 3 kan varierende lufttrykk medføre til dels store vannstands- endringer og dermed vannutskiftning. Helt enkelt kan man si at en lufttrykksendring på 1 millibar tilsvarende en vannstands- endring på 1 cm, selv om dette forholdet vil variere noe fra fjordområde til fjordområde og også med lufttrykket. Lufttrykksvariasjonene skaper dermed en "pumpe-effekt" som bidrar til vannutskiftningen i fjordområdene. Man har påvist at innstrømninger av vann over Breviksterskelen er godt korrelert med fallende lufttrykk i området.

De større innstrømningene til de ytre fjordområdene medfører vanligvis en innstrømning over Breviksterskelen og dermed til delvise fornyelser av det intermediære vannlag i Frierfjorden. Dette synes å foregå tre - fem ganger pr. år.

Ute i Langesundsbukta skifter de hydrografiske forholdene raskt, og etter en innstrømning av salt, kaldt og dermed tungt vann til fjordområdene, kan

det der ute kort tid etter oppstå relativt varme og saltfattige vannmasser. Disse har da lavere tetthet (er lettere) enn det en finner i det intermedieære vannlag i fjordområdene utenfor Brevik, som så kan strømme over terskelen ved Kjørtingen og ut i Langesundsbukta. Samtidig vil det da foregå en innstrømning av lettere vann høyere oppe i vannsøylen. Når denne lette vannmassen når inn i Brevikfjorden, vil samme utskiftningsprosess kunne foregå over Brevikterskelen.

Denne type utskiftninger synes å ha etterfulgt både innstrømningene i mars - april 1974, oktober - desember 1974 og mars - april 1975.

Måleresultatene har vist at den smale og grunne terskelen ved Brevik er til hinder for utskiftningen av det intermedieære vannlag i Frierfjorden.

Dypeste punkt ved Kjørtingen er ca. 50 m, og området er smalt og stort sett ganske grunt. Det synes å være klart at dette har en negativ effekt på utskiftningen av det intermedieære vannlag i fjordområdene utenfor Brevik, men det er ennå uvisst hvor mye den betyr i så henseende.

5.3 Dypvannet

Dypvannet i Frierfjorden ligger vanligvis mellom ca. 30 m og bunn. Det skiller seg fra det overliggende intermedieære vannlag ved at det oftest er nokså homogent hva temperatur og saltholdighet angår, og periodevis er helt stagnant.

Dypvannet i Eidanger-, Brevik- og Langesundsfjordene ligger oftest mellom 60 - 70 m og bunn. Det er imidlertid mindre homogent og fornyes oftere enn Frierfjordens dypvann.

Tidligere registreringer av dypvannsfornyelser i Frierfjorden utgjør et nokså tynt materiale, og stammer i hovedsaken fra tidsrommet 1952-64 da man kan påvise 4 dypvannsfornyelser. I 1970-årene har slike funnet sted i 1971, 1972, 1974 og 1975. I 1973 ble det ikke utført målinger.

Omfanget av dypvannsfornyelsene vil variere fra år til år, avhengig av tetthet og volum av den innstrømmende vannmasse relativt til dypvannet i fjorden. Man har beregnet at ca. 70 % av dypvannet i Frierfjorden ble utskiftet i mars - april 1974. Dypvannsutskiftningen i 1972 var trolig av samme størrelsesorden. Denne type dypvannsfornyelser medfører en markert og langvarig (6-8 mnd.) forbedring av vannkvaliteten.

I 1975 ble imidlertid bare en mindre del av dypvannet fornyet, anslagsvis 20-30 %, og forbedringen av vannkvaliteten var tilsvarende liten og kortvarig.

Dypvannets tetthet endrer seg meget lite med tiden (fig. 48d), noe som skyldes at den vertikale turbulente diffusjon av salt og varme er svært liten. Den største minskningen av tettheten skjedde i tidsrommet november 1974 - januar 1975, noe som trolig skyldtes at utskiftningen av det intermediære vannlag i Frierfjorden oktober-november 1974 medførte sterkere bevegelser og dermed økt turbulent diffusjon i dypvannet.

At tettheten i Frierfjordens dypvann avtar så langsomt, medfører at etter en dypvannsutskiftning med tungt vann tar det lang tid før dette har blitt tilstrekkelig lett for at en ny utskiftning kan foregå.

De foreliggende resultatene tyder på at dypvannsfornyelser i Frierfjorden vanligvis foregår med ett til to års mellomrom.

De større innstrømmingene over Brevikterskelen synes å foregå i tidsrommet februar - mai de enkelte år. Dette passer også med tiden for dypvannsutskiftningene i Oslofjorden. For årene 1972, 1974 og 1975 er det påvist at innstrømmingene foregikk i tidsrommet februar - april.

Måleresultatene viser klart at terskelen ved Brevik (23 m dyp) er et avgjørende hinder for en regelmessig fornyelse av Frierfjordens dypvann. At fjorden her er meget smal, 250-300 m, må også tillegges en viss betydning.

Det relativt grunne området (25-40 m dyp) mellom Herrebukta og Frierfjorden er gjennomskåret av en smal kanal med minste dyp 53 m. Oksygenforholdene fra ca. 30 m dyp og til bunnen er imidlertid jevnt over klart dårligere

enn på tilsvarende dyp i selve Frierfjorden, noe som indikerer dårlig vann-
utskiftning gjennom kanalen og/eller høy belastning med lett nedbrytbart
organisk materiale.

I forbindelse med at vannmasser fra Skagerak trenger inn i fjordområdene
og fornyer dypvannet i Frierfjorden, blir også dypvannet i Eidanger-,
Brevik- og Langesundsfjorden skiftet ut. Dypvannet i disse fjordområder
vil også kunne bli helt eller delvis fornyet i forbindelse med innstrømninger
av vannmasser som har for lav tetthet til å kunne påvirke dypvannet i
Frierfjorden. Måleresultatene fra 1974 og 1975 tyder på at denne type
innstrømninger vanligvis skjer en til to ganger i løpet av ettersommeren
og høsten.

For de ytre fjordområder viser resultatene at dypvannet periodevis er
stagnant, noe som skyldes at terskelen (ca. 50 m) ved Kjørtingen og fjordens
innsnevring i samme område.

Mekanismene bak innstrømninger av vann fra Skagerak med etterfølgende
terskeloverskyllinger og fornyelser av intermedieære vannlag eller dypvannet,
vil man vente med å gi en fullstendig drøftelse av til sluttrapporten.
Kort kan likevel nevnes at det synes å ligge to hovedmekanismer bak inn-
strømmingene. De kan foregå under eller like etter perioder med lavt
lufttrykk i Oslofjord-Skagerak-området og/eller nordlig vind. Dette
er mekanismer som er tidligere beskrevet for indre Oslofjord (Gade 1970 og
NIVA 1974). Og de kan opptre som følge av de skiftende hydrografiske
forhold ute på Langesundsbukta, hvorved forholdene legges tilrette for at
vannmassen med høy tetthet (oftest salte og kalde) kan strømme over
tersklene og inn i fjordbassengene, eller at tungt fjordvann kan strømme
over tersklene og ut i Langesundsbukta.

6. REFERANSER

Brækken, A., 1966:

Hydrografiske undersøkelser i Frierfjorden, Hovedfagsoppgave i geografi (limnologi), Universitetet i Oslo, høsten 1966.

Det mat. nat. fak. sekretariat, Blindern. Stensilert, 175 s. (Unpubl.)

Carstens, T., 1970:

Turbulent diffusion and entrainment i two-layer flow.

Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE 96 (WW1). Proc.

Paper 8081: 97-104. (Reprint 3/70 fra Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH).

Danielsen, D.S. & Føyen, L, 1973:

Frierfjorden - en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning.

Fisken og Havet. Serie B (1973) 6:1-19.

Dannevig, A., 1930:

The propagation of our common fishes during the cold winter 1924.

Rep. Norw. Fish. Mar. Invest. 3(10): 1-60.

Gade, H. G., 1970:

Hydrographic Investigation in the Oslofjord, a Study of Water

Circulation and Exchange Processes. Vol I - III. Report 24,

Geophysical Institute, University of Bergen.

Gaarder, T., 1916:

"Surstoffet i fjordene", Bergen Museums Aarbok 1915-16.

Naturvitenskap Række nr. 2, 25-34.

Haamer, J., 1973:

Current measurements with gelatine pendulums Chalmers University og Technology, Geology Div. Report A4, 1973.

Helle, H. B., 1975:

Oseanografisk resipientundersøkelse av fjordene rundt Bergen.

Bd. I+II. Geofysisk inst., avd. A, Universitetet i Bergen, 1975.

Hjort, J. & Gran, H. H., 1900:

Hydrographic-biological investigations of the Skagerak and the Christiania Fjord. Rep. Norw. Fish. Mar. Invest. 1 (2): 1-56, pluss tabeller.

NIVA, 1973a:

O-111/70 Resipientvurderinger av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 1. Tidligere undersøkelser - Generelle forhold - Forurensingstilførsler. (Saksbehandlere: Ø. Johansen, S. Kolstad, T. Bokn og B. Rygg). Stensilert 93 sider. Juli 1973.

NIVA 1973b:

O-111/70 Resipientvurderinger av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Revidert forslag til undersøkelsesprogram. (Saksbehandler: Jon Knutzen). Stensilert 14 sider + figur. 9.11.1973.

NIVA 1974:

O-160/71 Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkningsprogram. Årsrapport 1973. (Saksbehandlere: Jan Magnusson og Torsten Källquist) Stensilert 58 s. + figurer. 21.10.1974.

NIVA 1975a:

O-111/70 Resipientvurderinger av Nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport 2. Fremdriftsrapport fra undersøkelsen mars 1974 - februar 1975. (Saksbehandler: Jarle Molvær) Stensilert 22 s. + figurer. 2.4.1975.

NIVA 1975b:

O-112/74 Strøm- og sjiktningmålinger ved Rafnes, Bamble. Rapport 1. Tidligere undersøkelser - Rapport fra fase 1, vintersituasjonen. (Saksbehandler: Jarle Molvær.) Stensilert 18 s. + figurer. Mai 1975.

NIVA 1975 c:

O-112/75 Strøm- og sjiktningsmålinger i Frierfjorden. Rapport nr. 2.
Måleresultater mai-juni 1975 - Sammenfattende vurderinger.
(Saksbehandler: Jarle Molvær). 25 s. + figurer. 23.10.1975.

Strøm, K. M., 1936:

Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions. Skr. Norske Vidensk.-Akad. I. Mat.-Naturv. Klasse. 7: 1-85. Plansjer 1-9.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1965:

Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden.
Rapport fra oppdragsnr. 600235 (Saksbehandler: A. Trøtteberg) III + 4 s pluss 13 bilag.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1966:

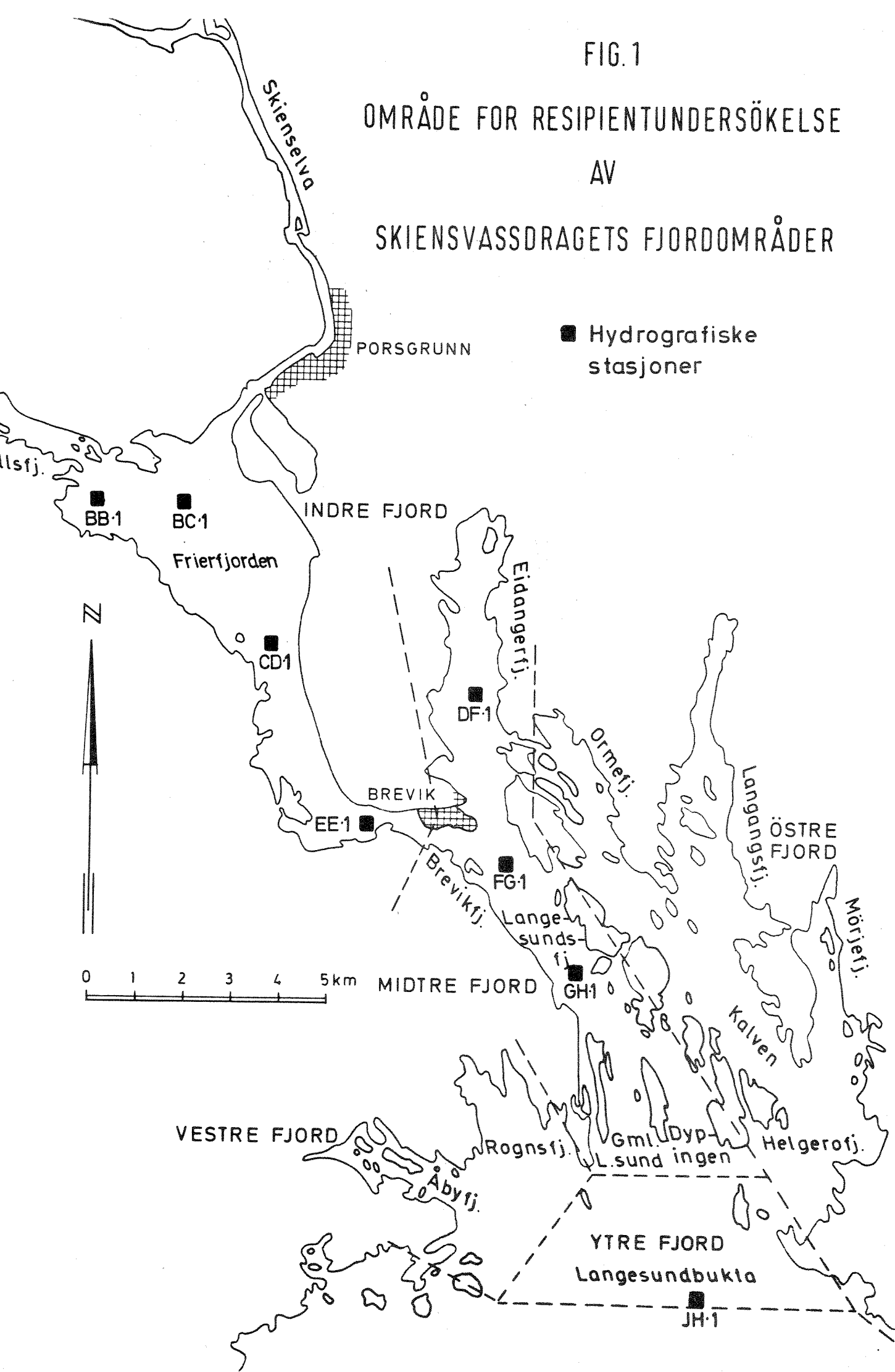
Utvidelse av skipsleden i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600262 (Saksbehandler: R. Riksheim og A. Trøtteberg) VIII + 44 s. pluss 64 bilag (figurer).

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1975:

Toktrapport, Hydrografi og strøm Naverfjorden 5.11. - 10.12.1974.
Rapport for oppdragsnr. 601250.2 (Saksbehandler: Jan Aure).
Stensilert 5 s. + figurer. 21.2.1975.

FIG. 1

OMRÅDE FOR RESIPIENTUNDERSÖKELSE
AV
SKIENSVASSDRAGETS FJORDOMRÅDER



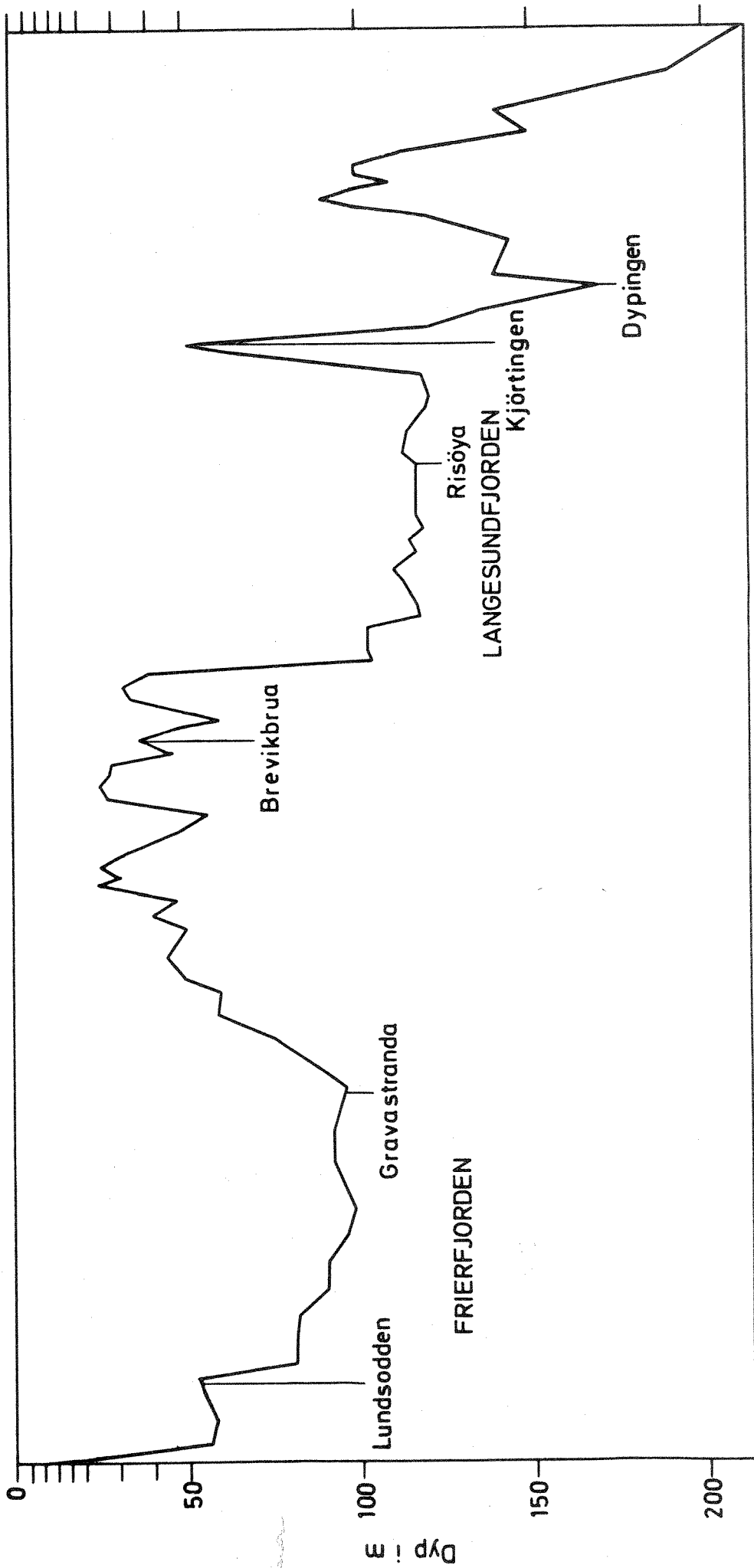


Fig.2 Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

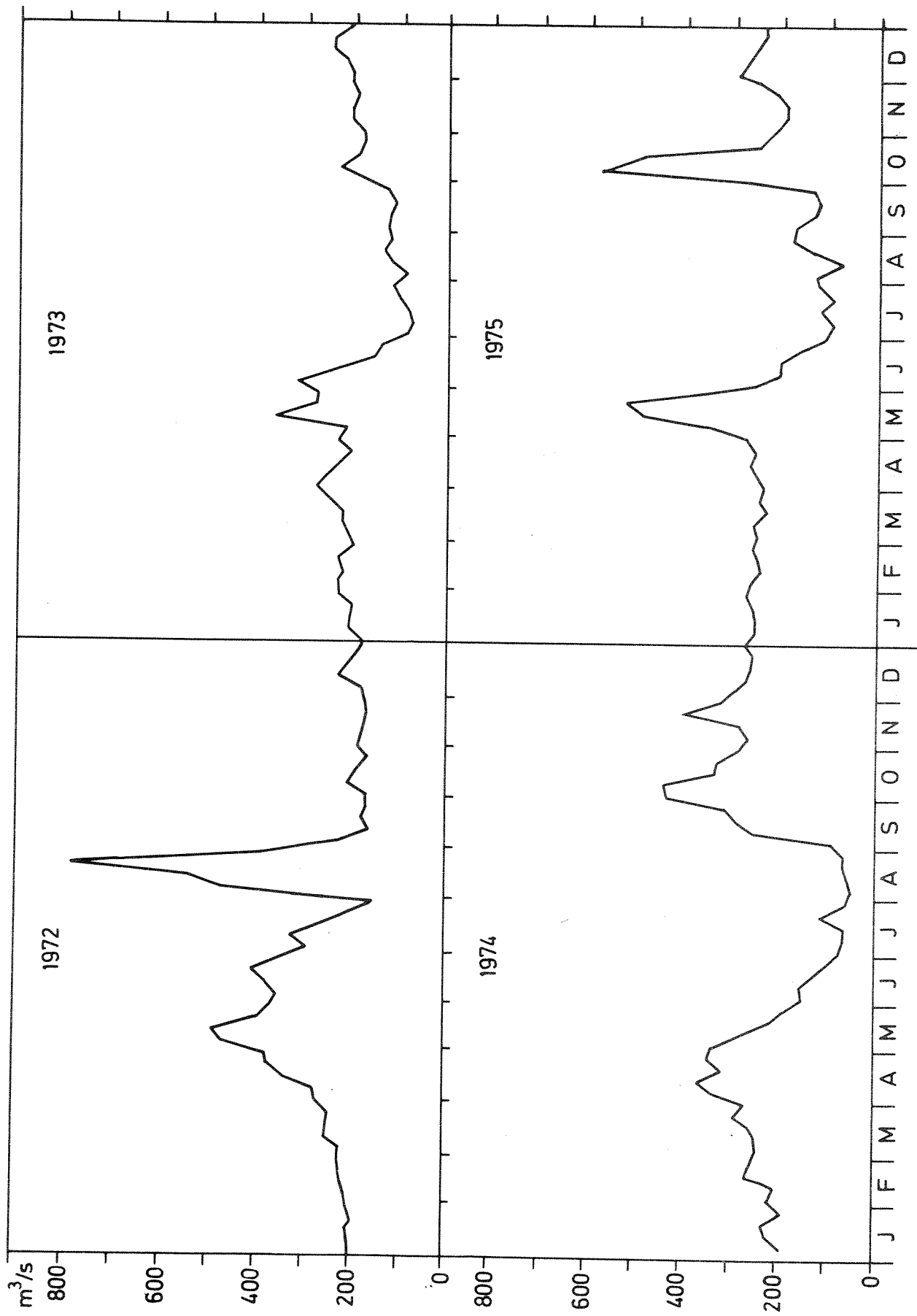


Fig.3 Ukevidler av vannføring ved Skotfoss januar 1972 - desember 1975.

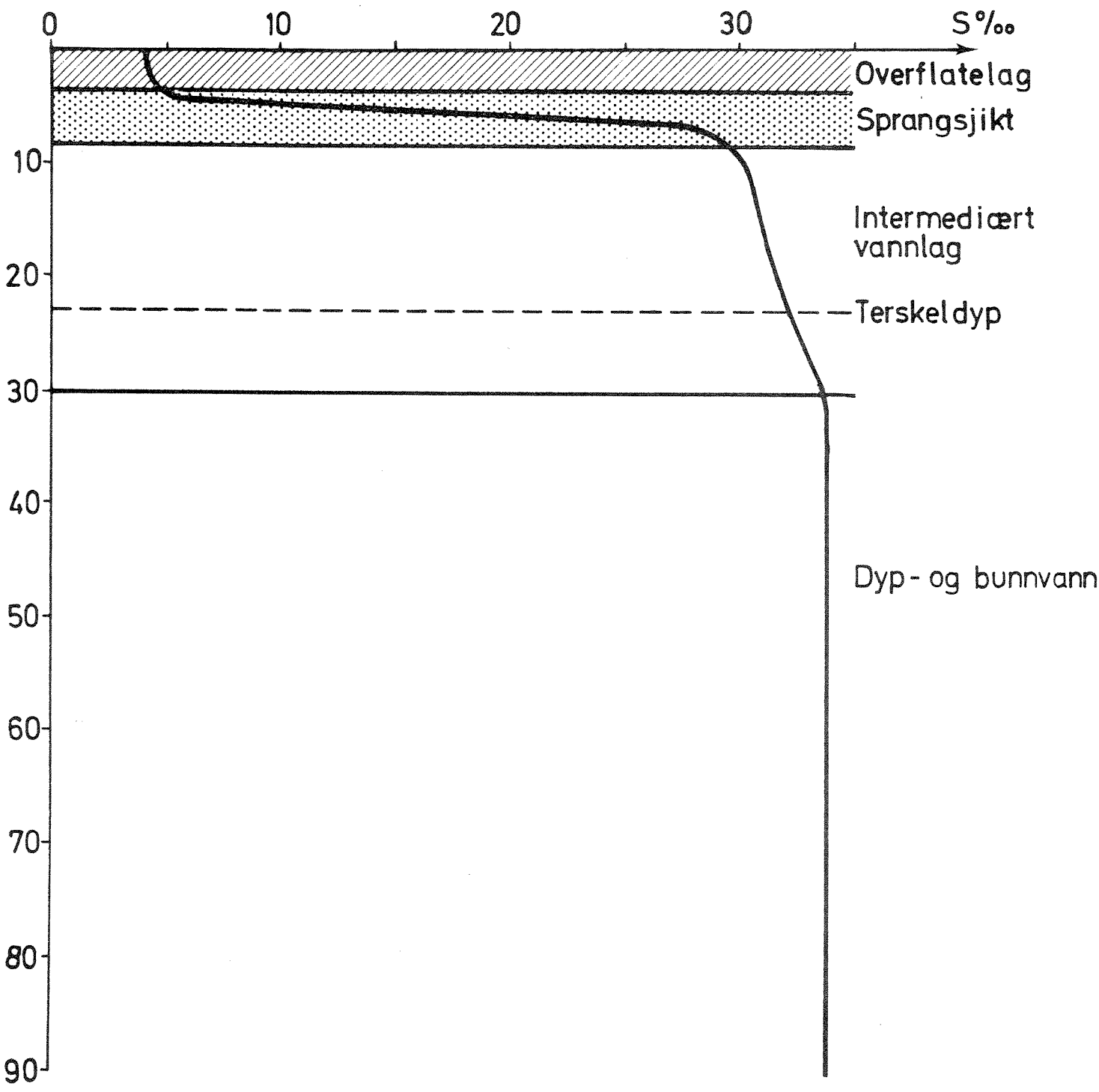


Fig. 4. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser.

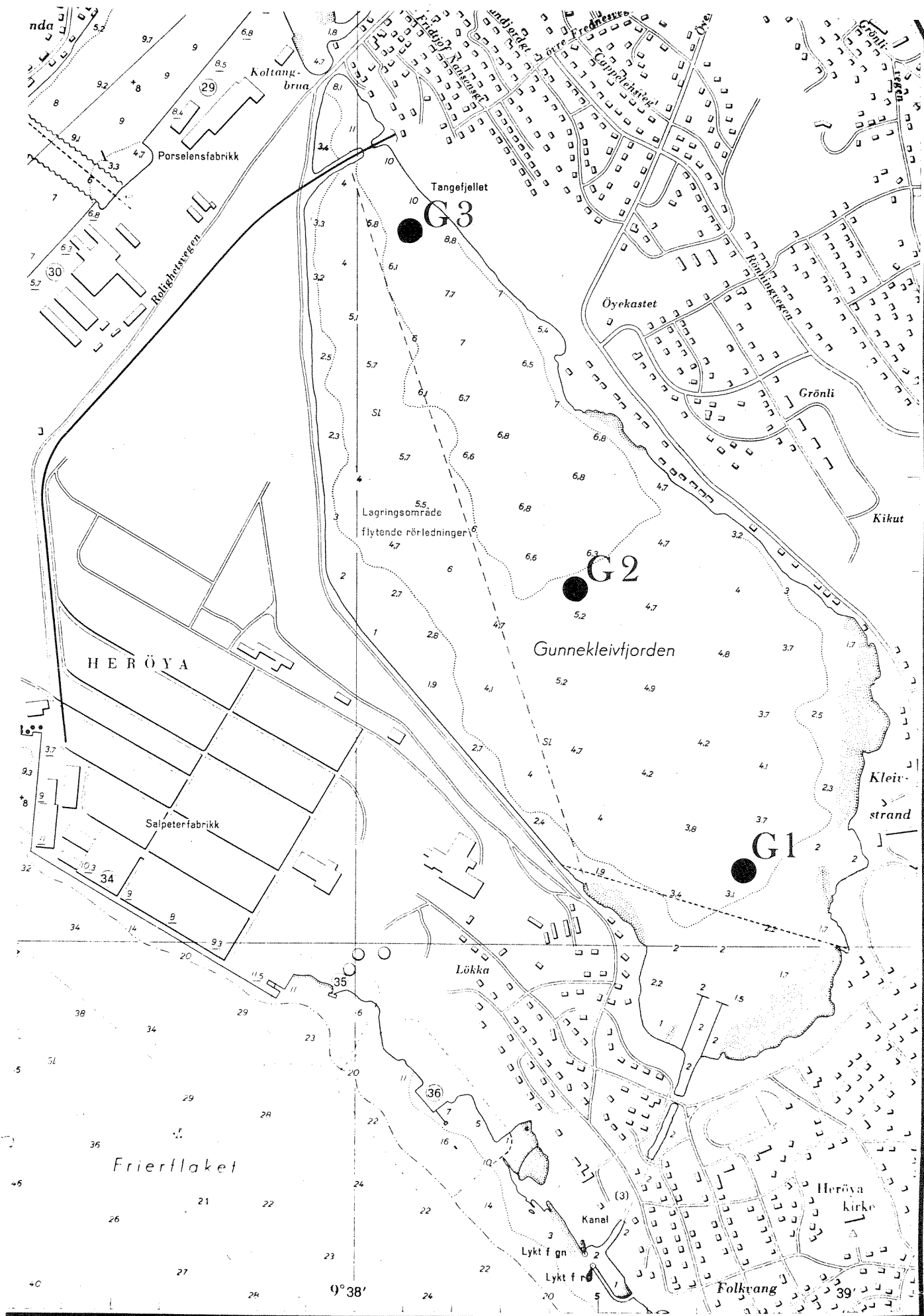


Fig. 5. Stasjonene i Gunnekleivfjorden.

Fig. 6a Strømmønster ved estuarin sirkulasjon

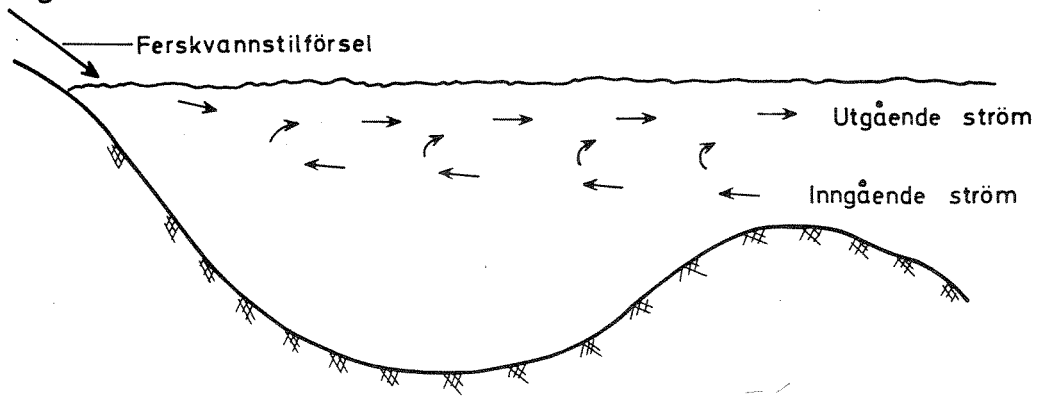


Fig. 6b Strøm i fjorder forårsaket av vind

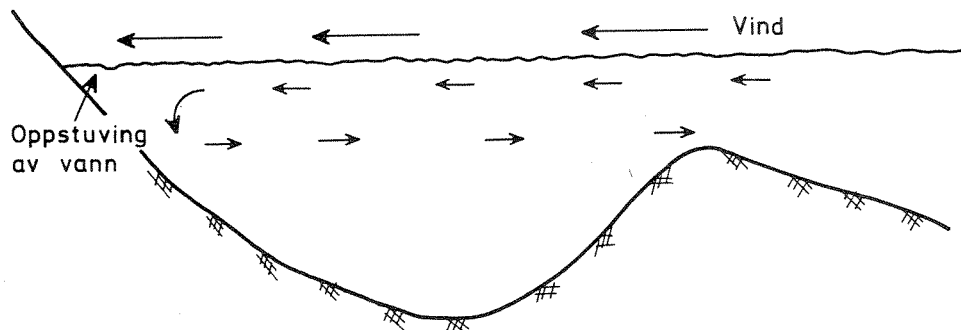
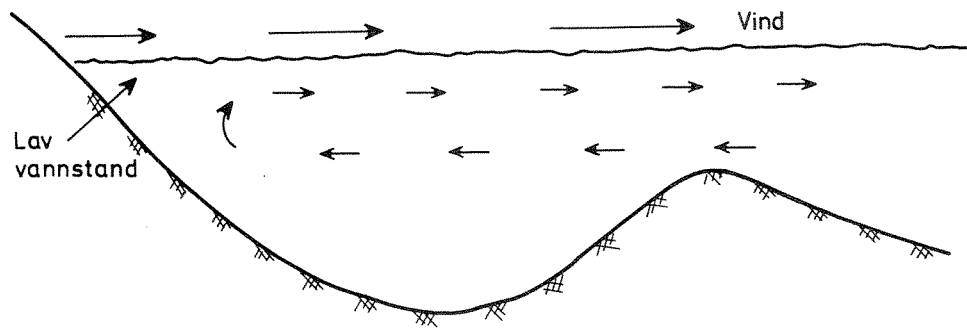
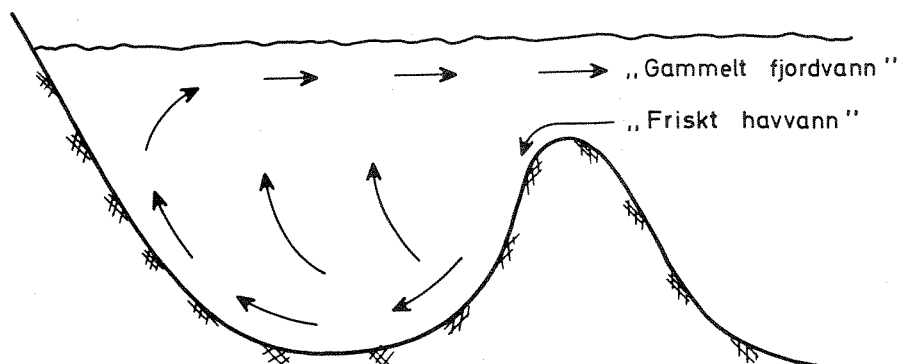


Fig. 6c Strømmønster ved terskeloverskyllinger



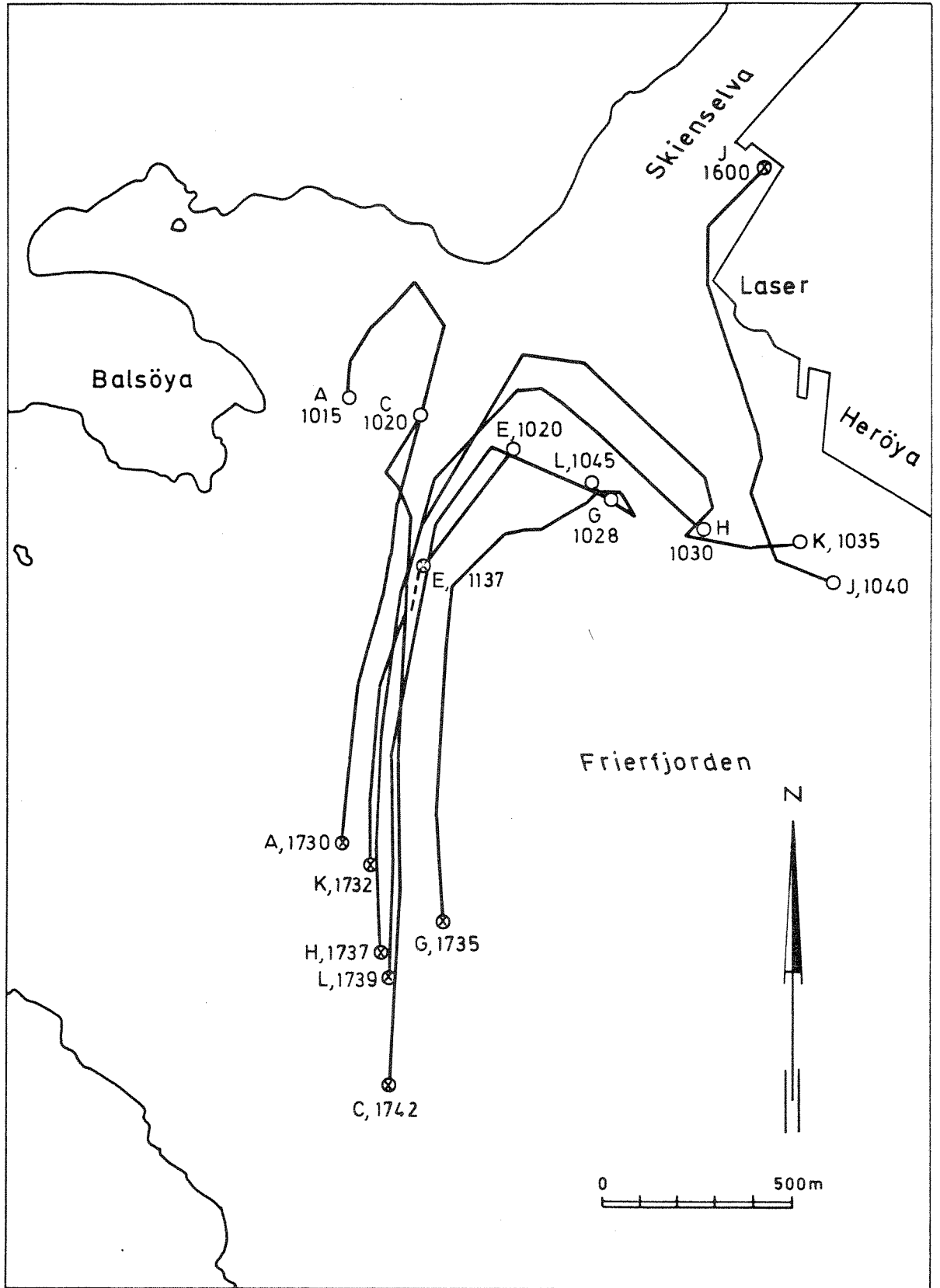


Fig. 7. Strömkors i 1m dyp, 22/8 1974

○ utsetting
 ⊗ opptaking

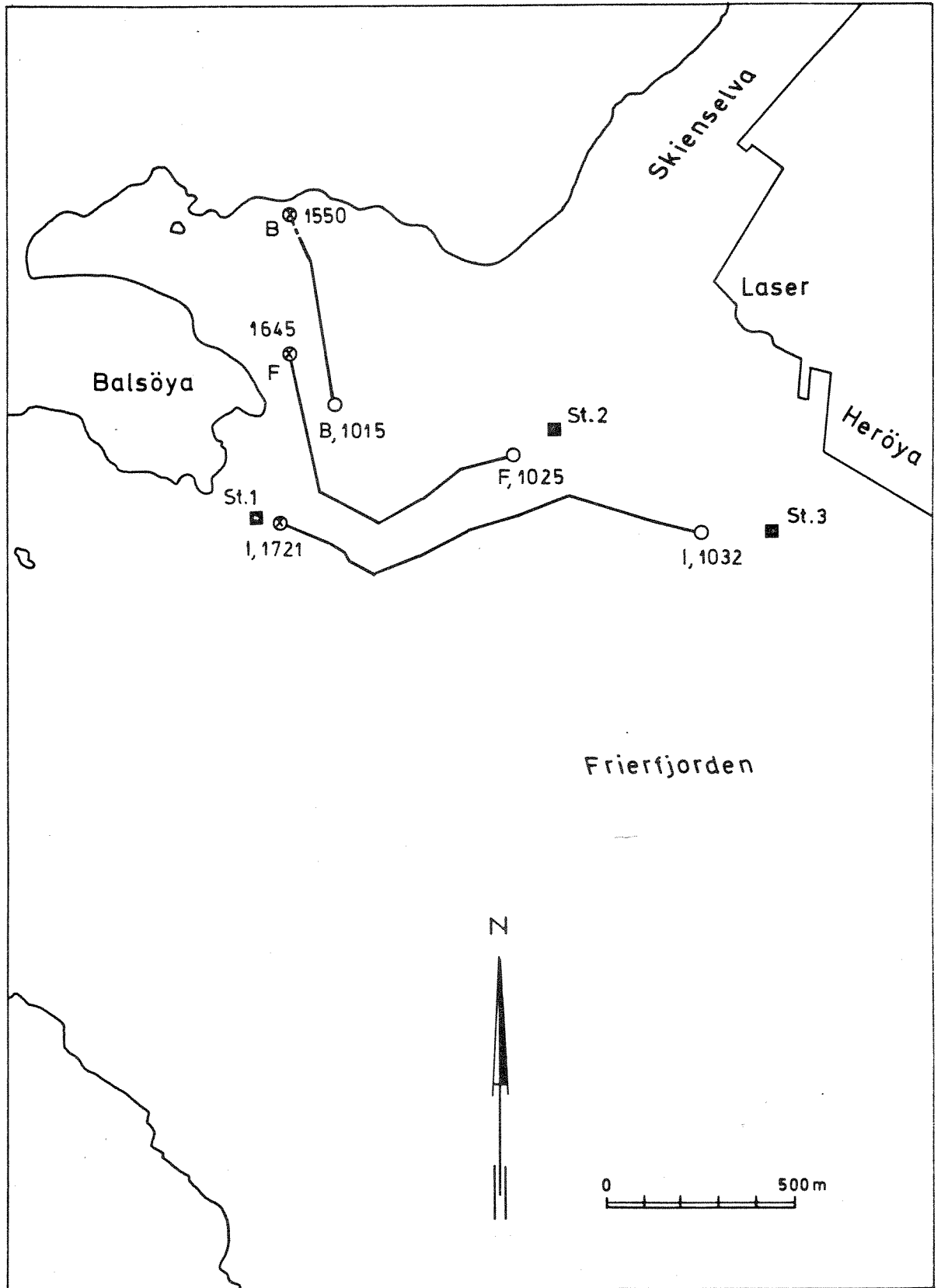
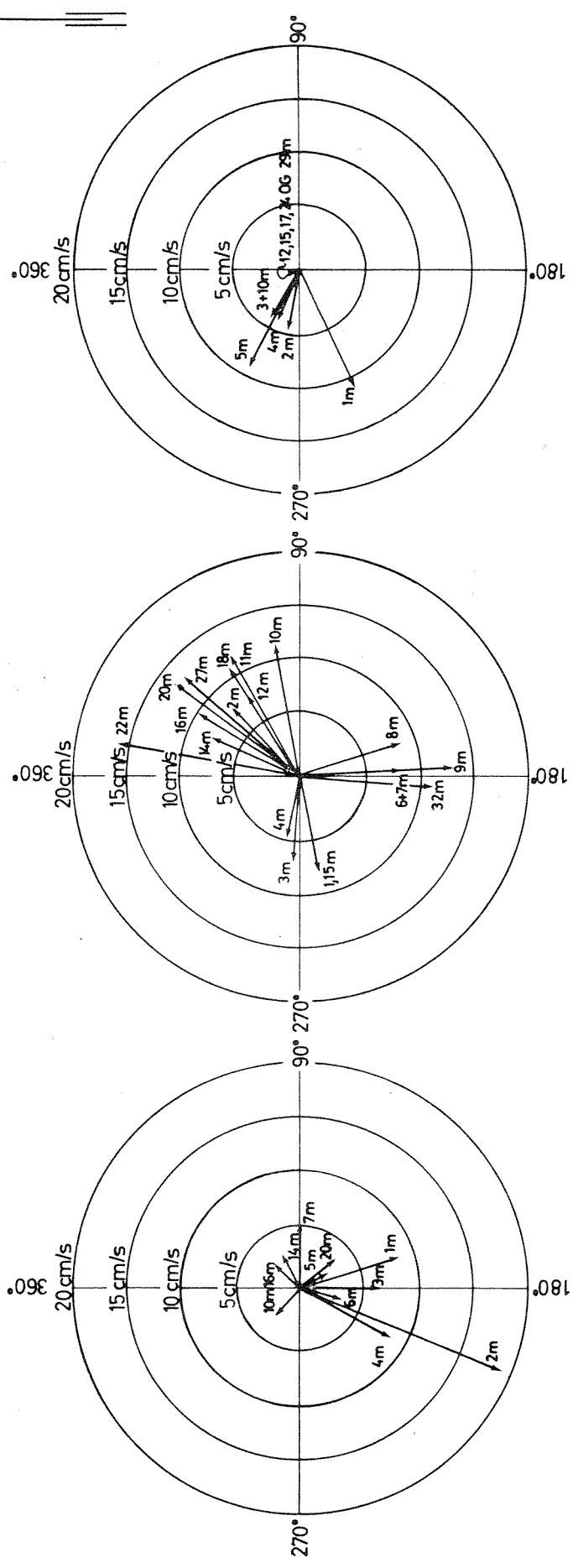


Fig. 8 Strömkors i 8m dyp, 22/8 1974

- utsetting
- ⊗ opptaking
- strømmålerstasjon



ST. S3, 22.8.1974 KL. 12.30.

ST. S2, 22.8.1974 KL. 12.50.

ST. S1, 22.8.1974 KL. 14.30.

Fig. 9. Strømmålinger mellom Balsøya og Herøya 22.8.1974. Strømretning og hastighet i måledypene.

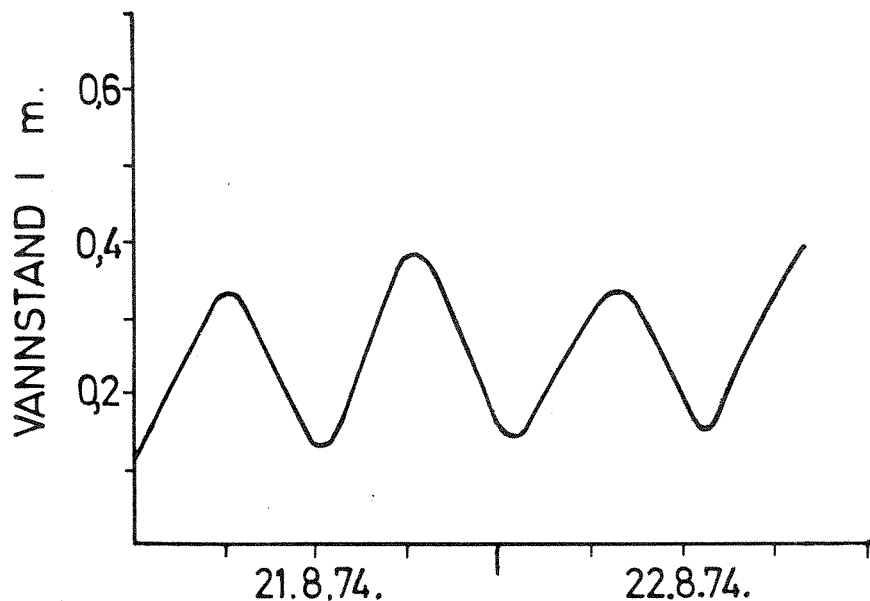


Fig. 10. Höy- og lavvann i Frierfjorden 21.-22.8.1974.
Etter Norges Sjøkartverks tidevannstabell 1974.

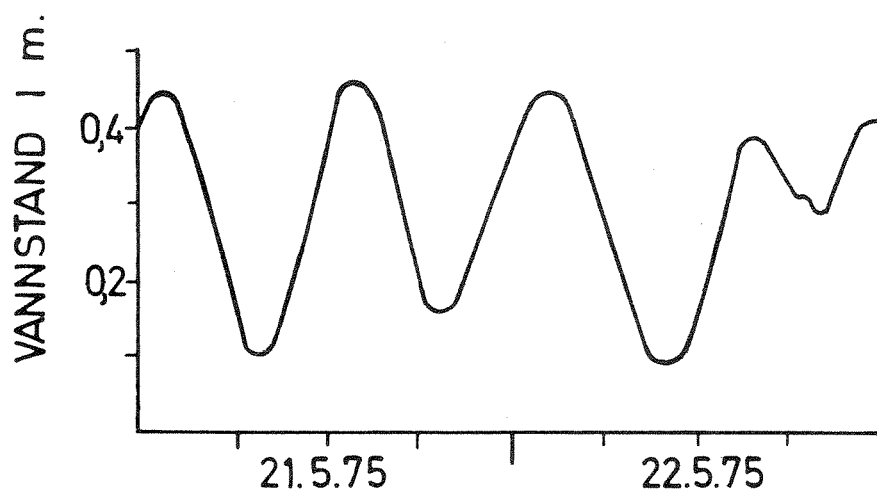


Fig. 11. Målt vannstand ved Heröya 21.-22.5 1975.
Nullnivå skjønnsmessig valgt.

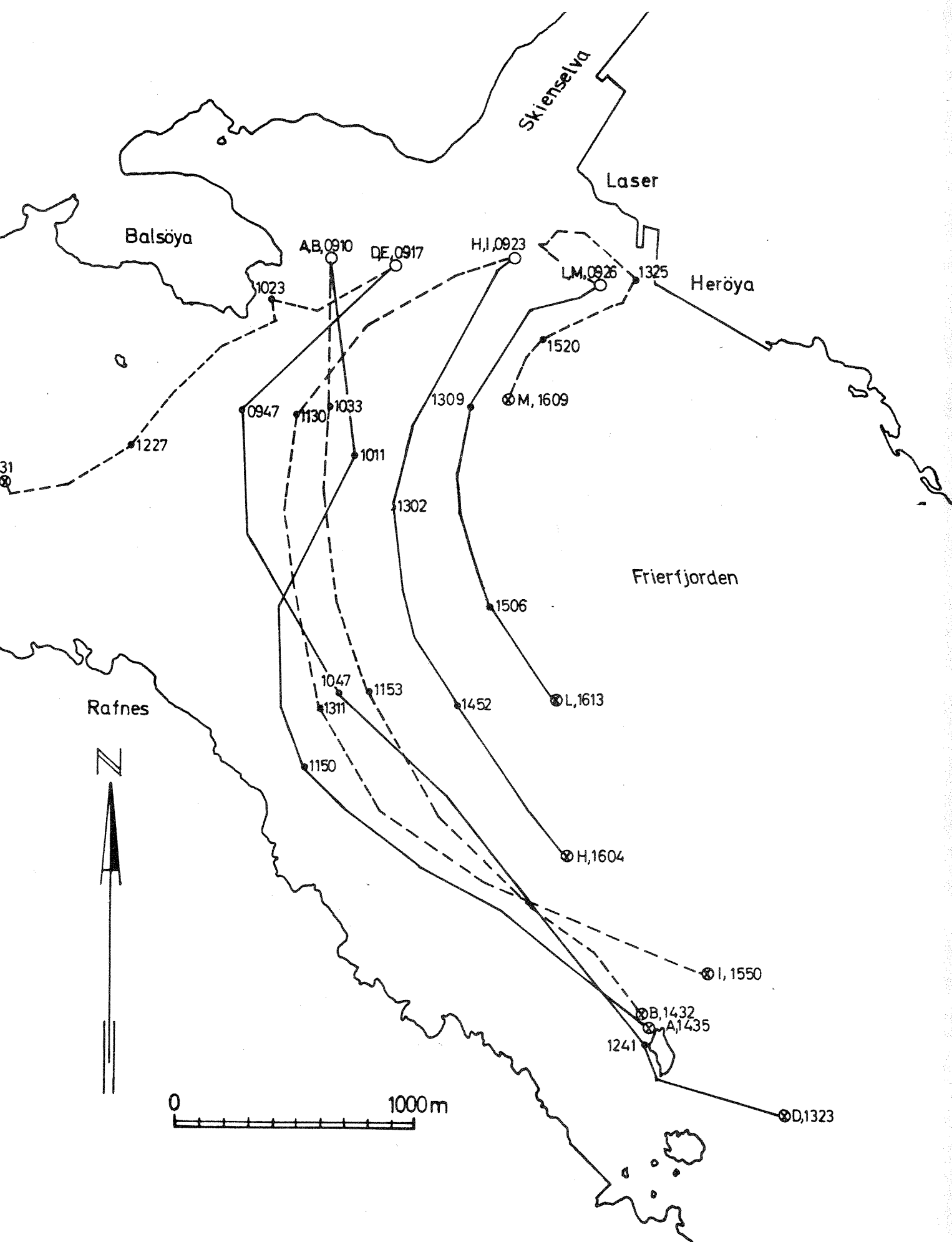


Fig. 12 Strömkorsmålinger i Frierfjorden 22.5.1975

Kors i 2 m ———

Kors i 5 m - - - - -

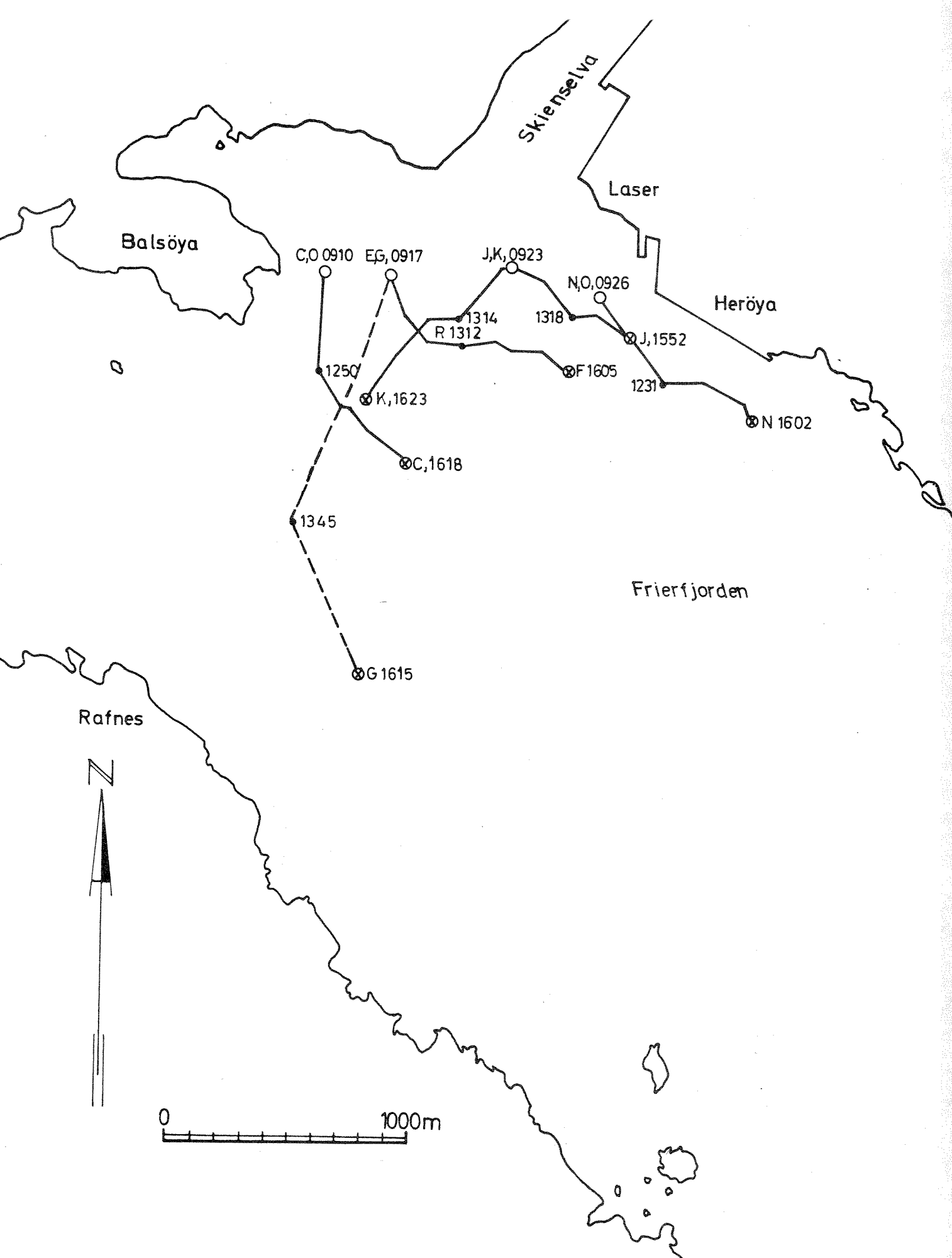


Fig. 13 Strömkorsmålinger i Frierfjorden 22.5.1975
 Kors i 8m ———
 Kors i 14m - - -

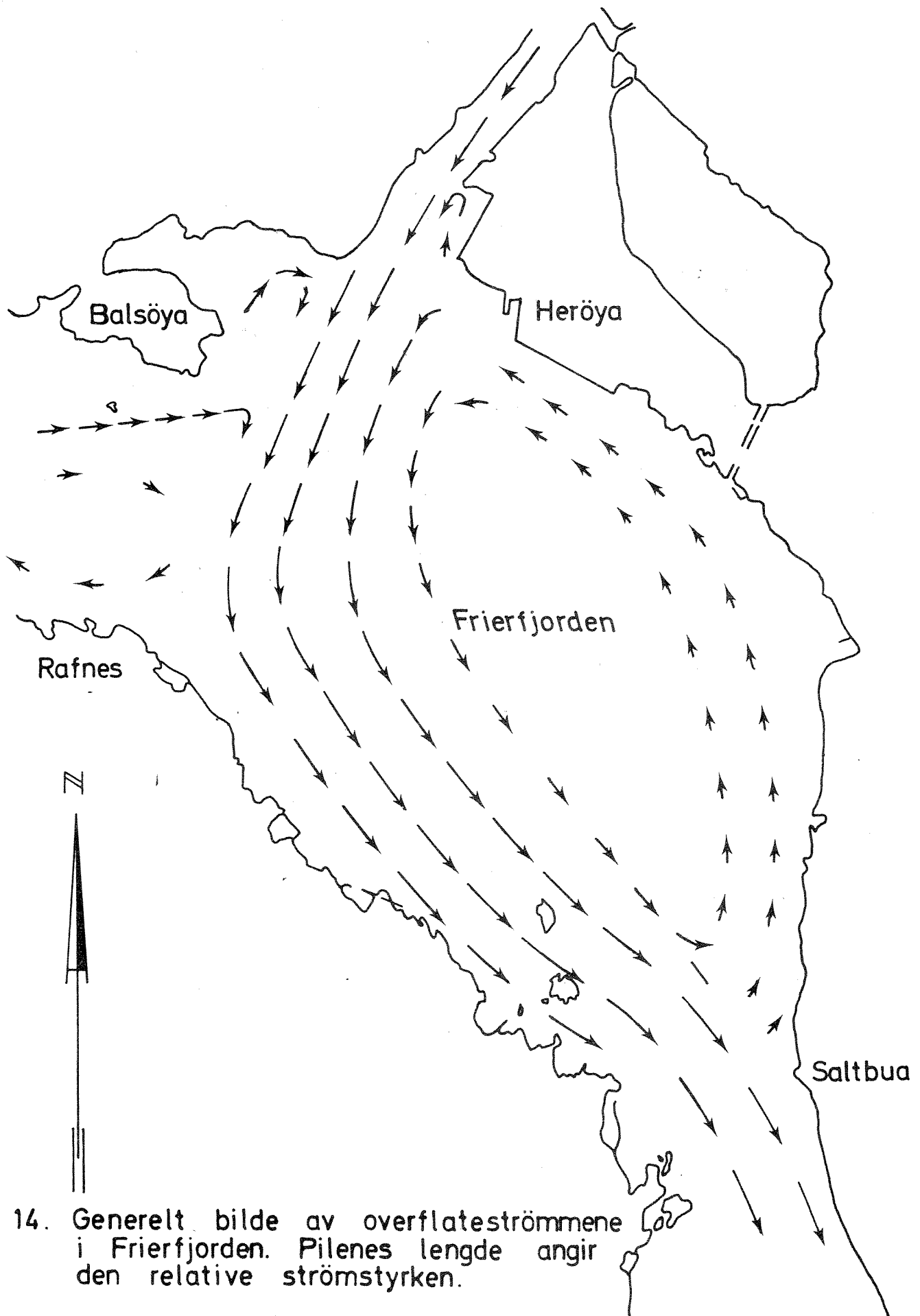


Fig. 14. Generelt bilde av overflatestrømmene i Frierfjorden. Pilenes lengde angir den relative strømstyrken.

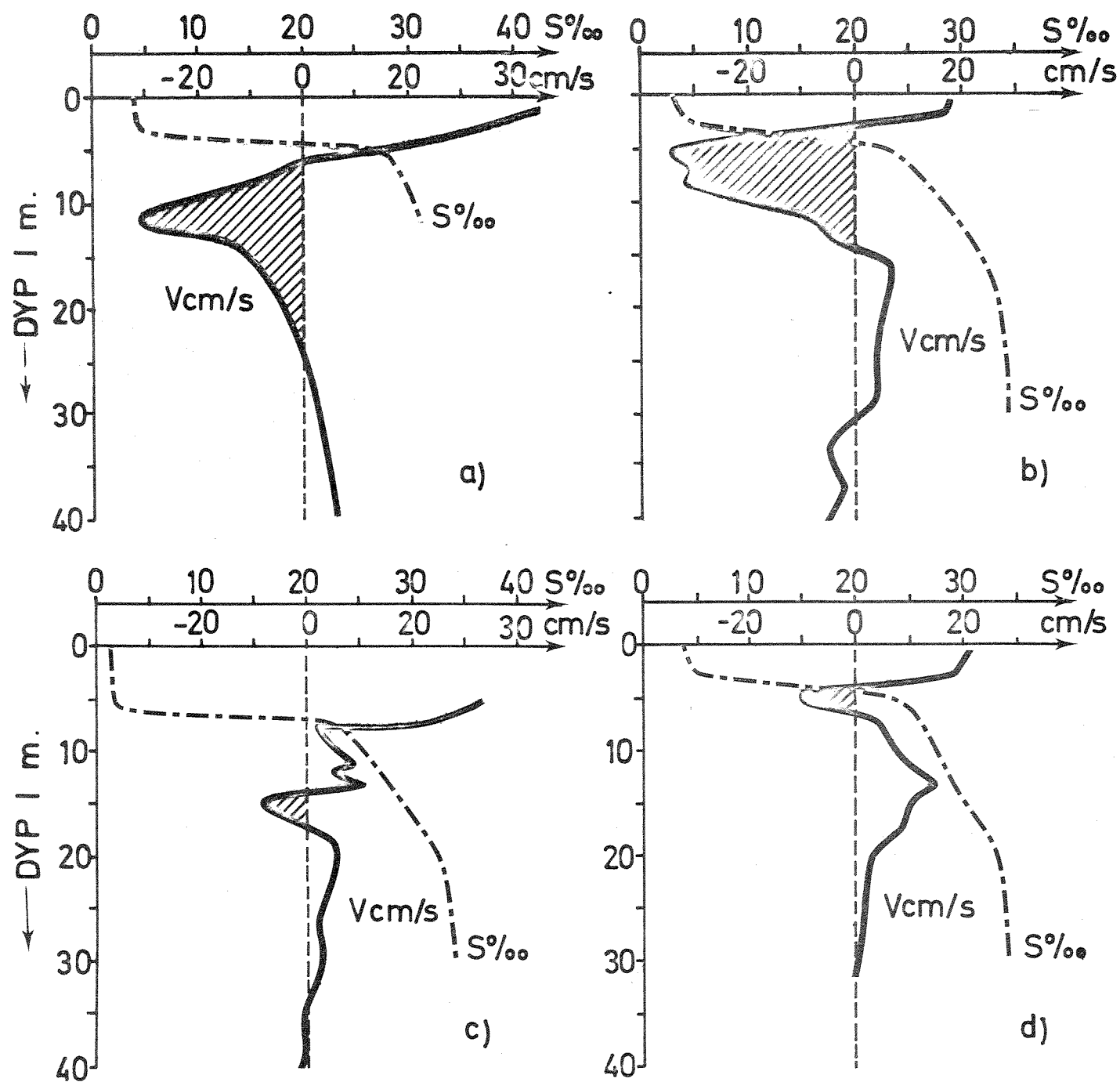


Fig. 16. St. EE-1. Målinger av ström och saltholdighet. Ström dekomponert langs 90° (+) - 270° (-).

a)	11. 12. 1974	ferskvannstilförel	ca. 270 m ³ /s .	Höyvänn	om 4 timer.
b)	23. 4. 1975	"	" 240 " .	"	" 15 " .
c)	14. 5. 1975	"	" 560 " .	Lavvänn	" 22 " .
d)	11. 6. 1975	"	" 210 " .	"	" 2 " .

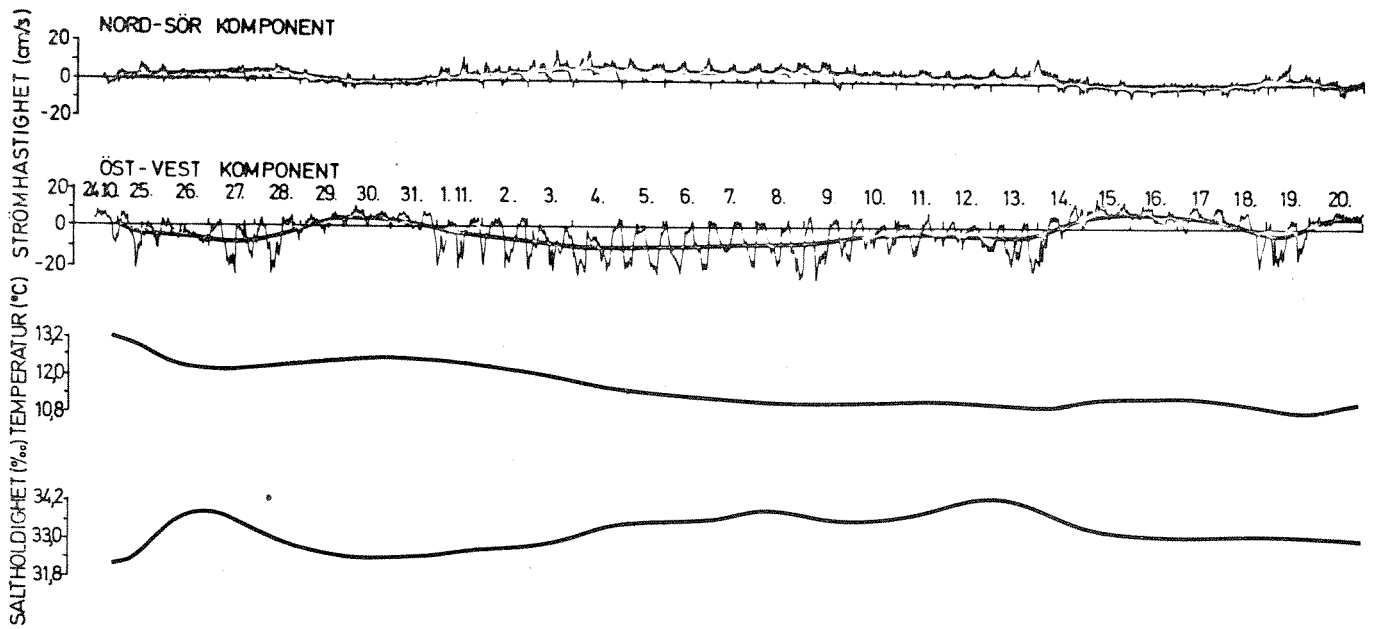


Fig. 17 Målinger av ström, temperatur og saltholdighet i 18 m dyp på Breviksterskelen 24.10 - 20.11.1975.

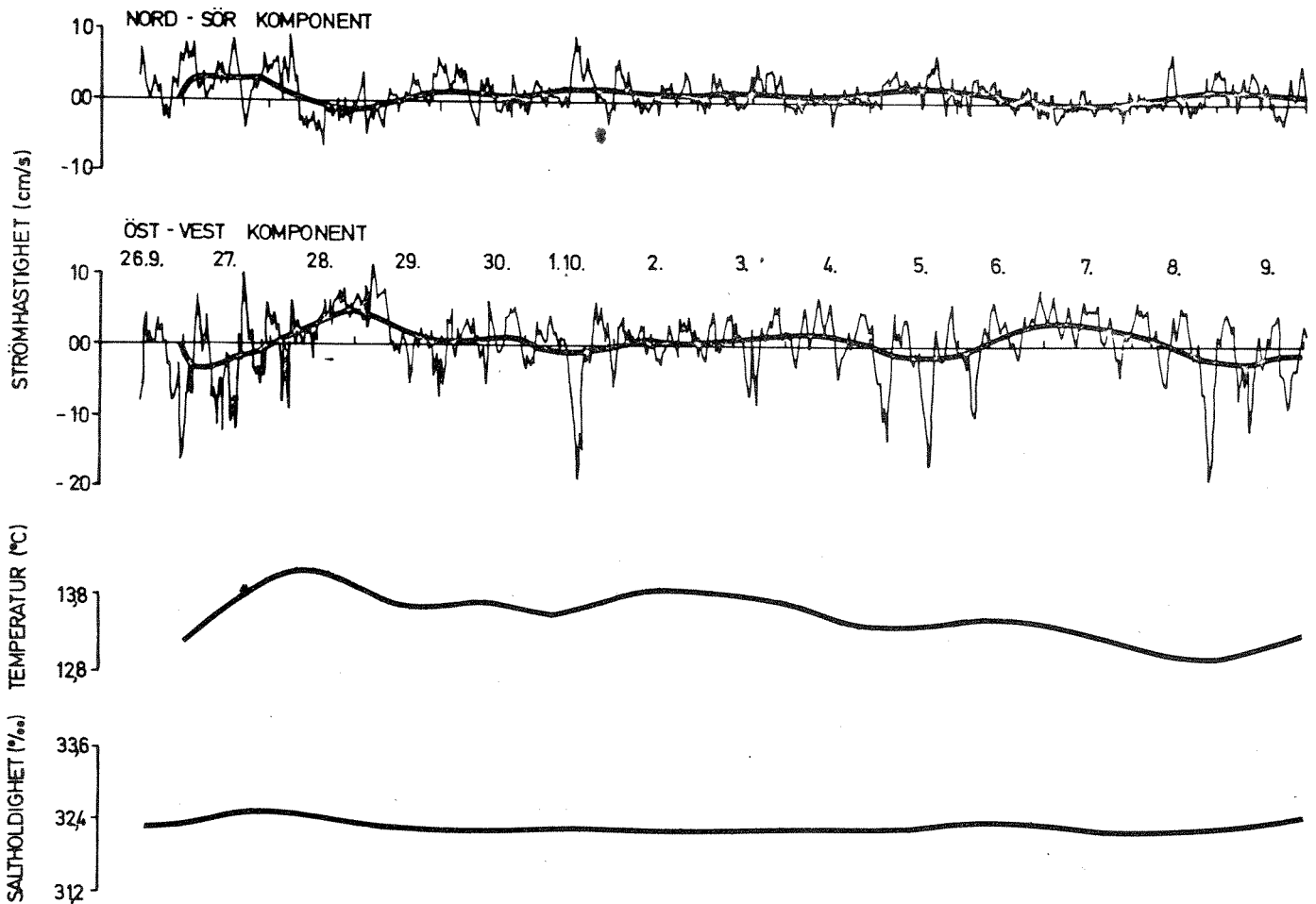


Fig. 18. Målinger av ström, temperatur og saltholdighet i 18 m dyp på Brevikterskelen 26.9. - 9.10.1974.

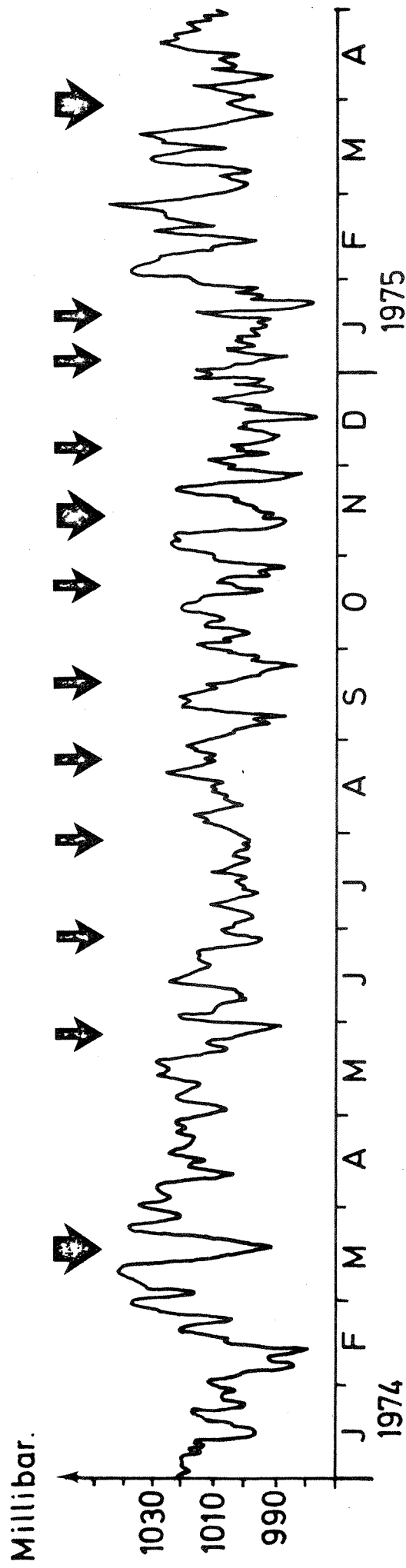


Fig. 19. Dögnmidler av lufttrykk ved Ferder januar 1974 - april 1975. Piler angir tidspunkt for innströmninger over Breviksterskelen.

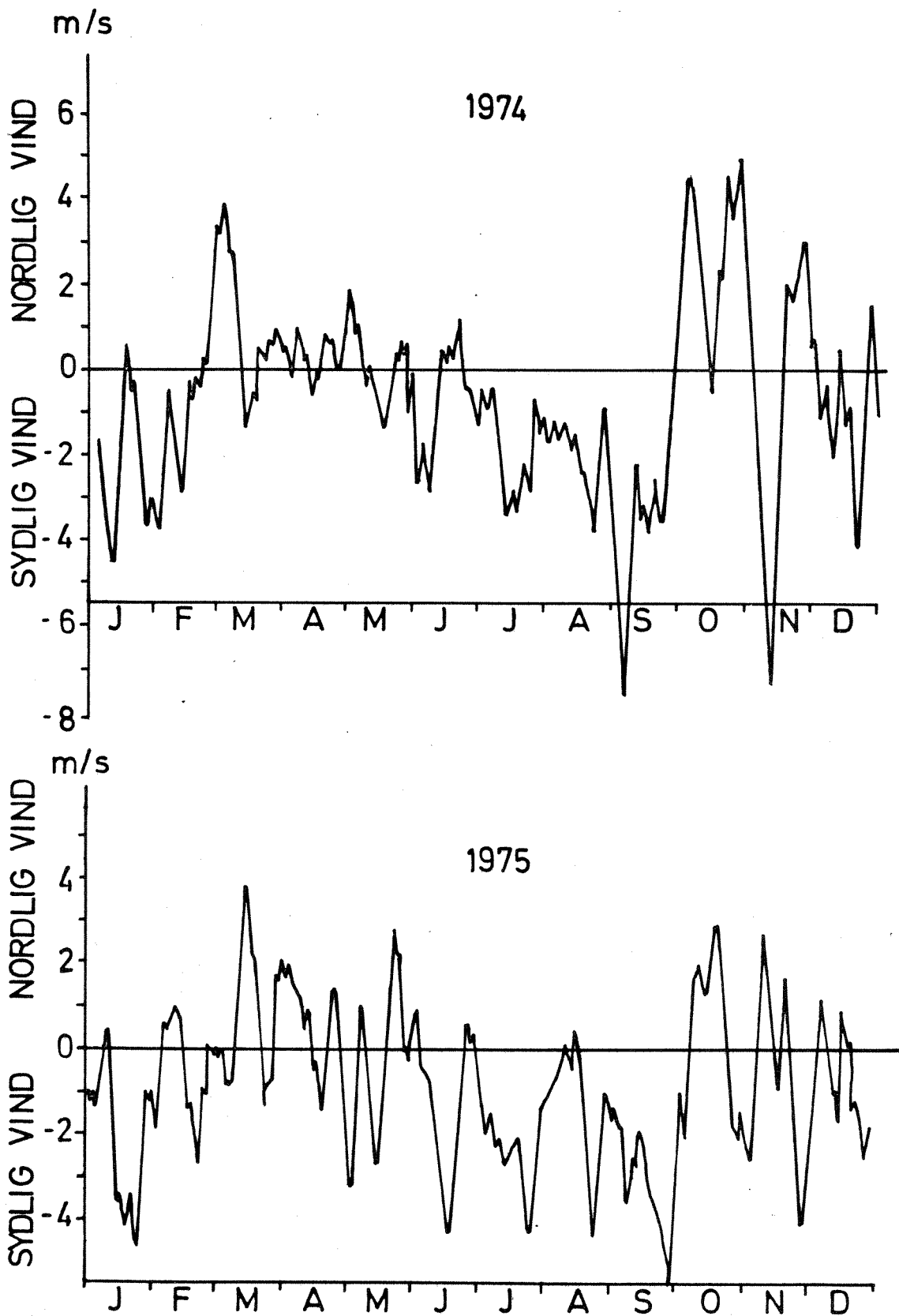


Fig. 20. Langöytangen fyr. Syv dögns glidande middel av vindens nord-sör komponent.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

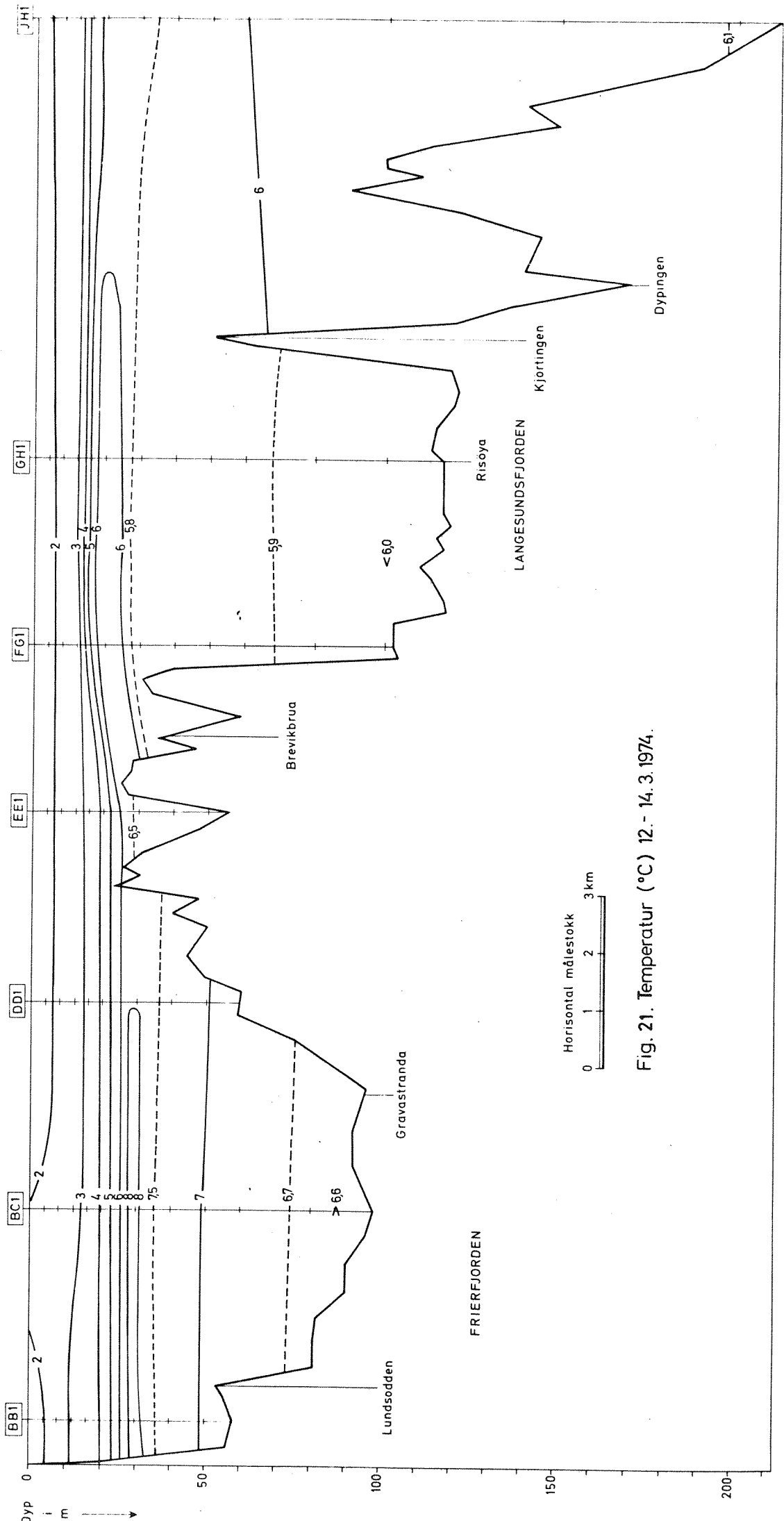


Fig. 21. Temperatur (°C) 12.- 14. 3. 1974.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

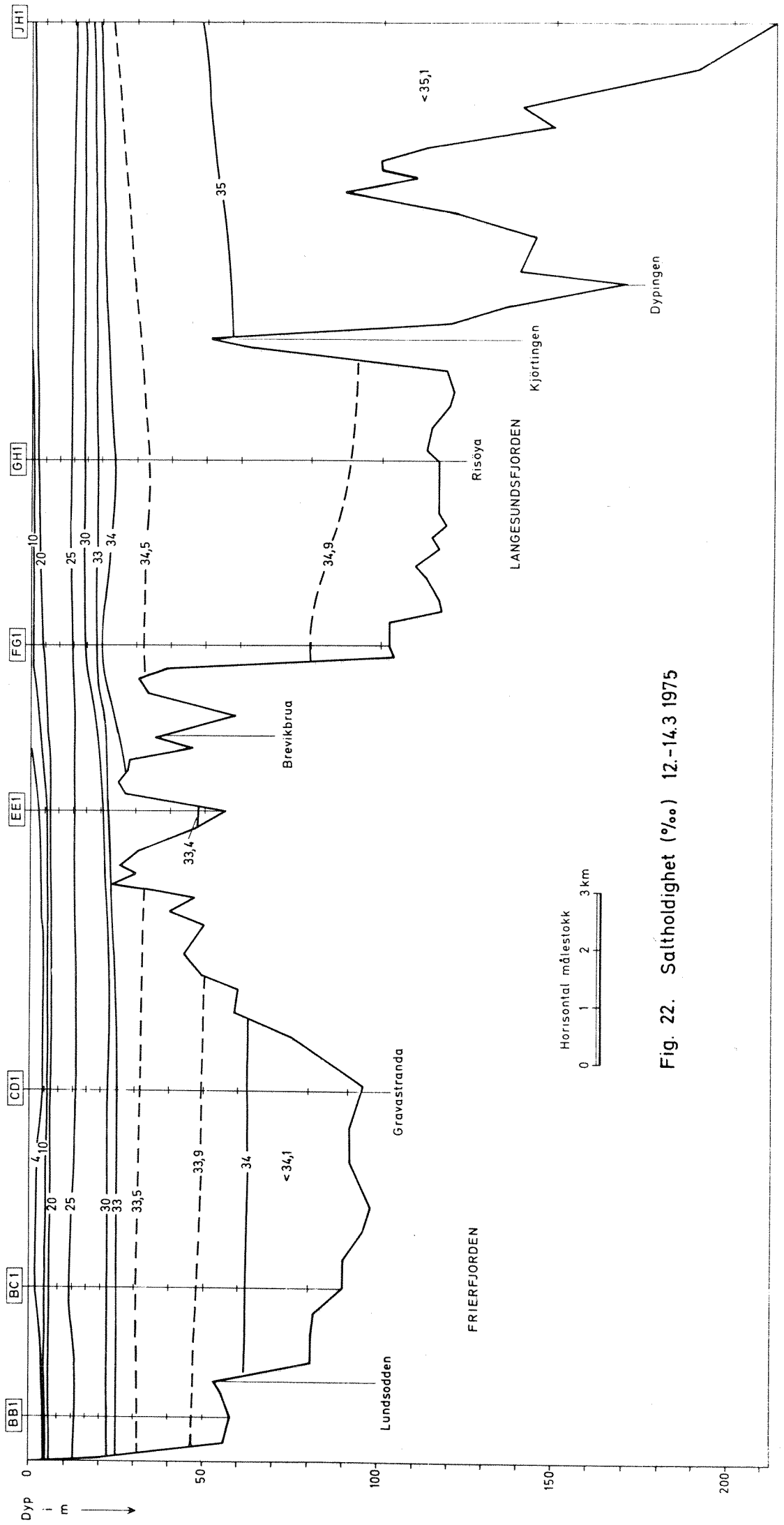


Fig. 22. Saltholdighet (‰) 12.-14.3 1975

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

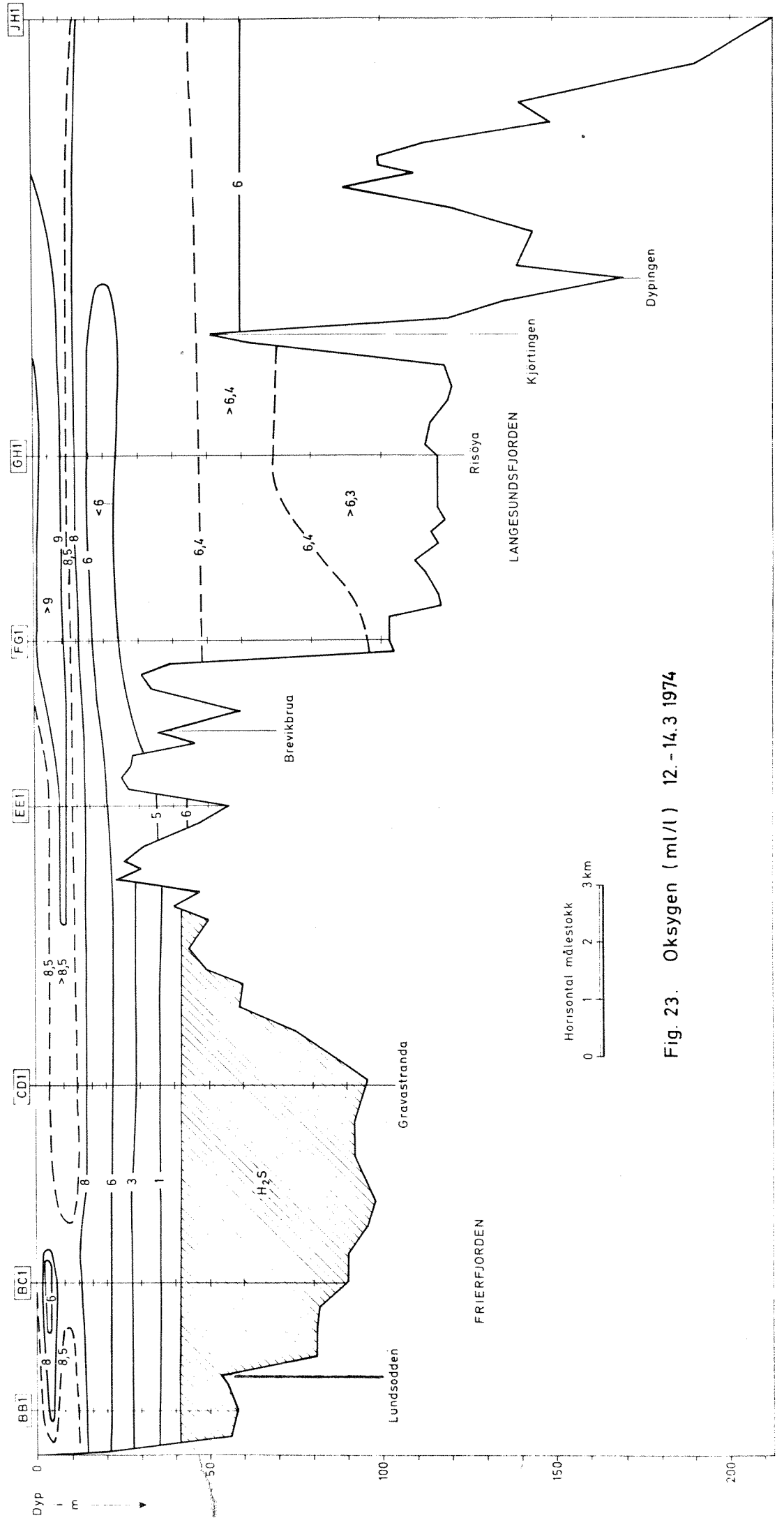


Fig. 23. Oksygen (ml/l) 12. - 14.3 1974

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

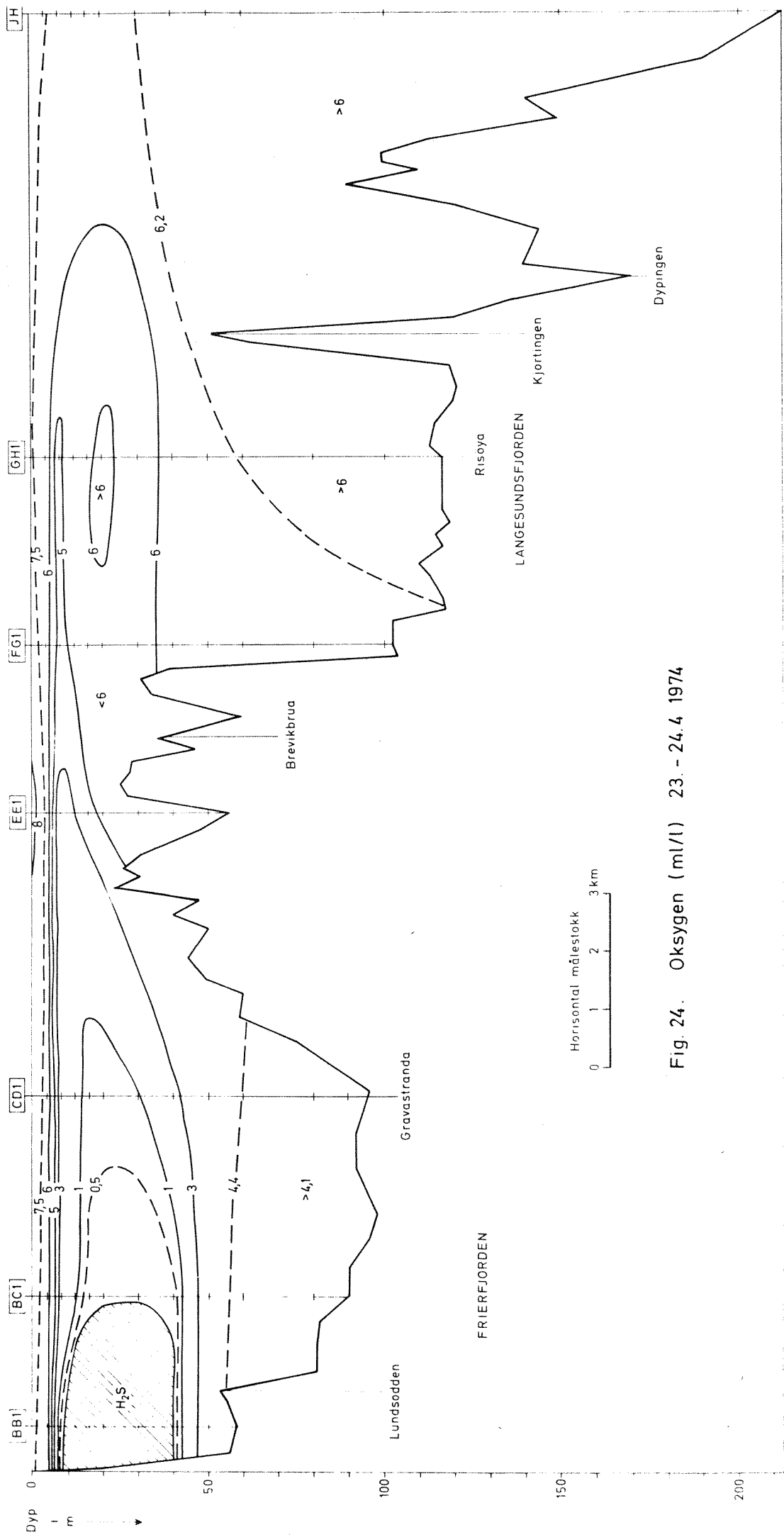


Fig. 24. Oksygen (ml/l) 23. - 24. 4 1974

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

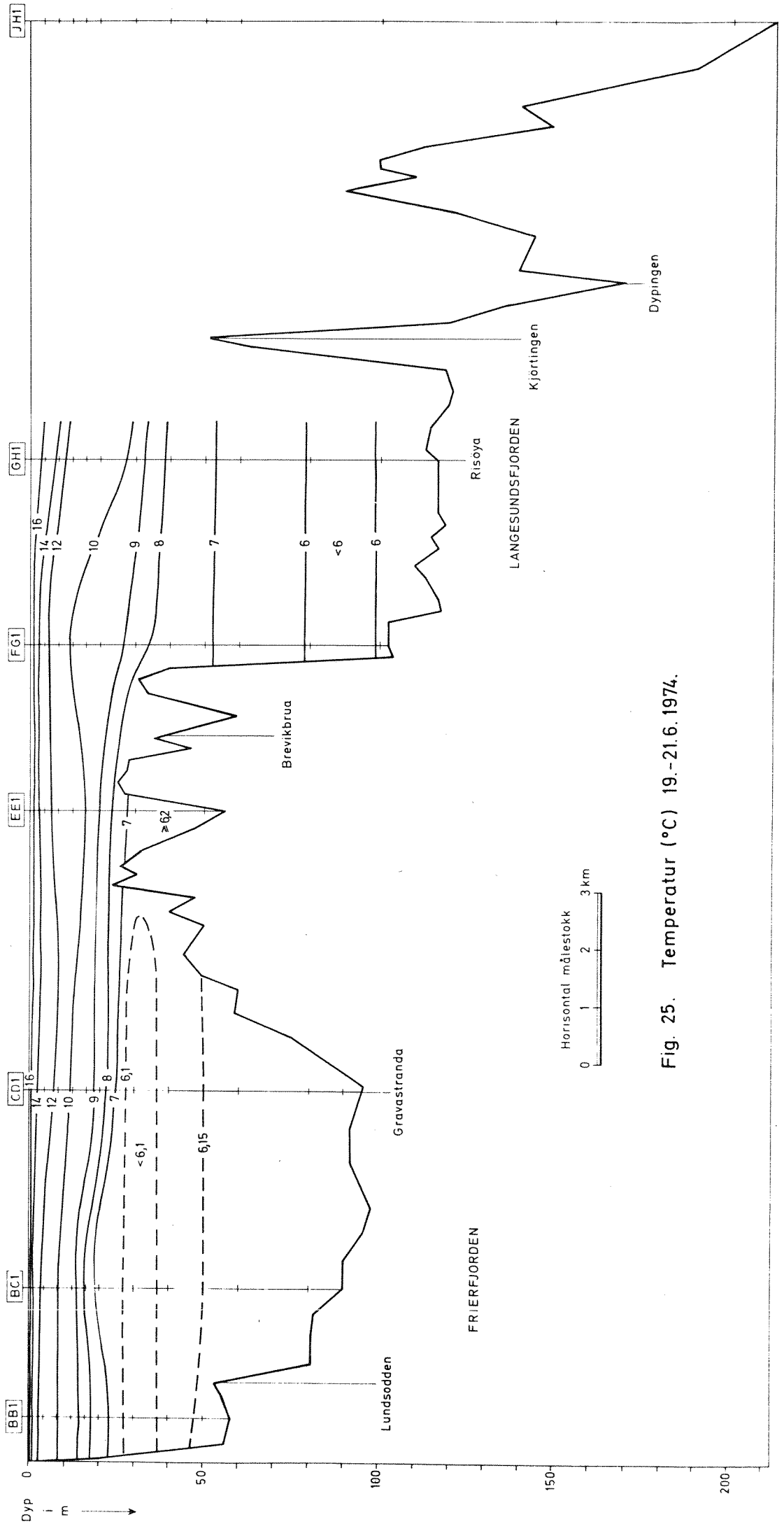


Fig. 25. Temperatur (°C) 19.-21.6. 1974.

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

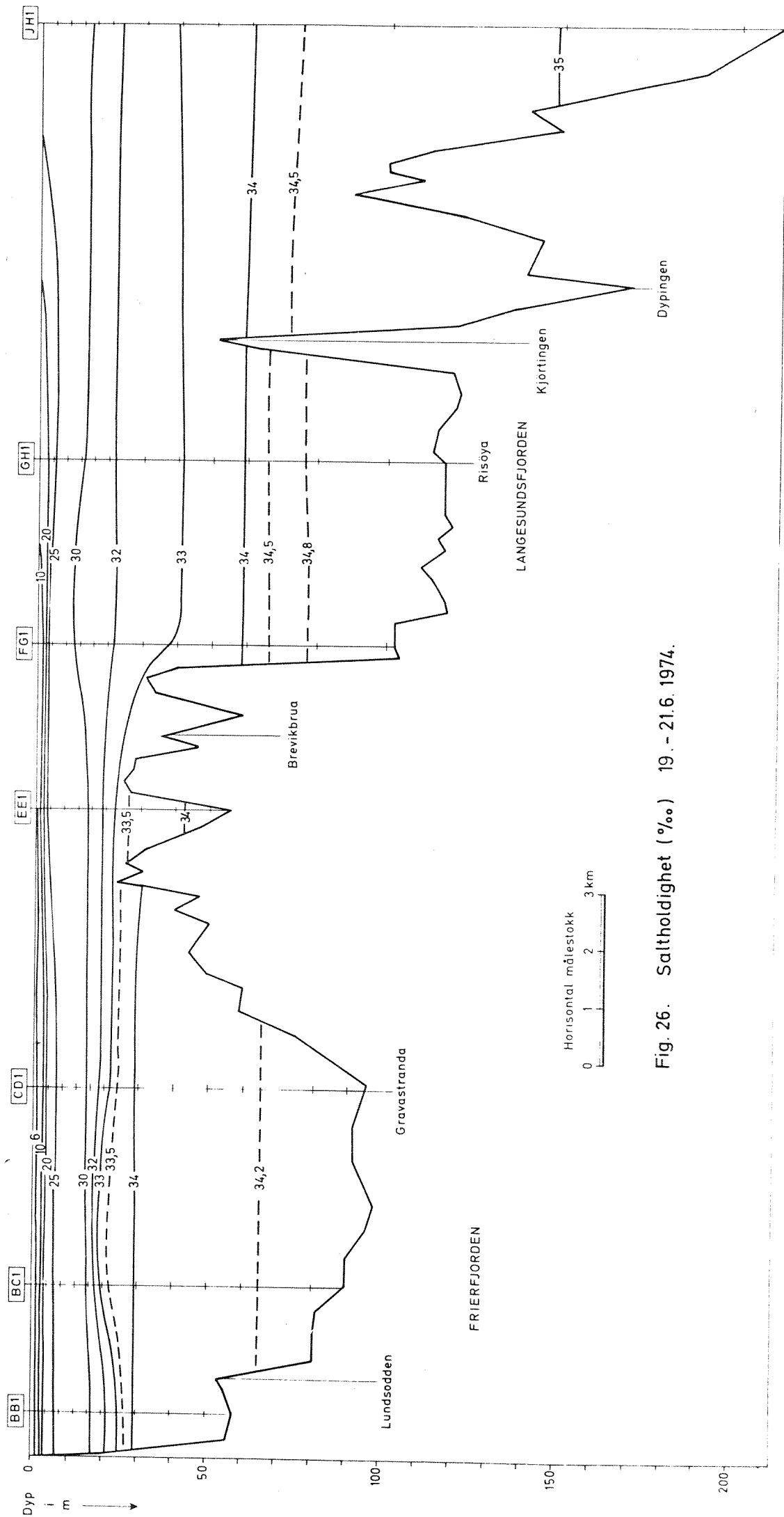


Fig. 26. Saltholdighet (‰) 19. - 21.6. 1974.

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

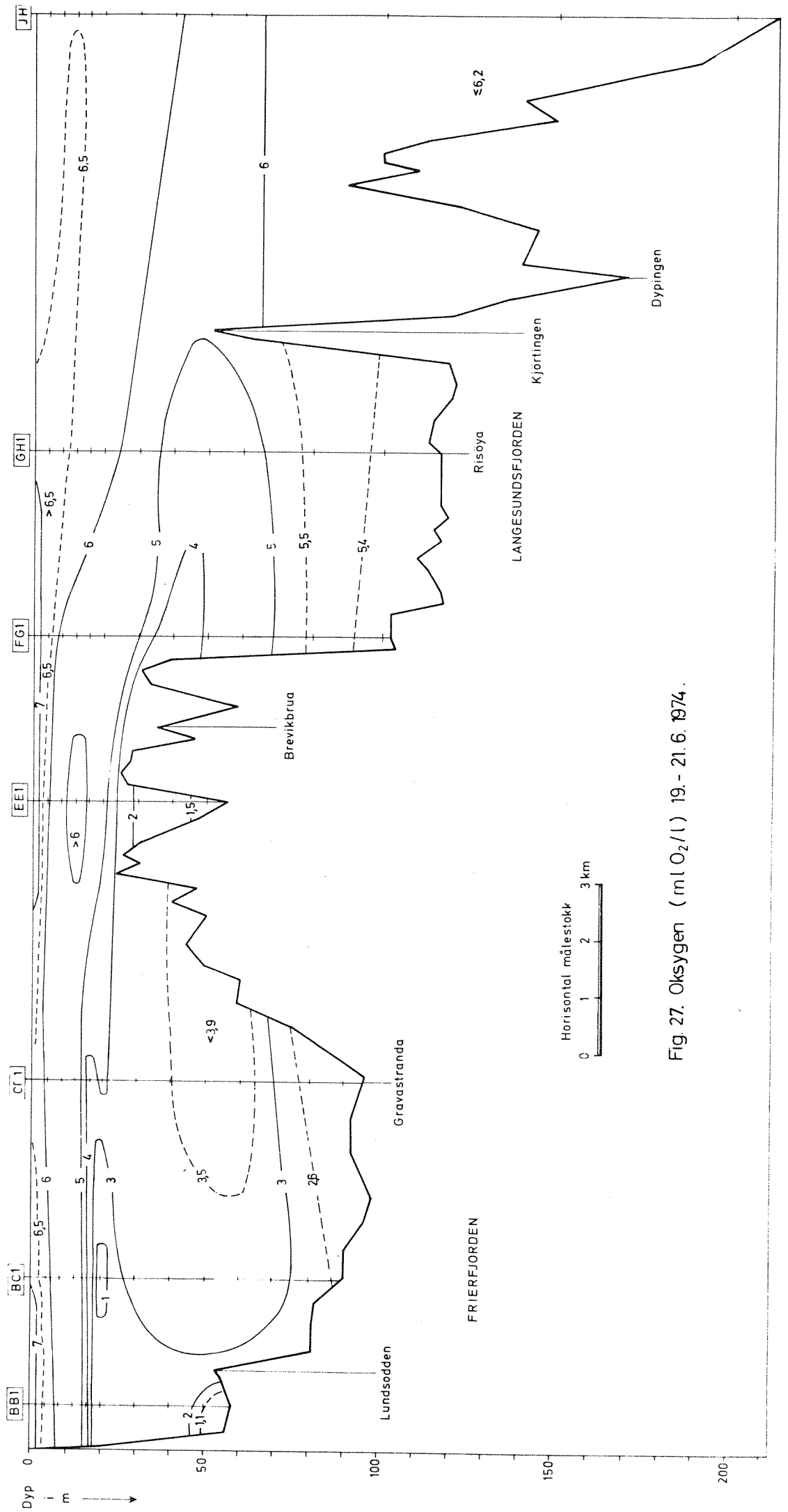


Fig. 27. Oksygen (ml O₂/l) 19.- 21.6. 1974.

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

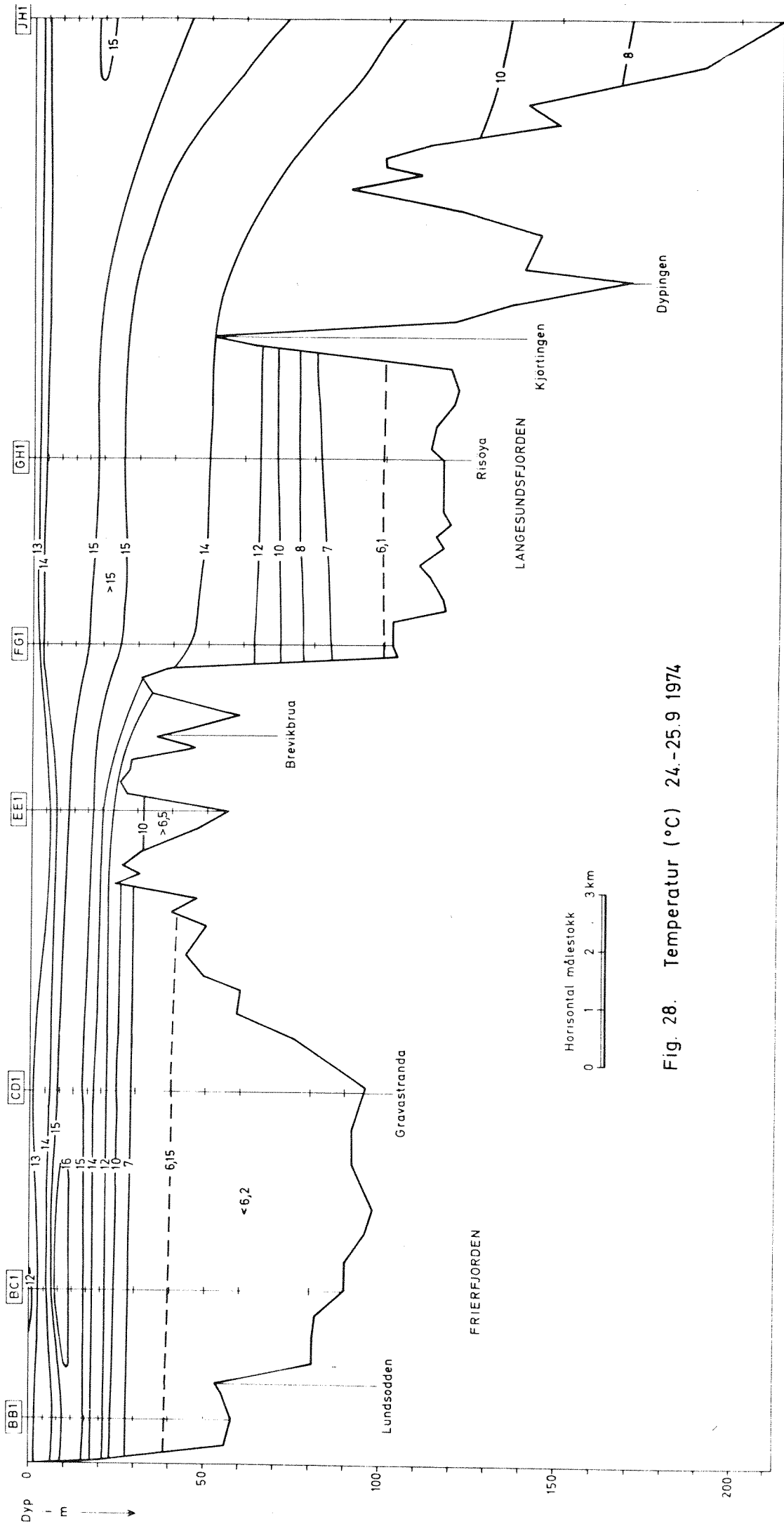


Fig. 28. Temperatur (°C) 24.-25.9 1974

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

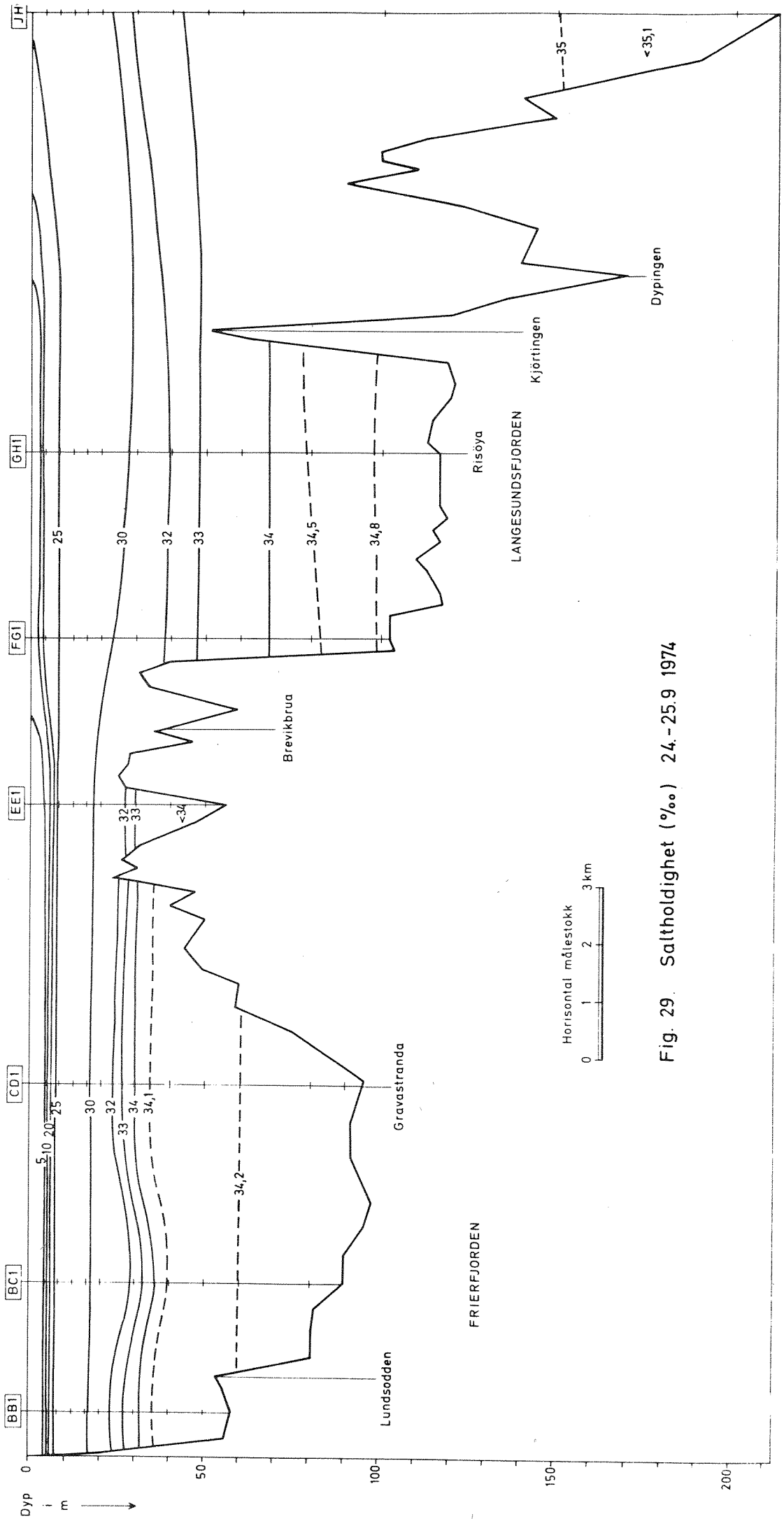


Fig. 29. Saltholdighet (‰) 24.-25.9 1974

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

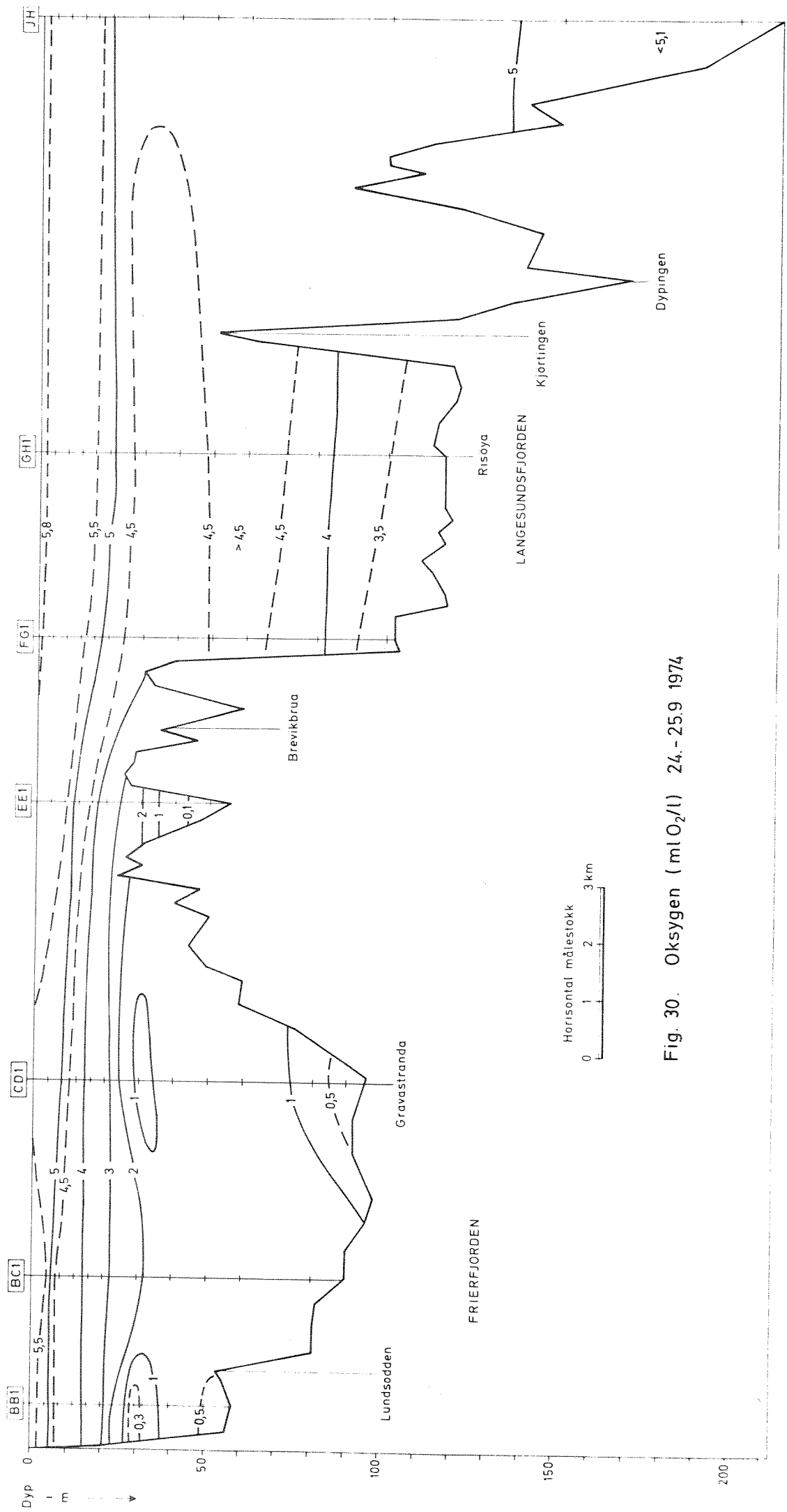


Fig. 30. Oksygen (mO₂/l) 24.-25.9 1974

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

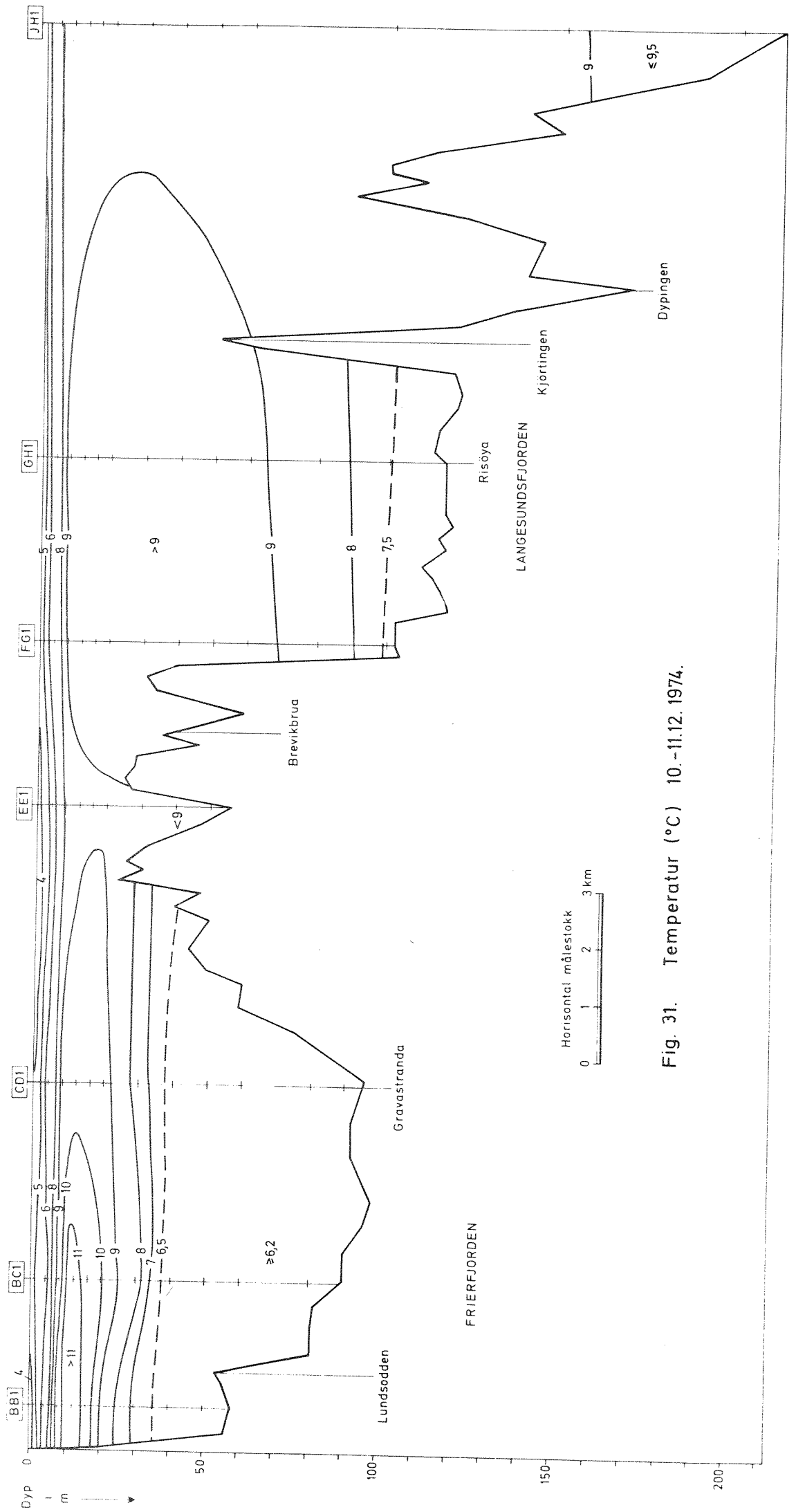


Fig. 31. Temperatur (°C) 10.-11.12. 1974.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

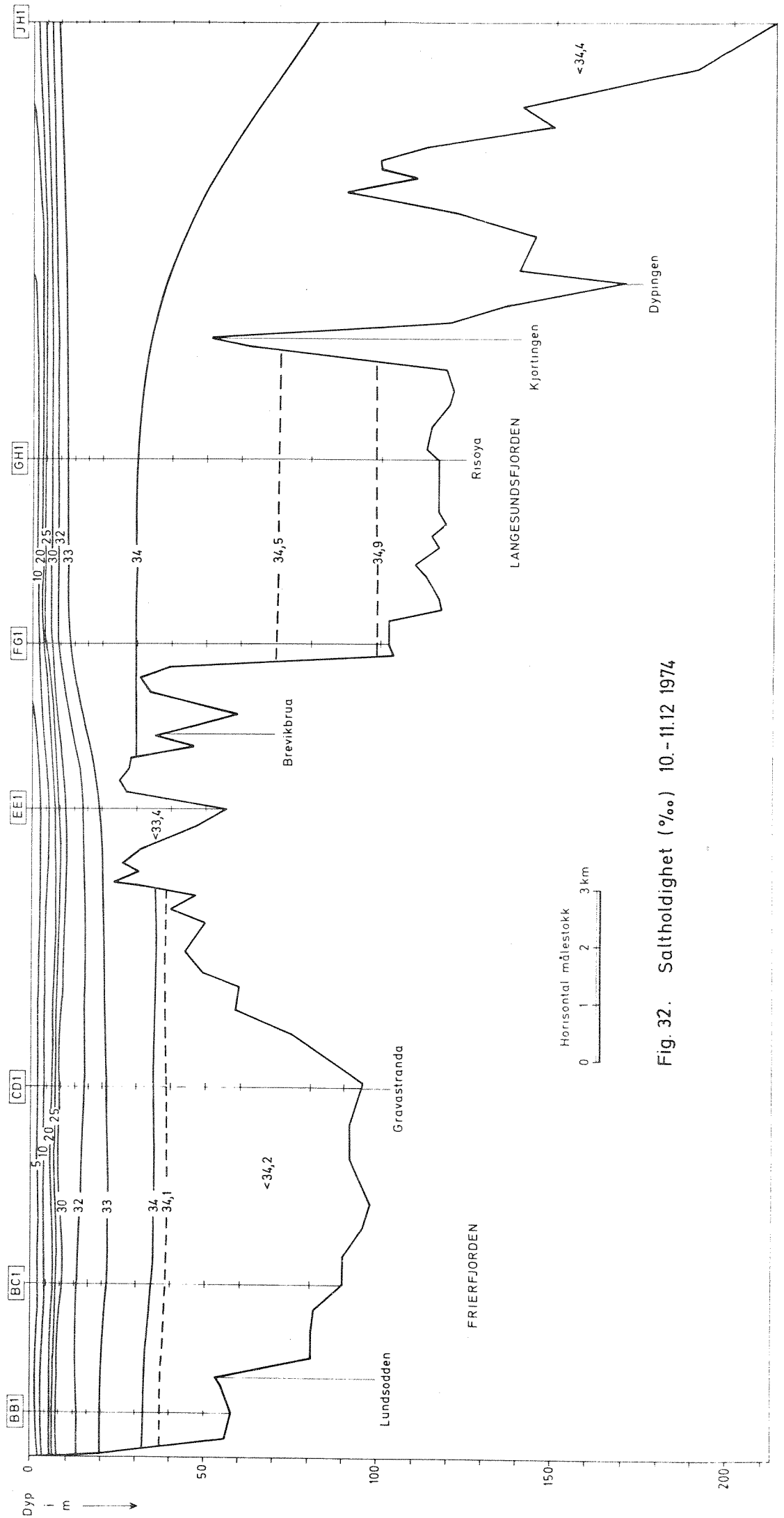


Fig. 32. Salttholdighet (‰) 10.-11.12 1974

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

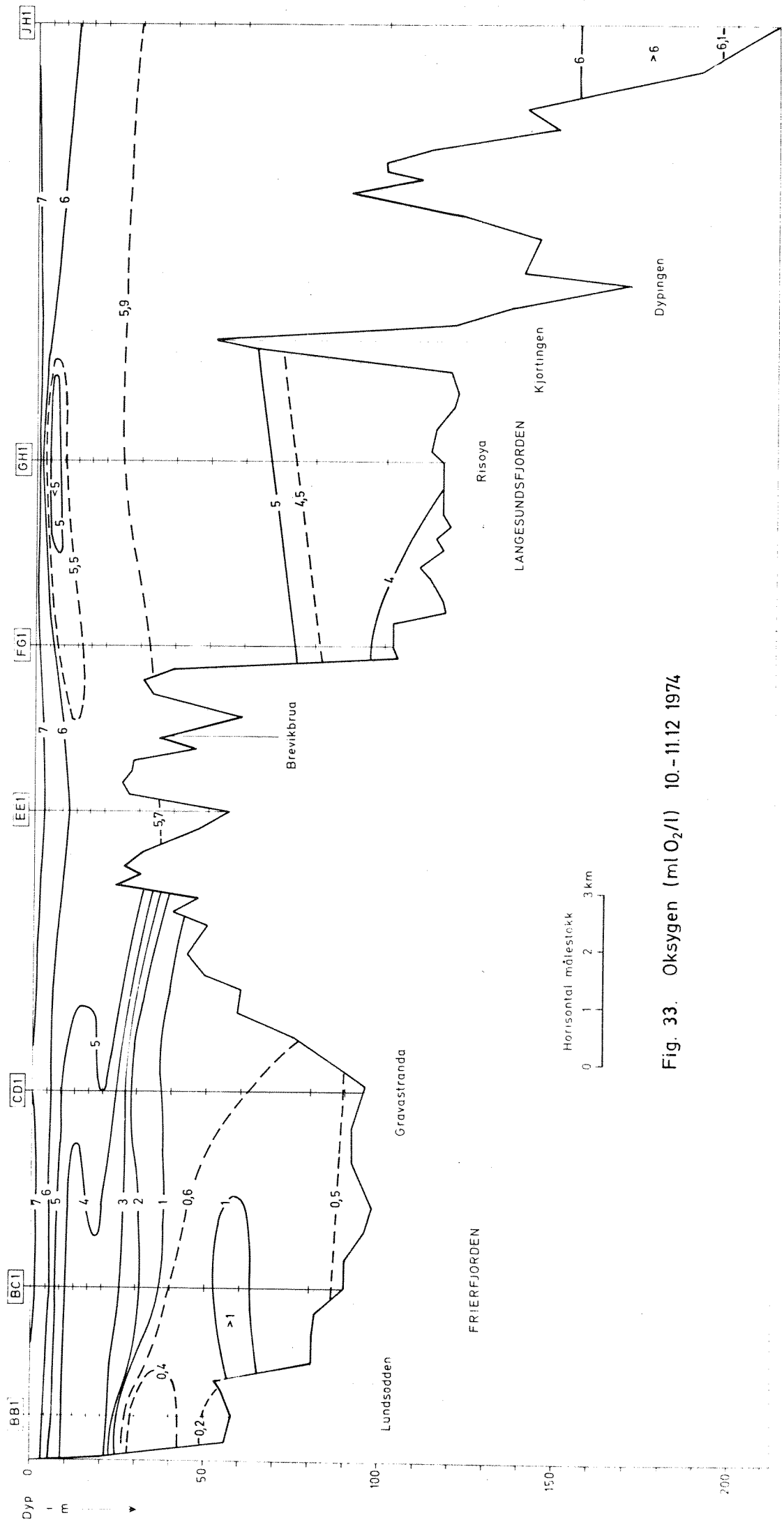


Fig. 33. Oksygen (ml O₂/l) 10. - 11.12 1974

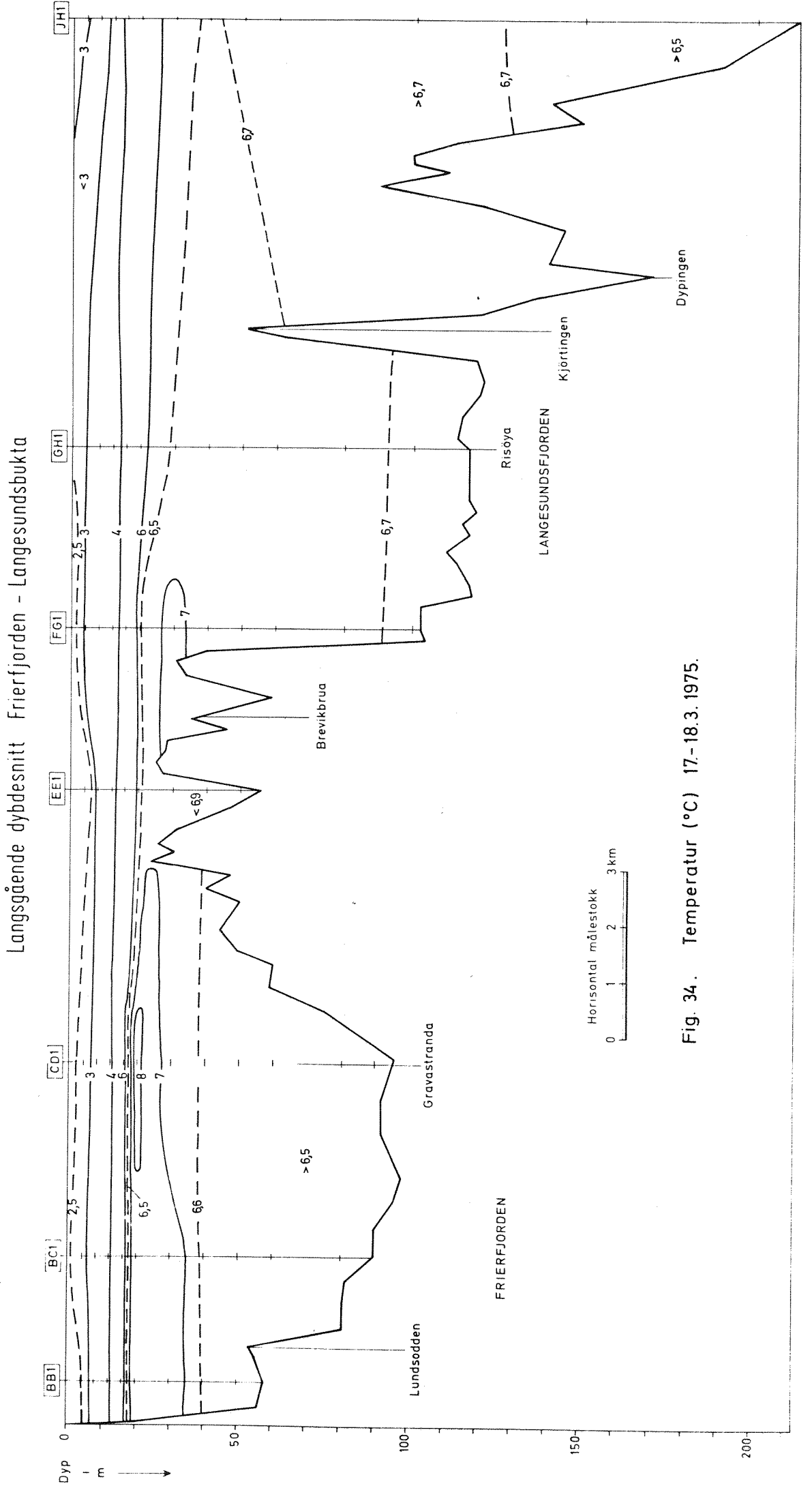


Fig. 34. Temperatur (°C) 17.-18.3. 1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

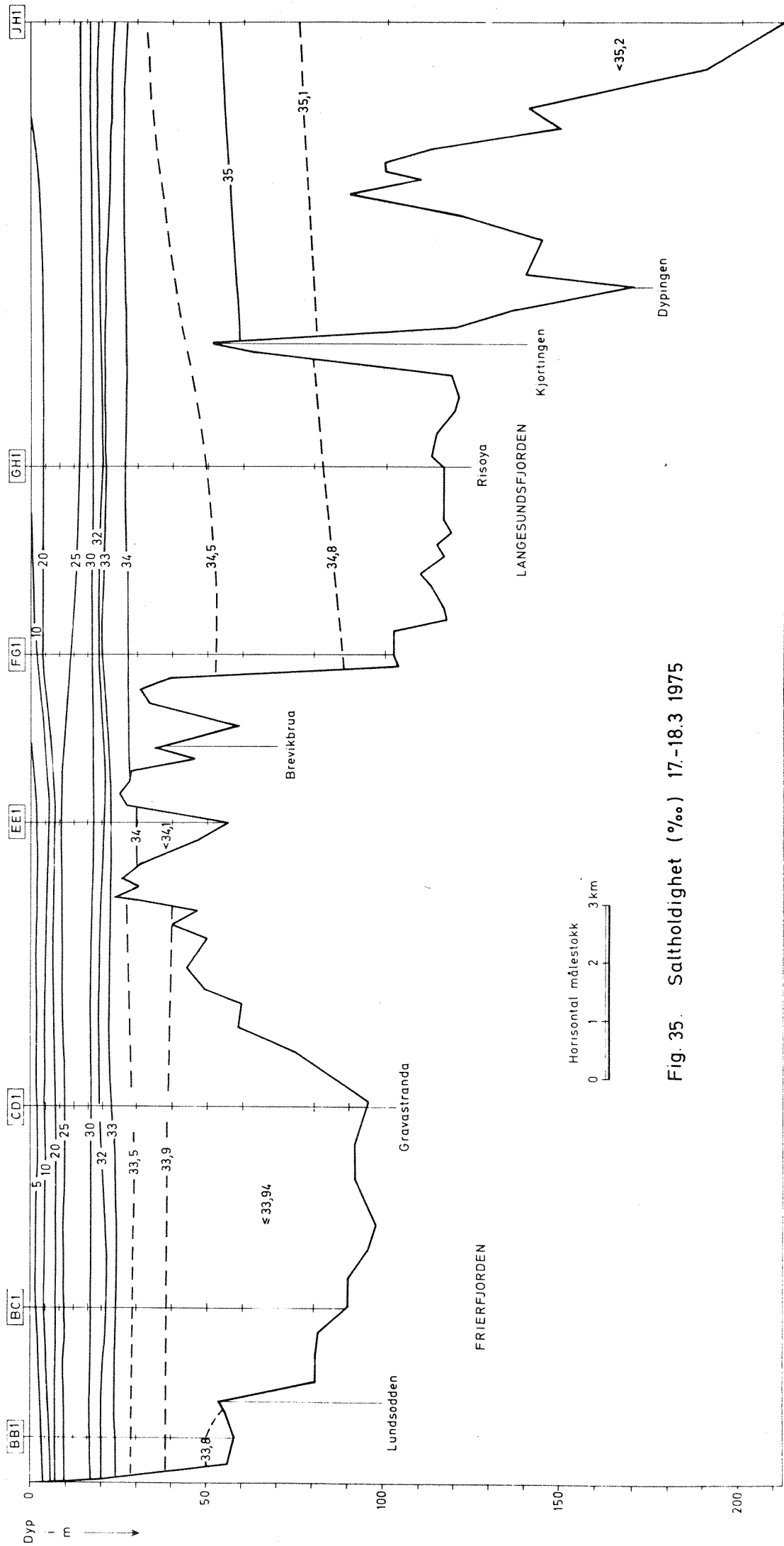


Fig. 35. Saltholdighet (‰) 17.-18.3 1975

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

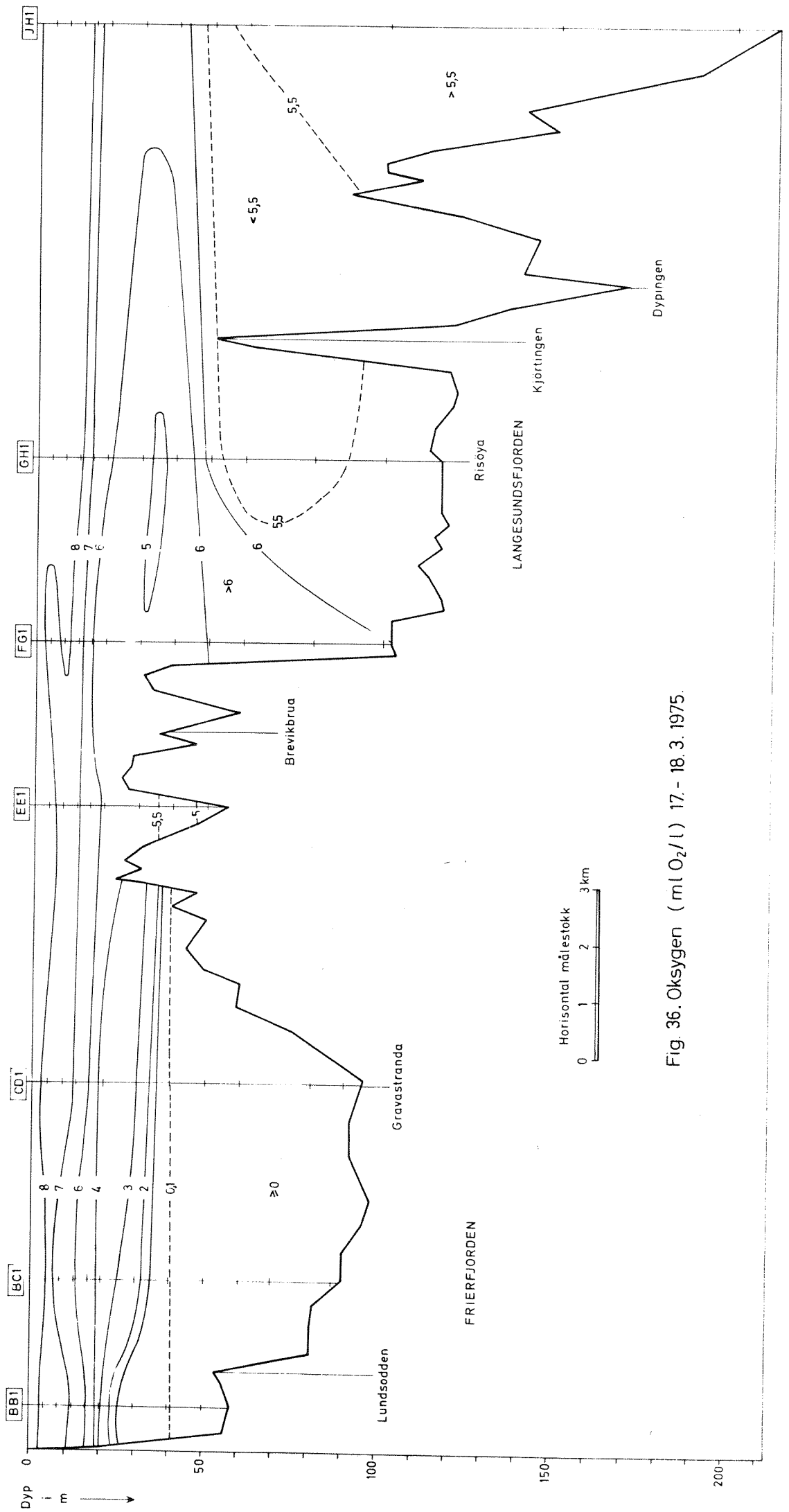


Fig. 36. Oksygen (ml O₂/l) 17. - 18. 3. 1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

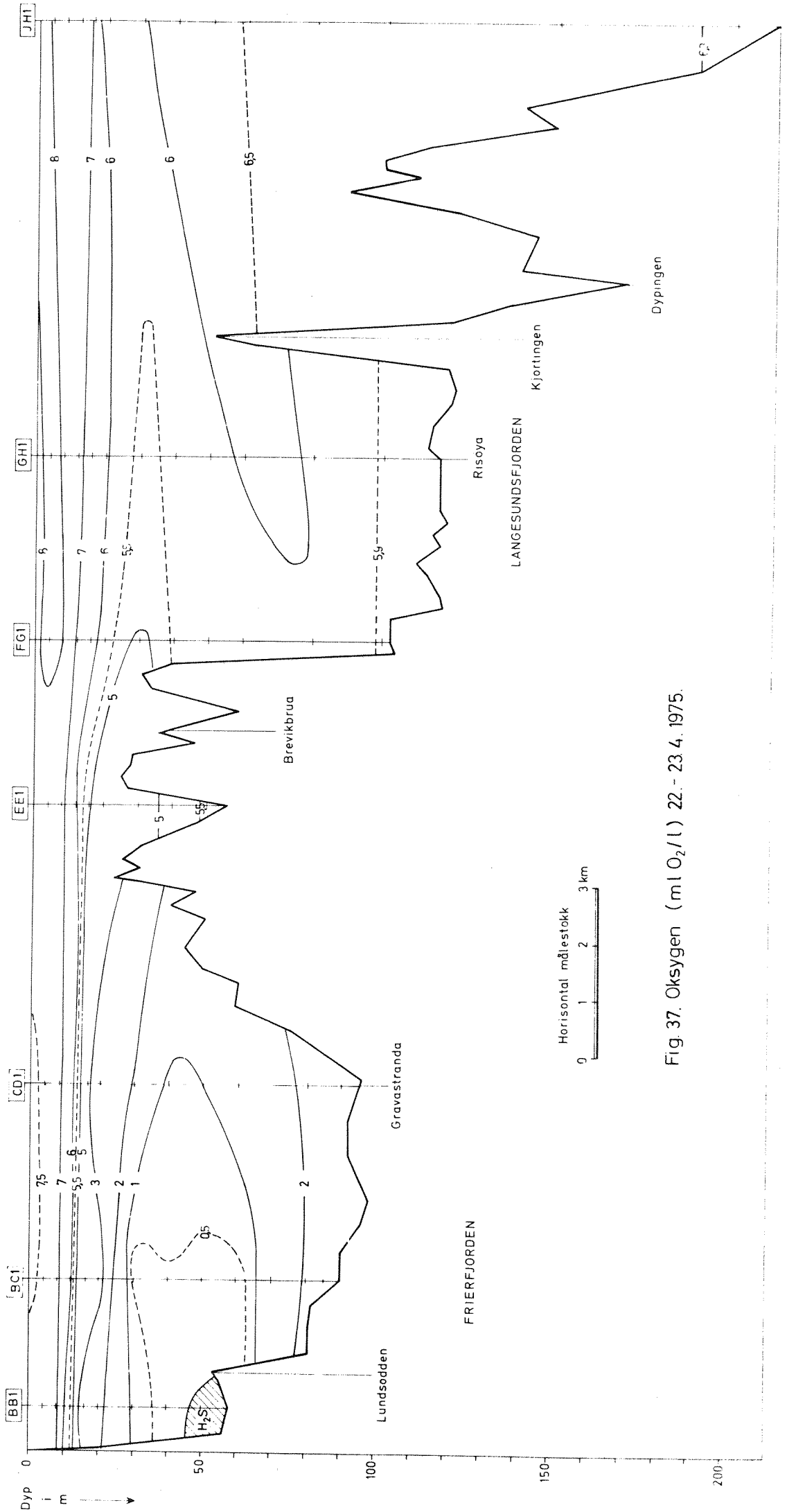


Fig. 37. Oksygen ($ml O_2/l$) 22.-23.4.1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

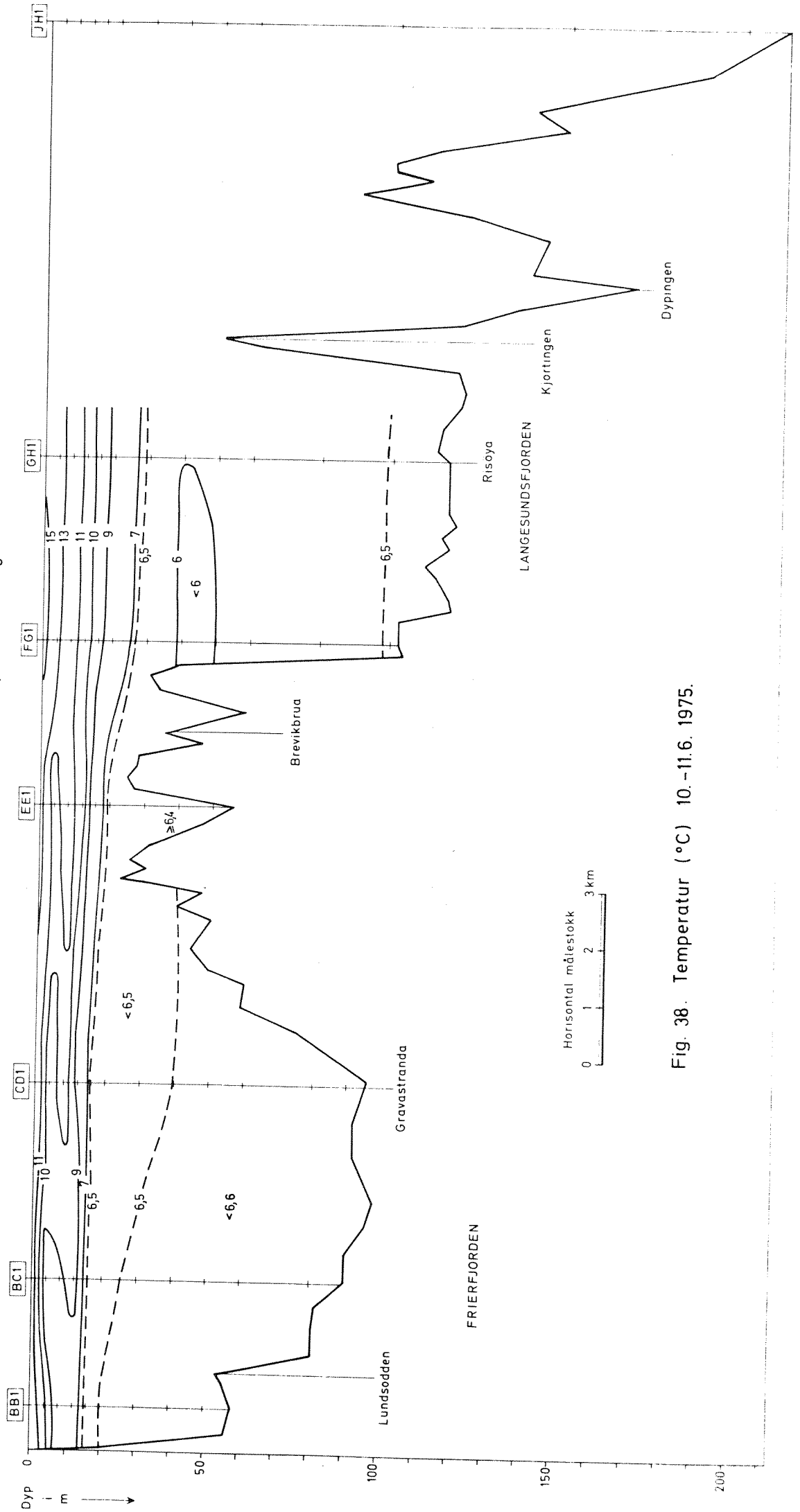


Fig. 38. Temperatur (°C) 10.-11.6. 1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

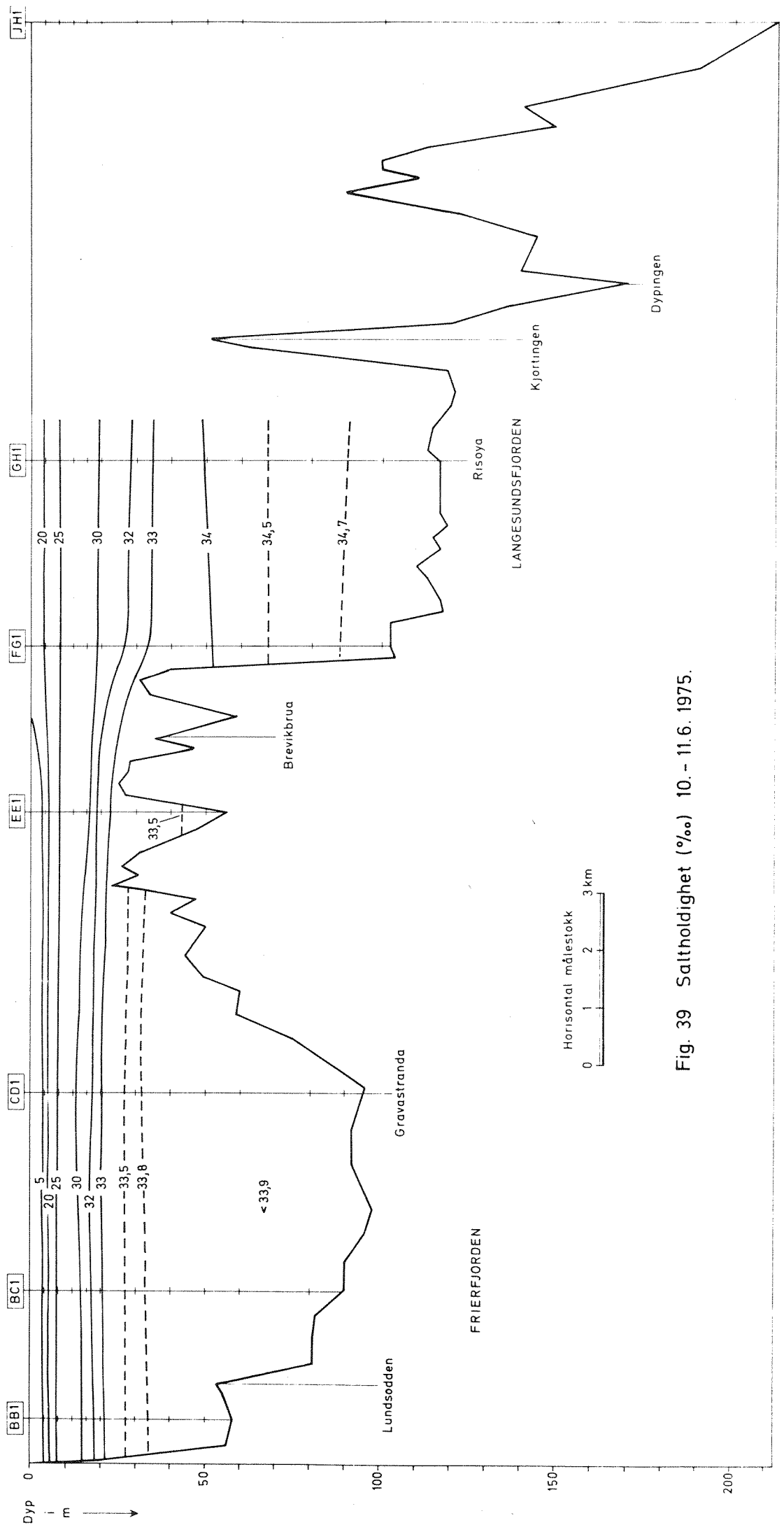


Fig. 39 Saltholdighet (‰) 10. - 11.6. 1975.

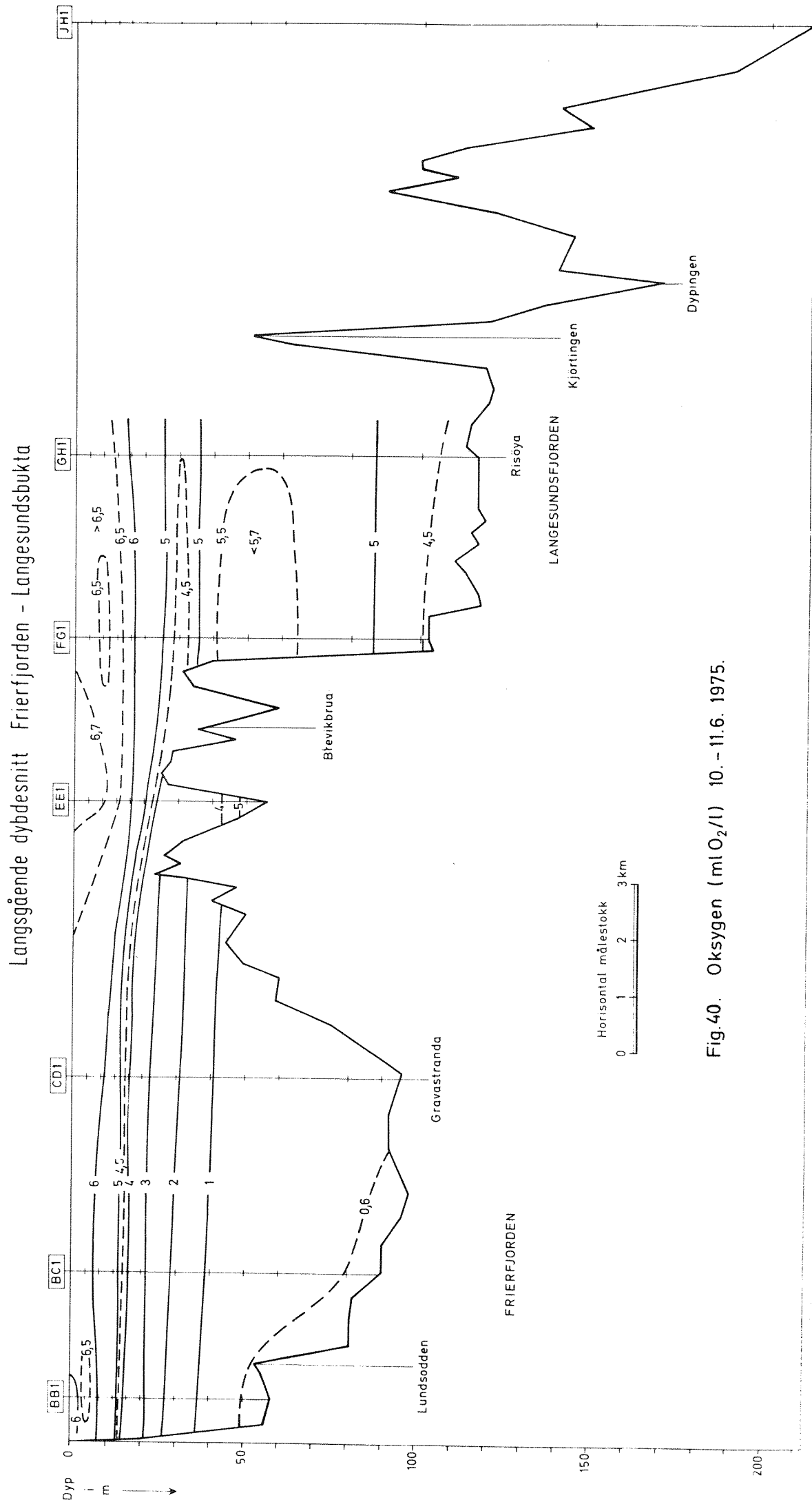


Fig.40. Oksygen (mlO_2/l) 10. - 11.6. 1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

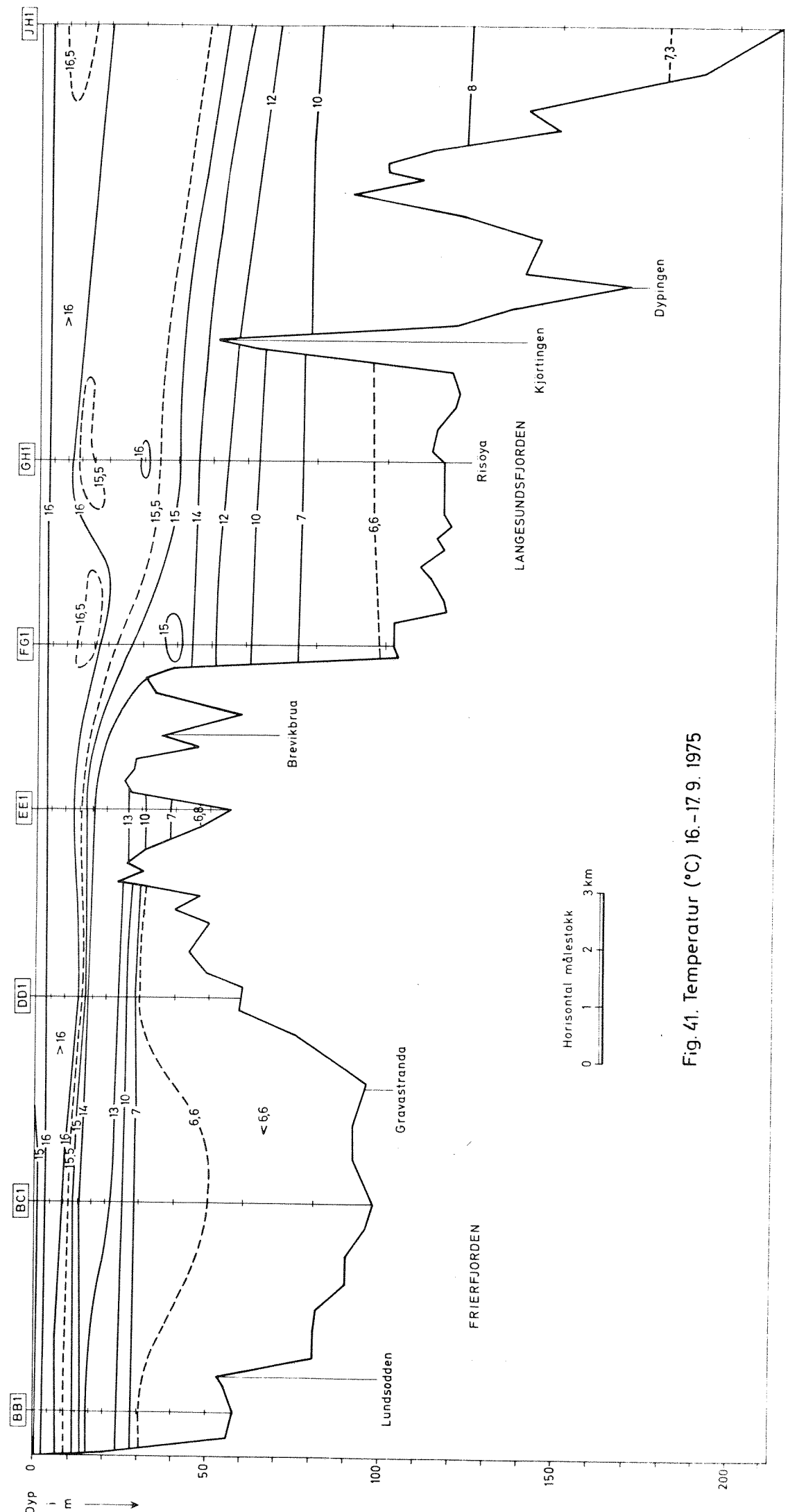


Fig. 41. Temperatur (°C) 16.-17.9. 1975

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

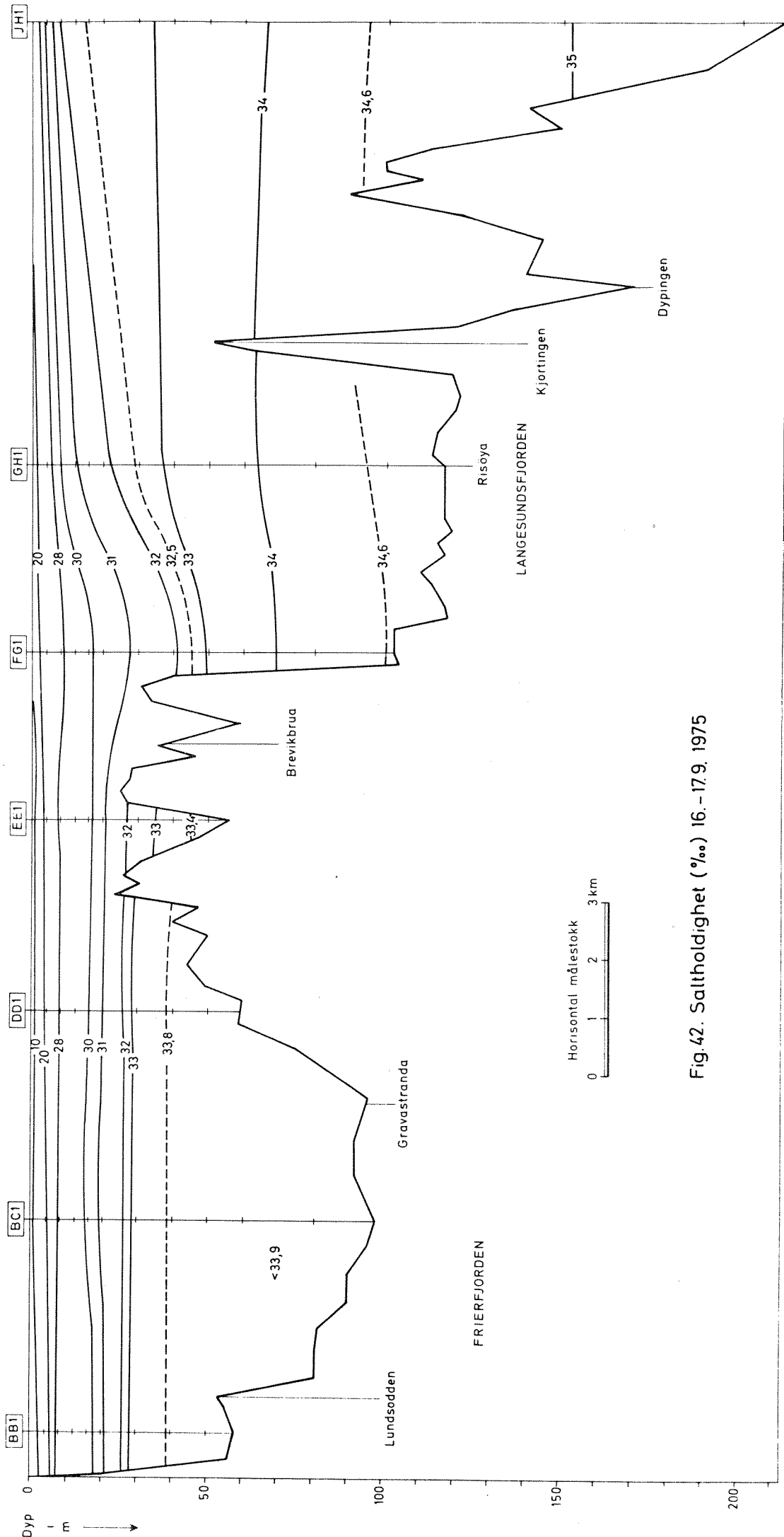


Fig.42. Saltholdighet (‰) 16.-17.9. 1975

Langgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

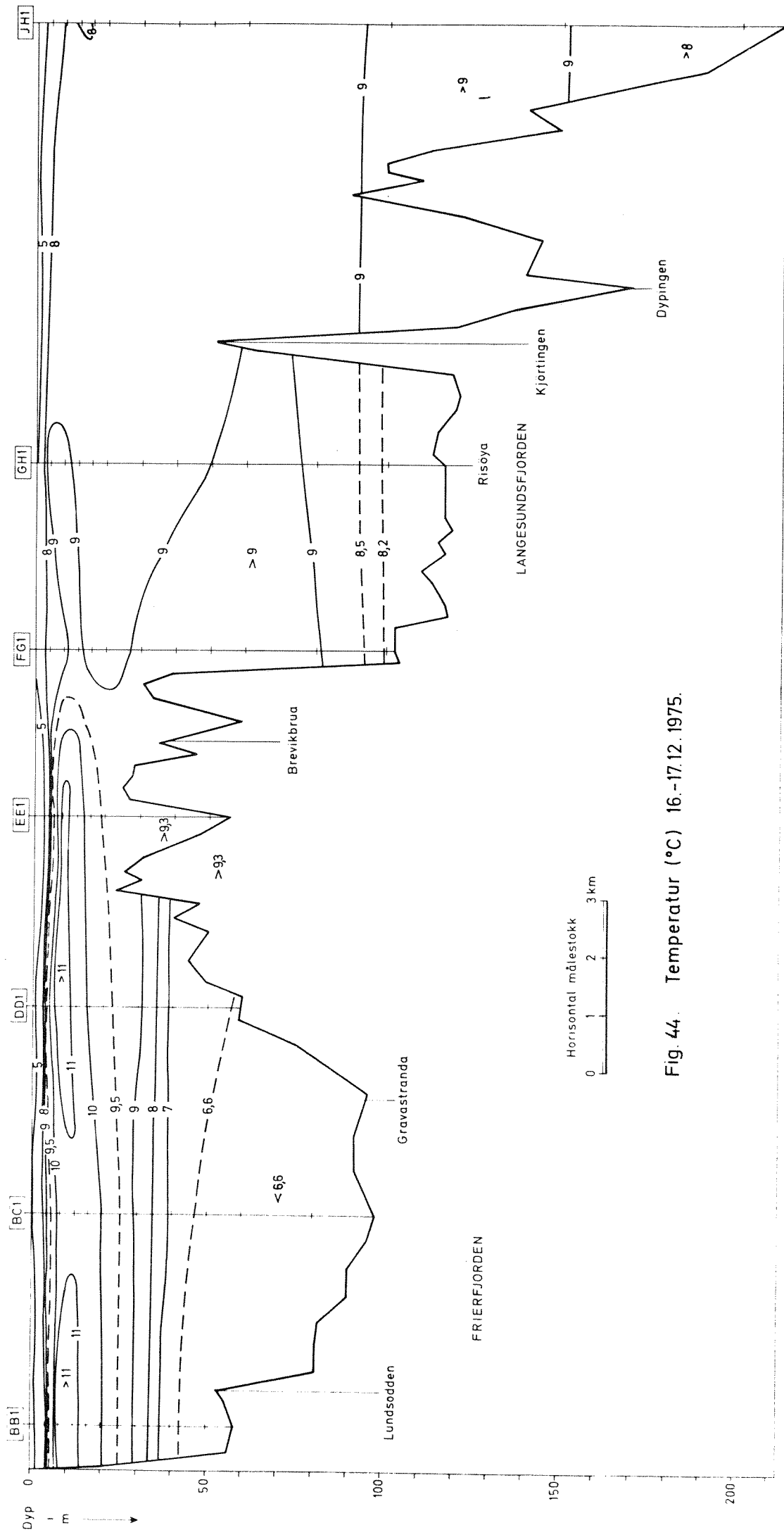


Fig. 44. Temperatur (°C) 16.-17.12.1975.

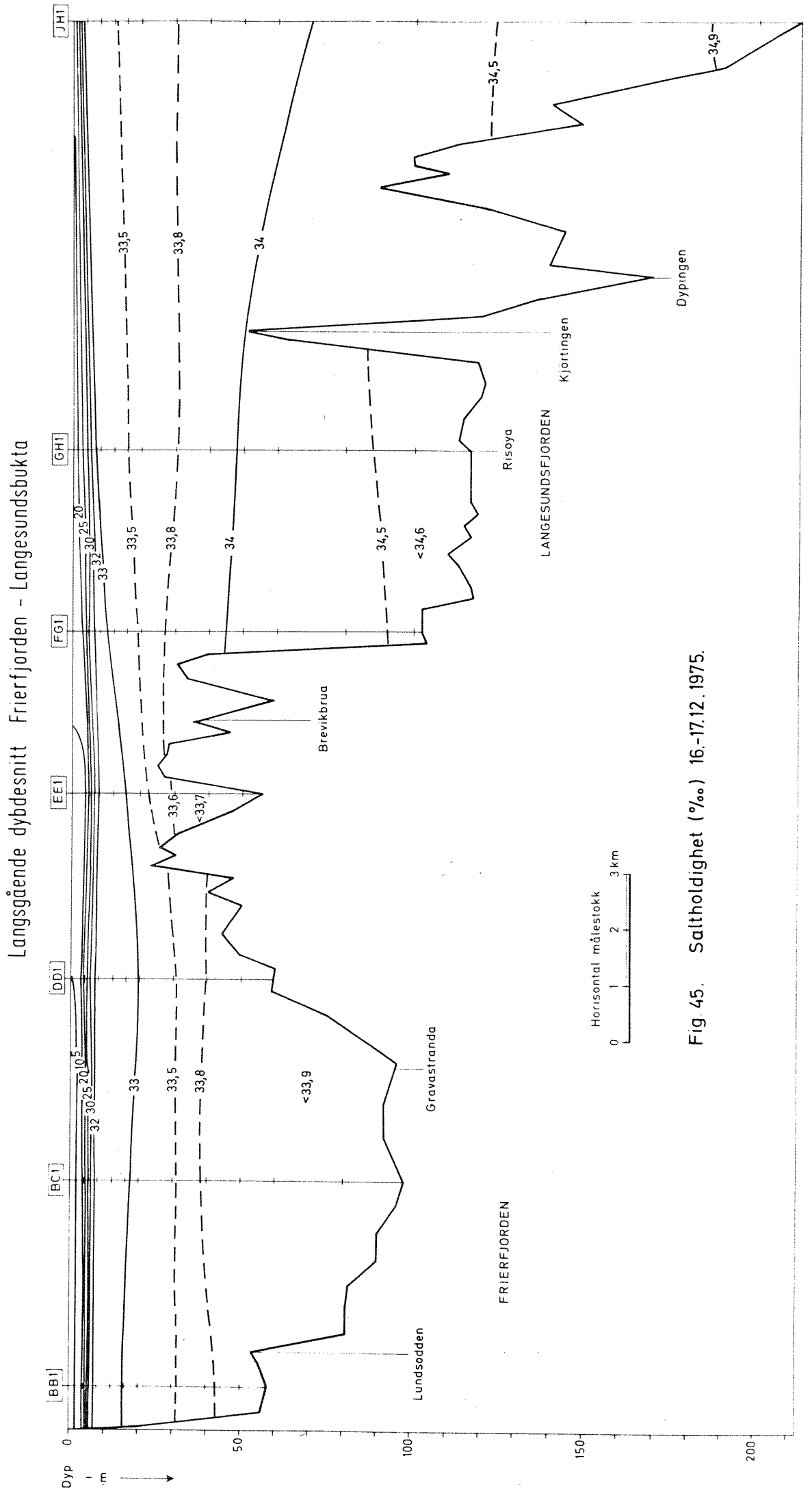


Fig 45. Saltholdighet (‰) 16.-17.12. 1975.

Langsgående dybdesnitt Frierfjorden - Langesundsbukta

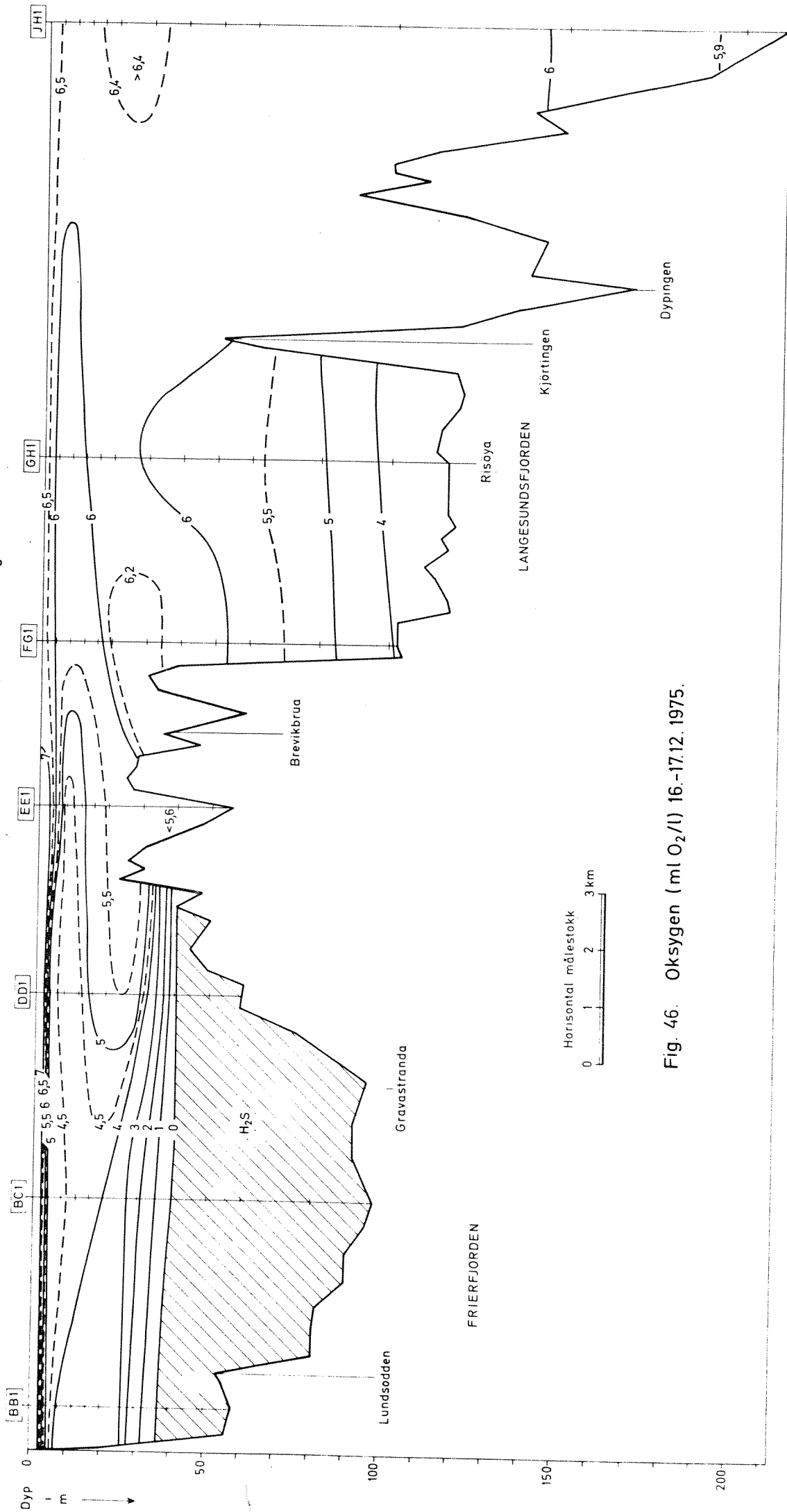


Fig. 46. Oksygen (ml O₂/l) 16.-17.12. 1975.

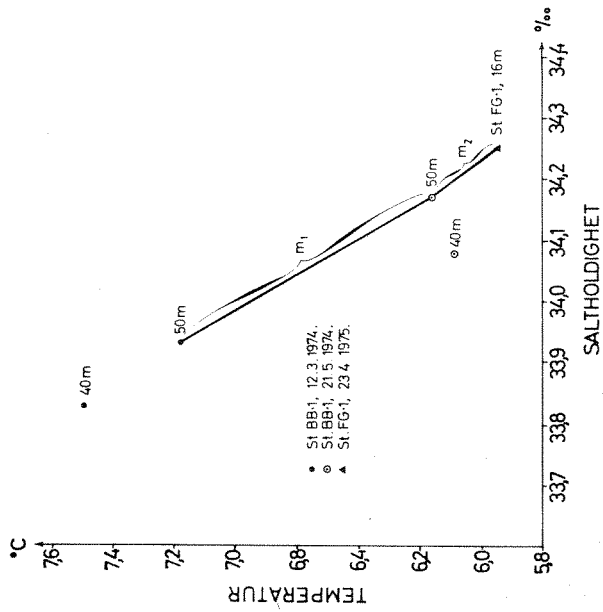


Fig. 47a St. BB-1. Temperatur og saltholdighed i dybvannet
mars - mai 1974

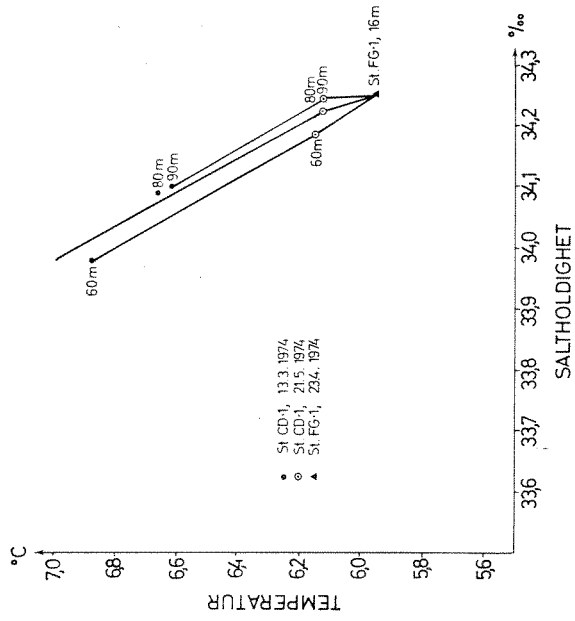


Fig. 47b St. CD-1. Temperatur og saltholdighed i dybvannet
mars - mai 1974

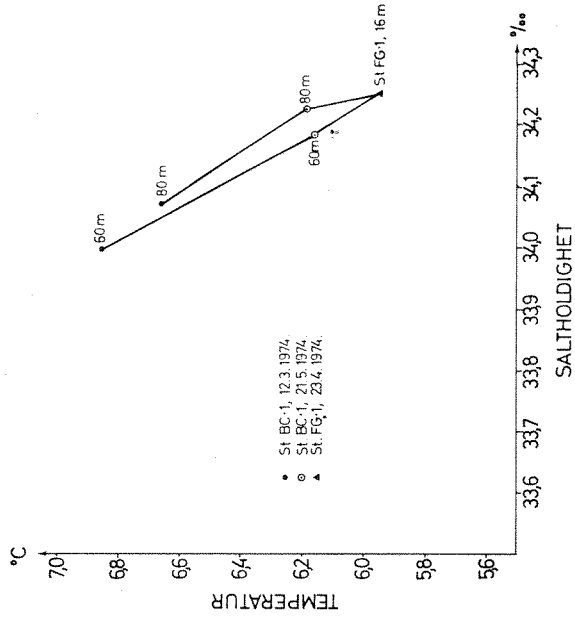


Fig. 47c St. BC-1. Temperatur og saltholdighed i dybvannet
mars - mai 1974

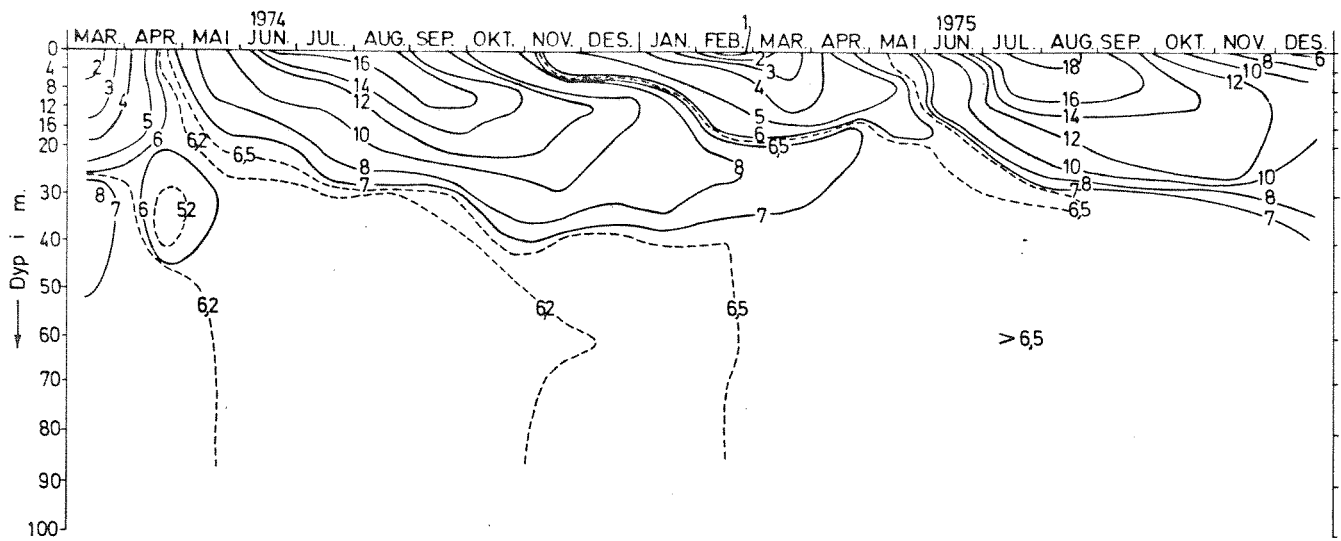


Fig. 48a Frierfjorden St. BC-1. Temperaturvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

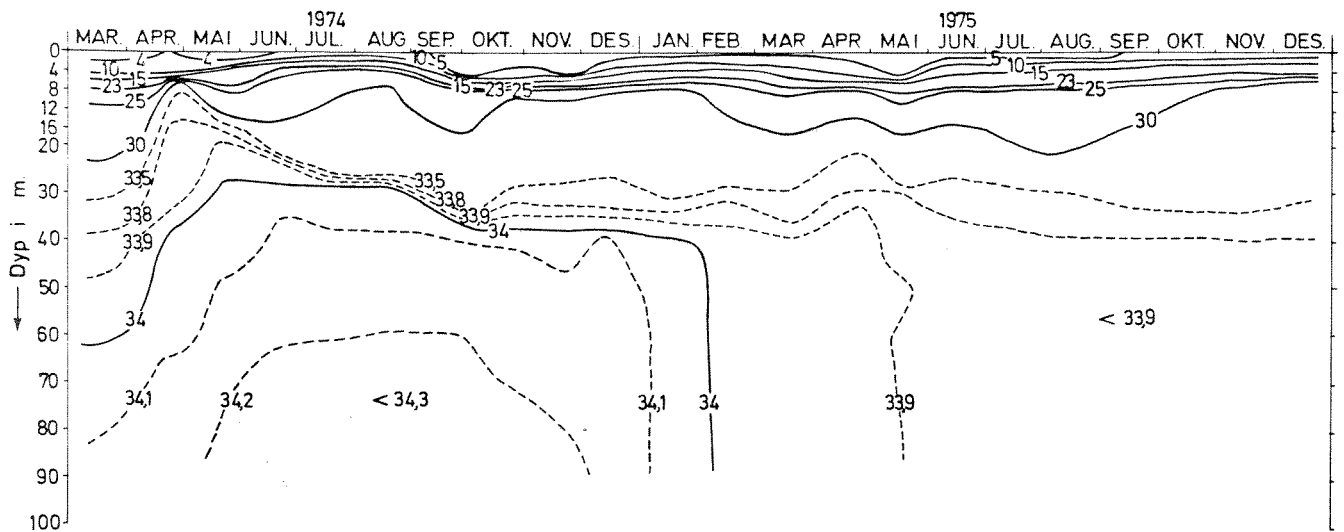


Fig. 48b. Frierfjorden St. BC-1. Saltholdighetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

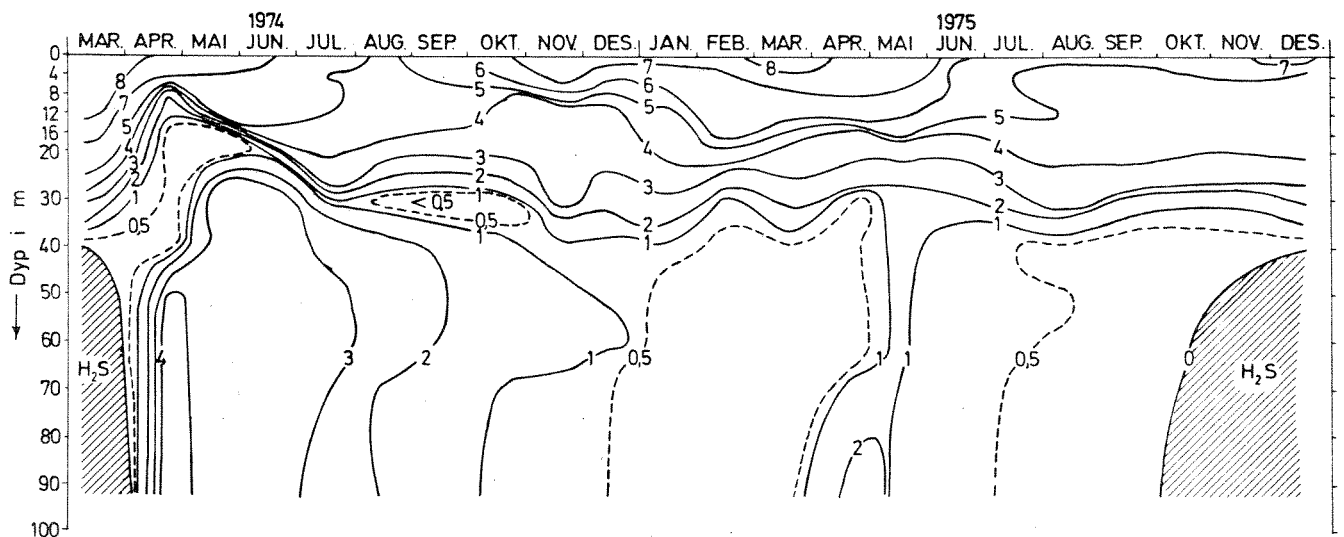


Fig. 48c. Frierfjorden St. BC-1. Oksygenvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

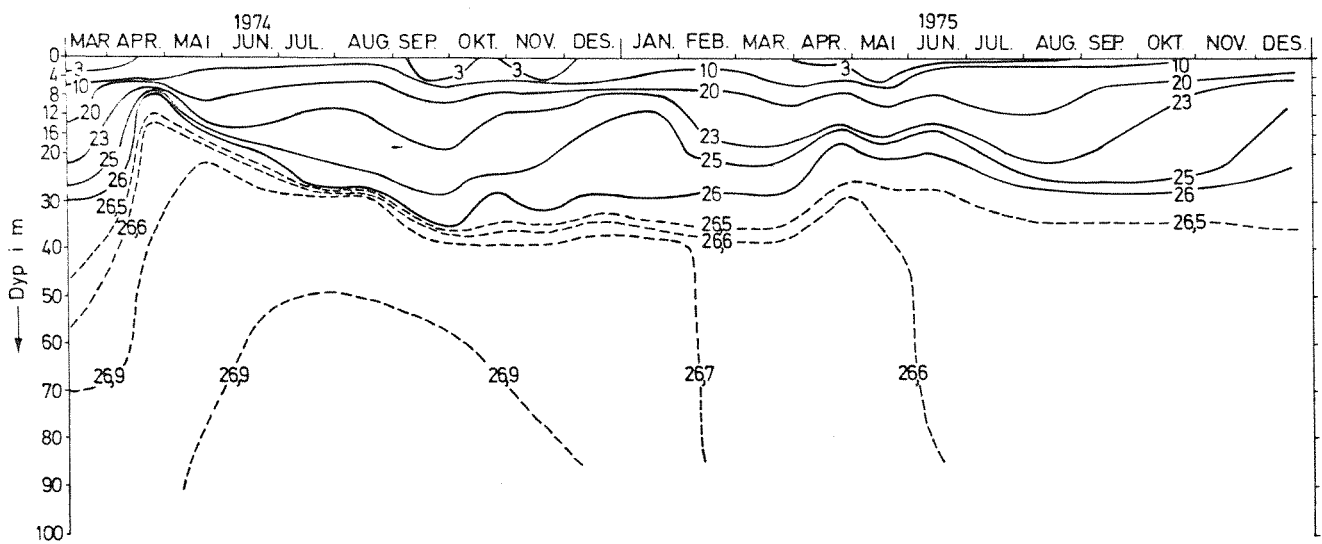


Fig. 48d. Frierfjorden St. BC-1. Tetthetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

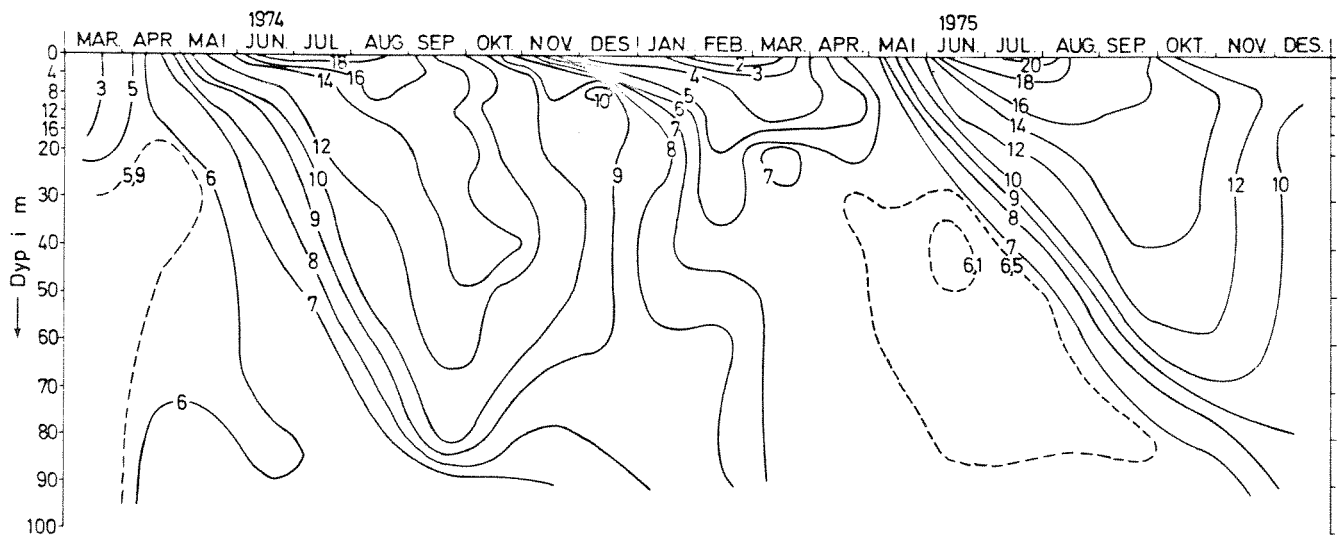


Fig. 49a. Eidangerfjorden, St. DF-1. Temperaturvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

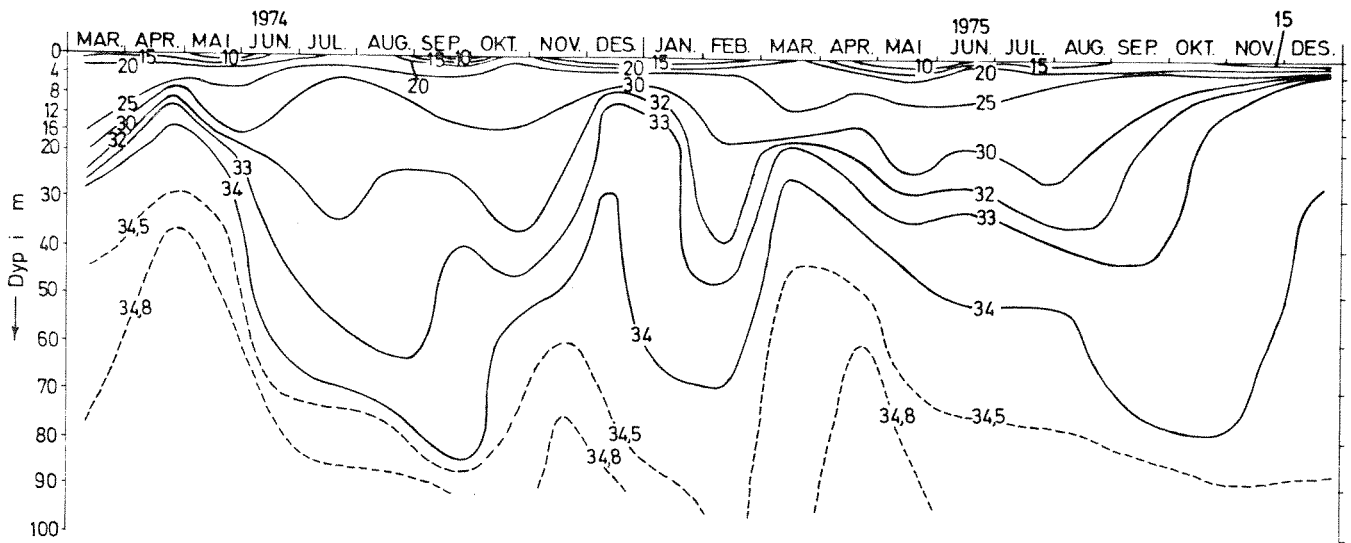


Fig. 49b Eidangerfjorden St. DF-1. Saltholdighetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

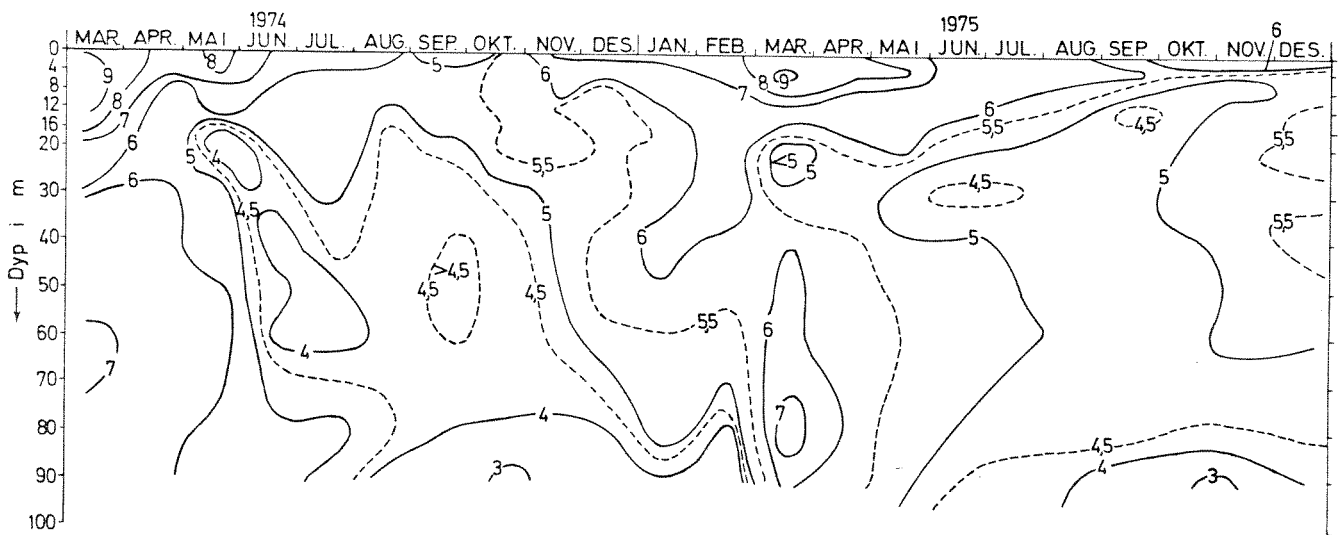


Fig. 49c. Eidangerfjorden St. DF-1. Oksygenvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

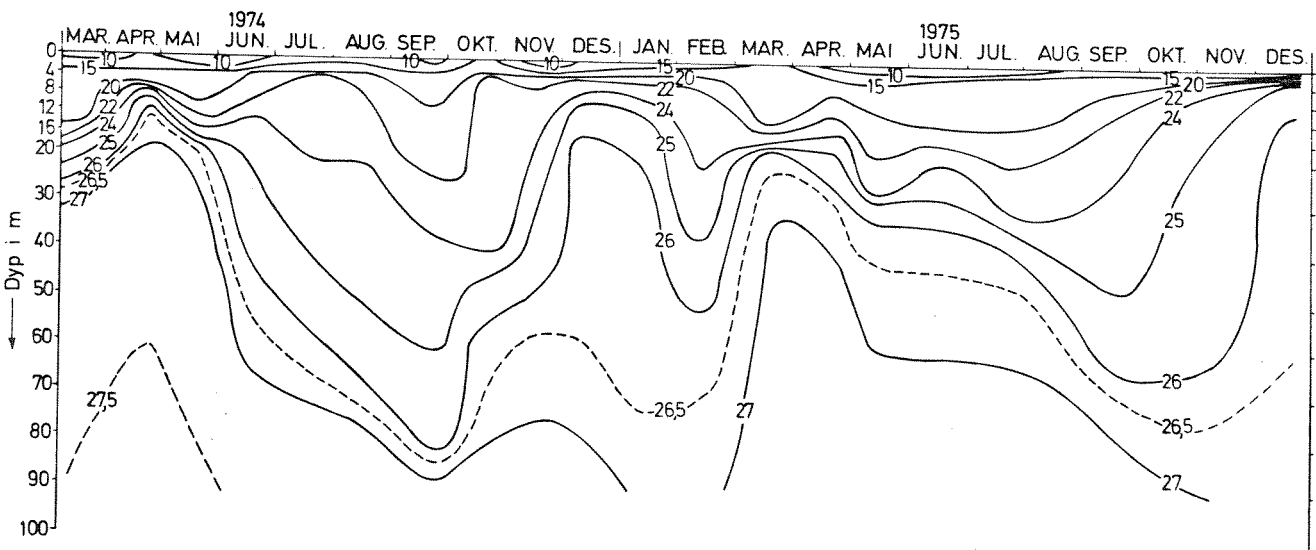


Fig. 49d Eidangerfjorden St. DF-1. Tetthetsvariasjoner mars 1974 - desember 1975.

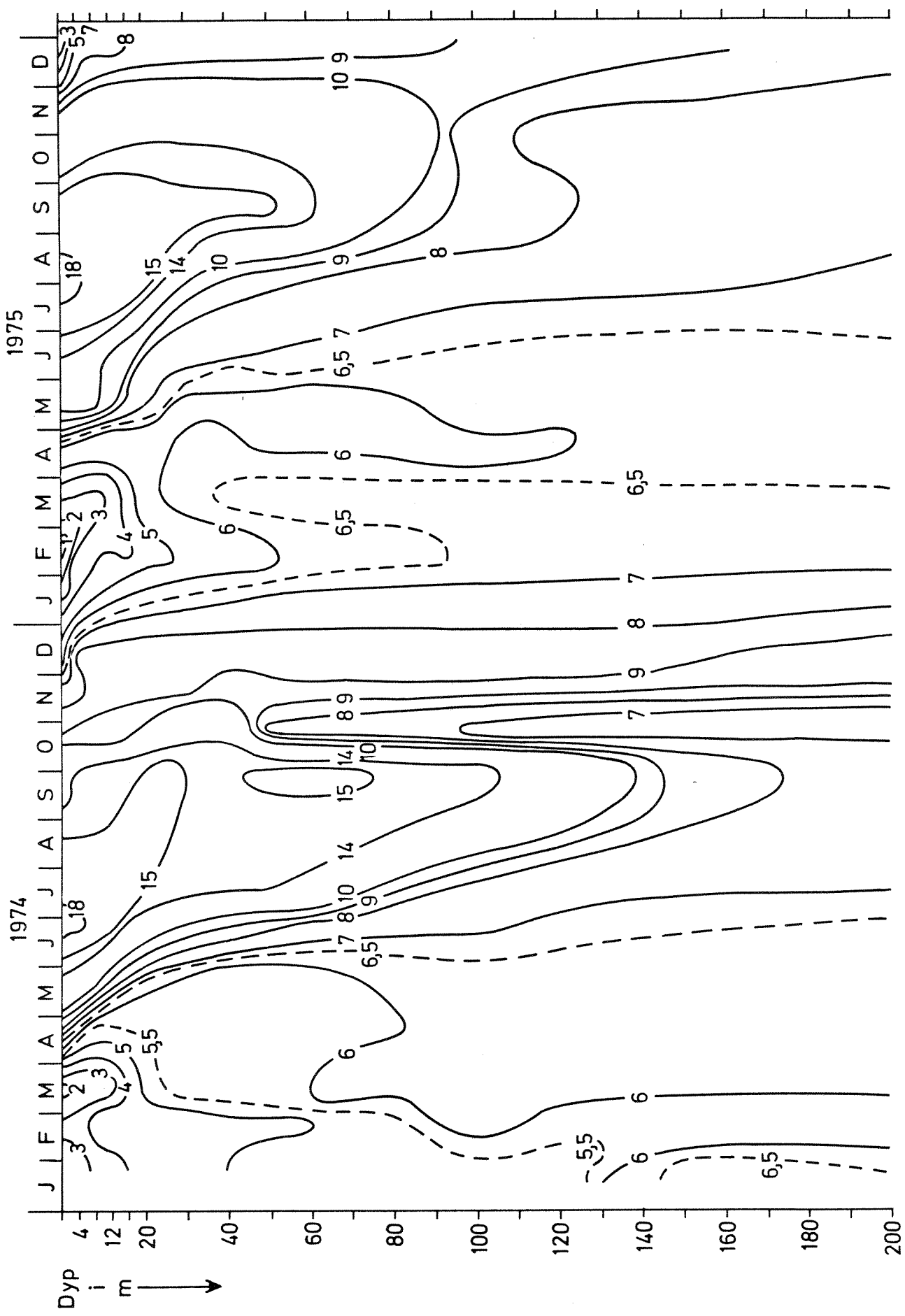


Fig. 50a Langesundsbukta, st. JH1. Temperaturvariasjoner januar 1974 - desember 1975

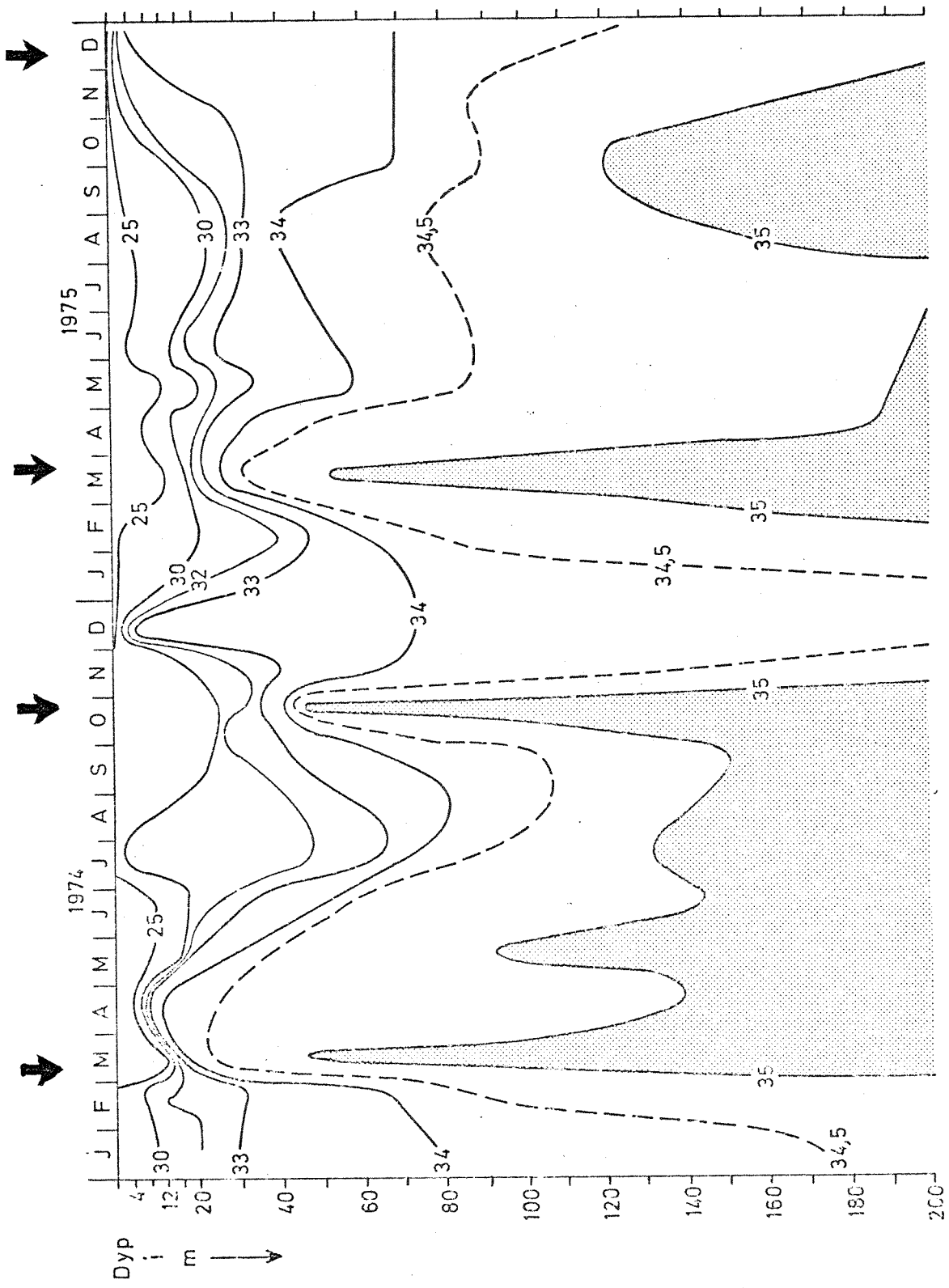


Fig. 50b. Langesundsbukta, st. JH1. Saltholdighetsvariasjoner januar 1974 - desember 1975
 Pilene angir tidspunktene for større innstrømninger.

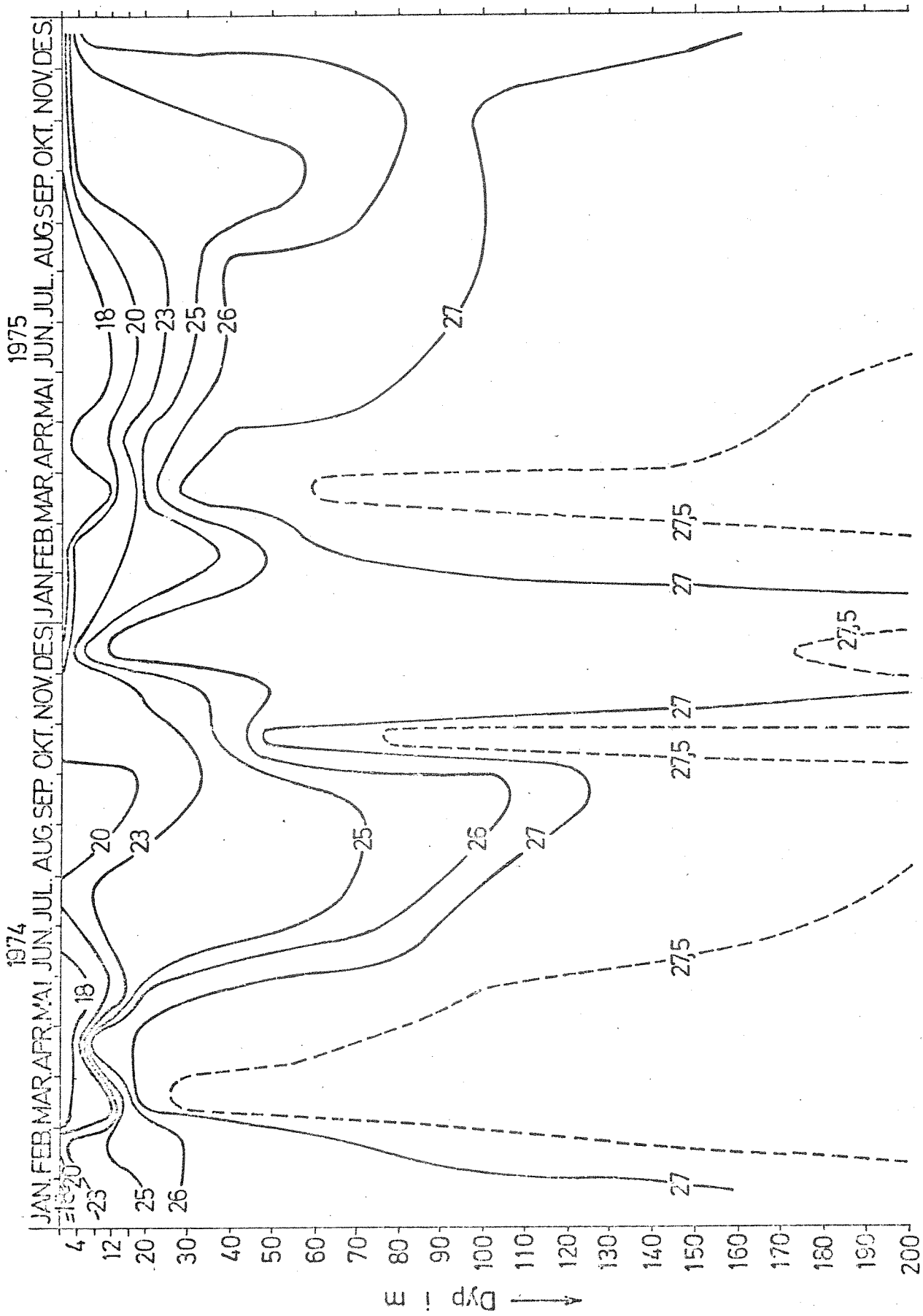


Fig. 50c Langesundsbukta · St. JH-1. Tæthetsvariasjoner januar 1974 - desember 1975.