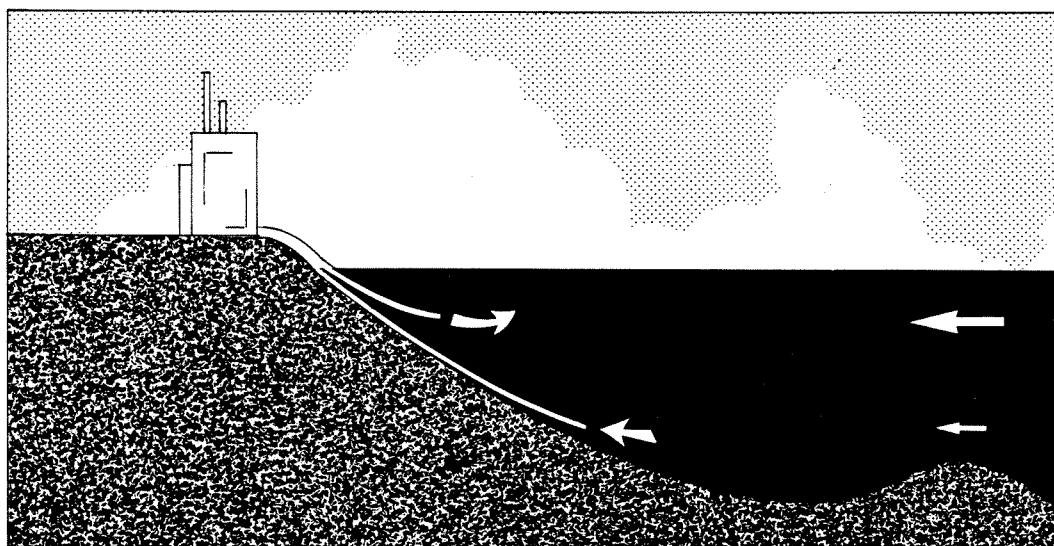


O-902202

Resipientgransking ved Tjeldbergodden - Aure i Møre og Romsdal



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

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

Prosjektnr.: 902202
Undernummer:
Løpenummer: 2647
Begrenset distribusjon: Sperret 2014 Sperring opphevet

Rapportens tittel: Resipientgransking ved Tjeldbergodden - Aure i Møre og Romsdal	Dato: Okt. 1991
Forfatter (e): Lars G. Golmen	Prosjektnummer: 902202
	Faggruppe: Olje - gass
	Geografisk område: Møre og Romsdal
	Antall sider (inkl. bilag): 70

Oppdragsgiver: STATKRAFT PGN, Boks 5091 Maj., 0301 Oslo 3	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Det foreliggende planer om etablering av gasskraftverk og metanolfabrikk på Tjeldbergodden på Nordmøre. NIVA har i denne sammenheng på oppdrag frå STATKRAFT gjennomført målinger i sjøresipienten i løpet av 1990 og 1991. Det er blitt målt strøm og hydrografi. På bakgrunn av måledata og teori, er det foretatt simulering av innlagringsdjup og influensområde for fire ulike utsleppsalternativ, kvart med utsleppsdjup varierende frå 0 til 40 meter. Oppstiging av utsleppsvatn til overflata skjer hyppigast om vinteren, og hyppigast for grunne utslepp. Utslepp i 30 meter er antatt gunstigast for alle alternativ. Influensområdet er asymmetrisk, med lengst utstrekning mot aust. Influensområdet til det største utsleppsalternativet på 900MW tangerer vestlege deler av Kjørsvika med 0.5 C overtemperatur.
--

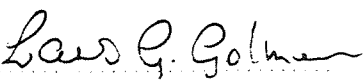
4 emneord, norske:

1. Kjølevannsutslipp
2. Innlagringsdyp
3. Strømforhold
4. Influensområde

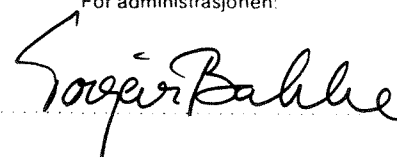
4 emneord, engelske:

1. Cooling water discharge
2. Effluent jet
3. Effluent field
4. Ocean currents

Prosjektleder:


Lars G. Golmen

For administrasjonen:



ISBN 82-577-1967-6

O-902202

**RESIPIENTGRANSKING VED
TJELDBERGODDEN - AURE
i
MØRE OG ROMSDAL**

Presentasjon av måleresultat.
Beregning av influensområde for kjølevatn.

Bergen oktober 1991

Lars G. Golmen

FORORD

Tjeldbergodden i Aure kommune på Nordmøre er utpekt som mogleg ilandføringsstad for gass frå Heidrun og Draugen felta på Haltenbanken. Ved eventuell ilandføring er det aktuelt å etablere gasskraftverk eller petrokjemisk industri (metanolfabrikk) for foredling av gassen på ilandføringsstaden.

I samband med desse planene har det tidlegare blitt utført miljøgranskingar på lokaliteten. Desse granskingane var mangelfulle når det gjalt faktiske måledata frå sjøresipienten. På oppdrag frå STATKRAFT gjekk derfor NIVA i gang med tilleggsmålingar (vesentlegast strøm og hydrografi) på lokaliteten i mars 1990. Foreliggende rapport presenterer resultat frå desse granskingane.

Sakshandsamar hos STATKRAFT har vore Elise Førde (Sven E. Hetager i startfasen). Lokalt i Aure har fleire personar vore delaktige i innsamling av måledata. I denne samanheng må spesielt Oddbjørn Dromnes og Roar Bjørnvik takkast, saman med Martin Buhaug som var kontaktperson i oppstarten av måleprosjektet. På NIVA har ei rad personar vore implisert i prosjektet. Spesiell takk til staben på instrumentsentralen og til Terje Hopen på EDB avdelinga. Sekretær Inger Midttun har bistått med tilrettelegging av data, rapportredigering m.m. Forskar Lars G. Golmen har vore leiar for prosjektet.

Bergen/Oslo oktober 1991.

Lars G. Golmen

INNHALD

FORORD

SAMANDRAG	1
1. INNLEIING	3
1.1. Bakgrunn og målsetting for prosjektet	3
1.2. Kort omtale av lokaliteten	4
1.2.1. Sjøresipienten	7
1.3. Nokre aktuelle problemstillinger for resipientvurdering	8
1.4. Nokre fysiske betraktningar	9
1.4.1. Hydrografiske tilhøve i resipienten	9
1.4.2. Utslepp og effekter	11
2. MÅLEPROGRAM	13
2.1. Hydrografi	13
2.1.1. Metode og instrument	13
2.2. Strømmåling	14
2.2.1. Metode og instrument	14
2.3. Andre registreringar.	15
3. PRESENTASJON AV MÅLEDATA	16
3.1. Hydrografi	16
3.1.1. Tidsutvikling, isopletframstilling	16
3.1.2. Temperaturkurver for ulike djup	19
3.1.3. Målingar med fastståande instrument	20
3.2. Strømmåling	21
3.2.1. Målingar med fastståande instrument	21
3.2.2. Vertikal strømfordeling	22
3.2.3. Strømkorsforsøk	23
3.3. Andre registreringar	24
4. INNLAGRING OG INFLUENSOMRÅDE	25
4.1. Primærfortynning	25
4.1.1. Resultat for primærfortynning	26
4.2. Sekundærfortynning og influensområde	29
4.2.1. Føresetnader og avgrensingar	29
4.2.2. Horisontaltransport i oppstigningsfasen	30
4.2.3. Fortynningsgrad nær utsleppet	30
4.2.3. Horisontal transport og avkjøling	31
4.3. Utslepp i overflata	33
4.4. Plassering av inntak og utslepp	34
5. DISKUSJON OG OPPSUMMERING	40
5.1. Dataomfang og representativitet	40
5.1.1. Hydrografi	40
5.1.2. Strømforhold	40

5.2.	Inntaksdjup for kjølevatn	41
5.3.	Kriterier for val av utsleppsdjup	41
5.4.	Alternative utsleppsdjup	42
5.5.	Influensområde	43
	5.5.1. Nytt utsleppsalternativ	43
5.6.	Resipientens kapasitet for varmemottak.	43
LITTERATUR		45
FIGURVEDLEGG		47

SAMANDRAG

I løpet av perioden mars 1990 til og med februar 1991 er det foretatt måling av strøm og hydrografi ved Tjeldbergodden i Aure kommune i Møre og Romsdal. Målingane er utført i regi av NIVA på oppdrag frå STATKRAFT. Bakgrunnen for målingane er planer om å føre i land gass frå Haltenbanken (Draugen og Heidrun felte) på Tjeldbergodden, og å etablere eit gasskraftverk, eventuelt ein metanolfabrikk på denne staden. Slik etablering vil medføre utslepp av oppvarma kjølevatn til den nærliggande sjøresipienten.

Foreliggende rapport presenterer måleresultata. På basis av desse er det utført berekningar for utslepp og spreining av kjølevatn for fire ulike industri/kraftverkskombinasjonar, og for kvar av desse kombinasjonane, fem ulike utsleppsdjup.

Dataomfang og måleresultat

Strømmålingane blei utført over to 7 vekers perioder vår og haust 1990 i ein posisjon rett utafor planlagt industriareal. Det blei også utført strømmåling inne i Dromnessundet. Hydrografiske målingar på lokaliteten er blitt utført med ei veker intervall på tre stasjonar i perioden mars-oktober 1990 samt frå november 1990 til og med februar 1991. Datagjenfangst for strøm og hydrografi var av storleiksorden 95 % eller betre, i forhold til målsettinga.

Hydrografiske målingar synte temperatur mellom 5° og 15°C i overflata, og mellom 4.7° og 11.8°C i 50 meters djup (mellom ca. 6° og 10°C i 60 meters djup). Tilsvarende verdiar for salinitet var 28-33.5 ‰ (overflate) og 32.5-34.2 ‰ (i 60 meter). Sjiktninga var svakast i oktober-november, i overgangen mellom sommar- og vintertilstand for hydrografi. I Dromnessundet var det eit tydeleg hydrografisk sekundærsjikt rundt 40 meters djup i store deler av måleperioden. Dette har samanheng med tersklar (og terskelbasseng) i sundet.

Strømmen ved Tjeldbergodden var i middel austgåande både i 4 og 40 meters djup. I 4 meters djup var reststrømmen av storleiksorden 8 cm/s både vår og haust. I 40 meters djup var det svakare reststrøm, og denne var i fleire kortare perioder retta vestover, særleg om hausten. I Dromnessundet var netto overflatestrøm retta nordover. Det var teikn til lagdelt strøm der, med motsatt strømreretning i forhold til overflatelaget i sjikt ned mot terskeldjupet på ca. 15 meter.

Utsleppsalternativ for kjølevatn

I)	Utslepp frå 700 MW kraftverk,	18 m ³ /s, delta-T	=	7.5°C
II)	Utslepp frå 350 MW kraftverk,	9 m ³ /s, delta-T	=	7.5°C pluss
	Utslepp frå metanolfabrikk,	3 m ³ /s, delta-T	=	24°C
III)	Utslepp frå 700 MW kraftverk,	18 m ³ /s, delta-T	=	7.5°C pluss
	Utslepp frå metanolfabrikk,	3 m ³ /s, delta-T	=	24°C
IV)	Utslepp frå metanolfabrikk,	3 m ³ /s, delta-T	=	24°C.

Inntaket for kjølevatn er forutsatt lagt til 50 meters djup. Utsleppsdjup er i simuleringane variert frå 0 meter til 40 meter.

Innlagring av kjølevatn

Innlagringsberekningar for kjølevatn basert på data frå måleperioden, synte størst risiko for innlagring i overflata i tidsrommet oktober-november, samt i januar-februar. Berekna fortynningsgrad for utsleppsdjup lik eller større enn 20 meter indikerer liten fare for større overtemperatur enn + 0.5°C for utslepps-alternativa I-III, sjølv nær utsleppet i ein normalsituasjon. Alternativ IV ga hyppig innlagring i overflata for alle utsleppsdjup.

Influensområde

I rapporten er det gjort rede for grunnlaget for berekning av influensområde. Det er tatt utgangspunkt i ein hydrografisk vintersituasjon med eit overflatelag med temperatur 2°C, og med svakt aukande temperatur nedover i vassøyla. Berekningsresultata er framstilt i kart som viser dei ulike influensområda. Horisontal utstrekning (avstand frå utsleppstaden) for eit utslepp i 20 meters djup er synt nedanfor.

Influensområdets max. utstrekning mot:			vest	og	øst
Alt. 1,	0.5°	overtemp.:	1120m		2600m
--"	1.0°	--"	350m		830m
Alt. 2,	0.5°	--"	1030m		2400m
--"	1.0°	--"	330m		780m
Alt. 3,	0,5°	--"	1170m		2750m
--"	1.0°	--"	440m		1040m
Alt. 4,	0.5°	--"	750m		1770m
--"	1.0°	--"	370m		880m

Det berekna influensområdet for overtemperatur i overflata er asymmetrisk, med størst utstrekning i austleg retning frå planlagt utslepp.

Berekningane indikerer at det er liten risiko for negativ overflatepåverknad så langt aust som i Kjørsvika. Dromnessundet synes heller ikkje bli påverka av utsleppet.

Ut frå føresetnadane om å minimalisere overflatepåverknaden frå det framtidige utsleppet, er det tilrådd eit utsleppsdjup på 30 meter for alternativ I,II og III. For alternativ IV er utslepp enten i 30 eller 40 meter anbefalt.

Ein eventuell antyda auke i utsleppa til opp mot 2000 MW vil medføre stor risiko for overtemperatur lik eller større enn 1.0° i Kjørsvika, mens Dromnessundet fortsatt vil gå klar overflatepåverknad. Våre anslag tyder på at resipientens kapasitet for mottak av varme ligg rundt 1000 MW. Større tilførsler enn dette vil medføre stor risiko for periodevis overtemperatur større enn 0.5°C i Kjørsvika.

1. INNLEIING

1.1. Bakgrunn og målsetting for prosjektet

Spørsmålet omkring ilandføring av gass frå Heidrunfeltet, og val av stad for ilandføring, har vore vurdert i fleire år. Ein stortingsproposisjon er under utarbeiding. Det er venta ei endeleg avgjerd i nær framtid. Diskusjonen har dels gått på val av ilandføringsstad, og dels på kva type industri/aktivitet som skal etablerast på ilandføringsstaden. Økonomiske spørsmål har stått sentralt. Prinsipielle spørsmål omkring bruk av gassen og miljøspørsmål knytt til dette (m.a. CO₂ problematikk), har også vore debattert.

Dei tre alternativa for ilandføring som har vore mest gjenstand for vurdering, er

Storvik i Fræna kommune, Møre og Romsdal
Tjeldbergodden i Aure kommune, Møre og Romsdal
Lauvøy i Vikna kommune, Nord-Trøndelag

Den foreliggende rapporten omhandlar lokaliteten Tjeldbergodden. Lokalitet Tjeldbergodden har tidlegare vore vurdert både med omsyn til sjøresipient, lokalsamfunn og andre miljølthøve (MILJØPLAN 1988). Lokaliteten blei funne tilfredsstillande på grunnlag av eksisterande data og teoretiske betraktningar. Det var imidlertid mangel på måledata frå sjøresipienten. STATKRAFT utlyste derfor eit måleprosjekt i slutten av 1989, som skulle framskaffe supplerande data for resipienten.

NIVAs prosjekt har innbefatta kartlegging av dagens tilstand i sjøresipienten, samt studium av effektar av utslepp av kjølevatn frå eit eventuelt gasskraftverk og/eller metanolfabrikk. Det er tale dels om både ein fysisk kartlegging, og ein tilstands- og effektstudie for resipienten. Biologiske studiar er ikkje innbefatta i prosjektet.

I STATKRAFTs prosjektutlysing datert 1/11 1989, med seinare revisjonar, er måleprosjektet forutsatt å innehalde følgjande hovedelement:

- Strømmåling i 2 djup med ein målerigg, over to tidsperioder à 6 veker i ulike årstider.
- Strømmåling i eitt djup over 2-3 veker i Dromnessundet.
- Strømkorsforsøk til ulike tider.
- Hydrografiske målingar (vertikalprofilar av temperatur og salinitet) i ein gong pr veke over eit helt år.

Målingane skal danne grunnlag for å finne optimalt inntaksdjup og utsleppsdjup for gjevne mengder kjølevatn frå kraftverk og industri. Tabell 1.1 syner dei kombinasjonane av kjølevassmengder og overtemperaturar som er gjenstand for vurdering i denne rapporten.

Tabell 1.1. Oversikt over dei fire ulike utsleppsalternativ av kjølevatn frå gasskraftverk og/eller metanolfabrikk på Tjeldbergodden.

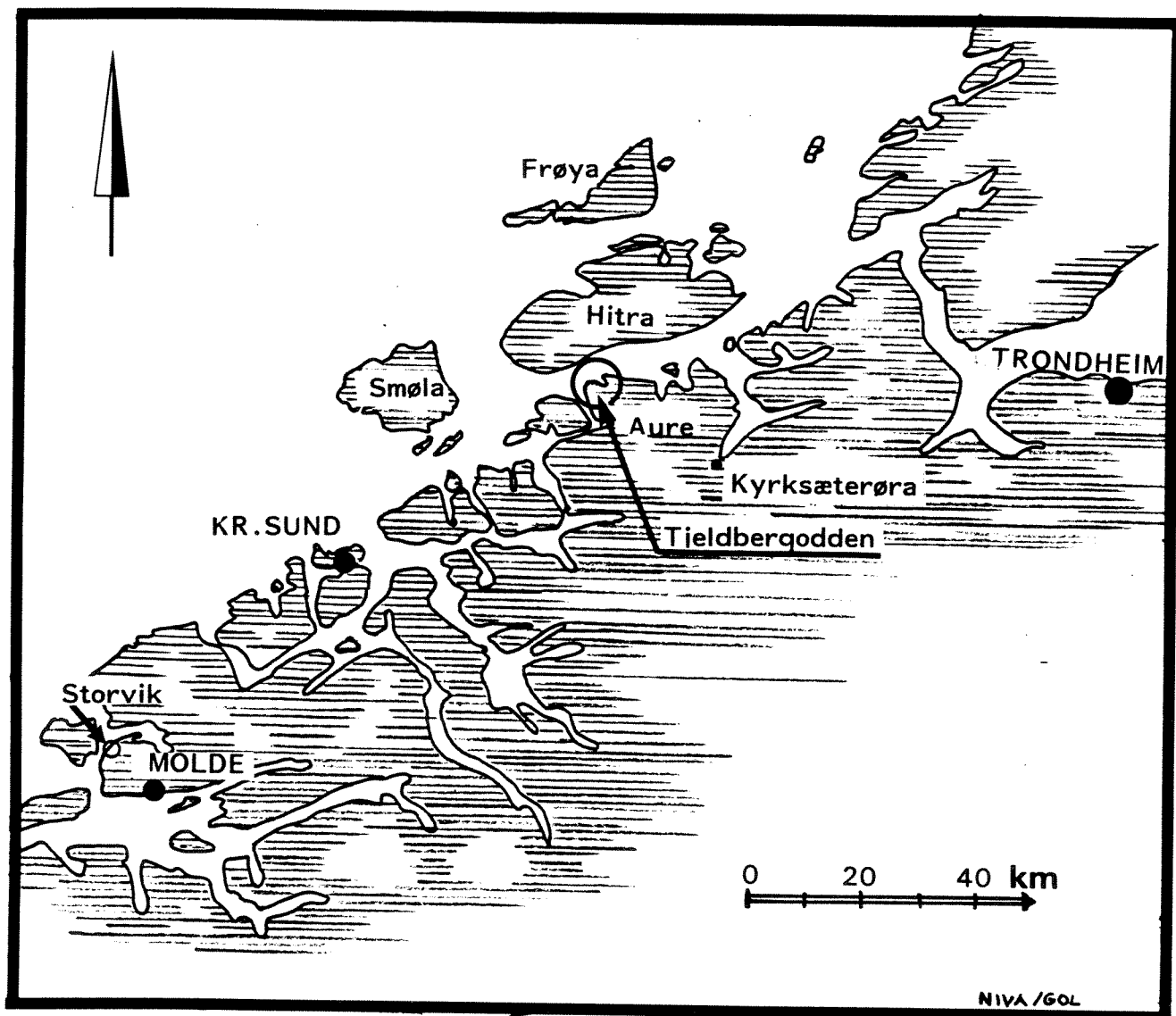
1) Utslepp frå 700 MW kraftverk,	18 m ³ /s,	delta-T =	7.5°C
2) Utslepp frå 350 MW kraftverk,	9 m ³ /s,	delta-T =	7.5°C pluss
-"- " metanolfabrikk,	3 m ³ /s,	delta-T =	24°C
3) Utslepp frå 700 MW kraftverk,	18 m ³ /s,	delta-T =	7.5°C pluss
-"- " metanolfabrikk,	3 m ³ /s,	delta-T =	24°C
4) Utslepp frå metanolfabrikk,	3 m ³ /s,	delta-T =	24°C.

I prosjektet inngår oppgåva å finne optimalt inntaksdjup for kjølevatnet (m.o.t. stabil temperatur over året), samt optimalt djup for utslepp av det oppvarma kjølevatnet. Grunnlaget for dei vurderingar som blir gjort, er i første rekkje innsamla måledata frå perioden mars 1990 til februar 1991, som blir presentert i etterfølgjande kapittel. Basert på dette datamaterialet, samt på grunnlag av berekningar og generell kunnskap/teori, blir det foretatt ei endeleg vurdering av sjøresipienten og effekter av kjølevassutslepp ved Tjeldbergodden.

1.2. Kort omtale av lokaliteten

Lokalitet Tjeldbergodden ligg i Aure kommune i Møre og Romsdal fylke, ved grensa til Sør Trøndelag Fylke (figur 1.1). Tjeldbergodden ligg ope til ved Trondheimsleia. Avstand til Hitra i nordvest er om lag 5 km. Strandsona der det er planlagt gassterminal/industri, består av svakt skrånande fjell. Stranda er relativt rein og rettlinja. Botnen skrånar jamt utover, og er prega av steingrunn ut til i alle fall 60-70 meters djup. Anleggsplassen ligg i nærleiken av ei mindre elv (Kvennabekken) som renn ut frå Kvernavatnet (figur 1.2). For øvrig er landområdet ved Tjeldbergodden mest lyngmark, med avvekslande skogteigar.

Dei næraste omgjevnadane til den planlagte anleggsplassen er utan busetnad. Næraste bygdelag er Kjørsvik, ca. 2 km austafør anleggsplassen. Her er det post og butikk m.m. I austre del av vika ligg eit setjefiskanlegg. Bygdelaget Dromnes ligg inne i Dromnessundet (figur 1.2), i avstand ca. 3 km (luftlinje) frå anleggsplassen. Innover i Dromnessundet er der for øvrig spreidd busetnad på begge sider, heilt over til Årvågfjorden.



Figur 1.1. Kartskisse over Romsdal-Nordmøre og deler av Sør-Trøndelag, med Tjeldbergoddens plassering indikert.

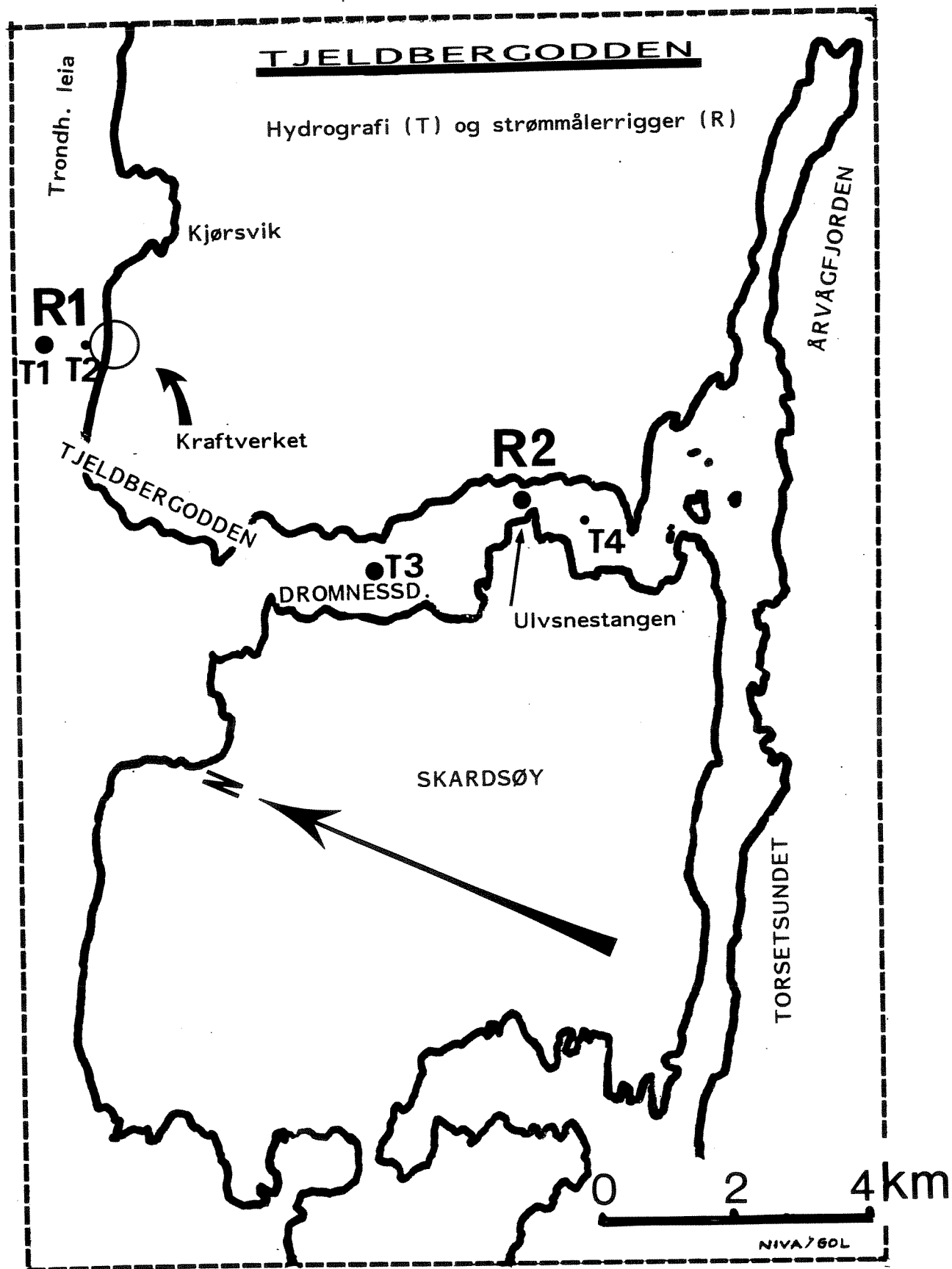


Fig. 12. Kartskisse over Tjeldbergodden og Dromnessundet i Aure kommune på Nordmøre. NIVAs måleposisjonar i 1990 og 1991 er markert.

1.2.1. Sjøresipienten

Den planlagte industrietableringa vil medføre ein viss påverknad av den nærliggande sjøresipienten. Foreliggende rapport har m.a. som formål å vurdere utstrekninga til influensområdet. Det primære influensområdet grensar til (tilhøyrer) Trondheimsleia. Både inntak og utslepp av kjølevatn/prosessvatn vil foregå der. Dette næraste sjøområdet er godt eksponert overfor sjøvatnet i sjølve Trondheimsleia, og kan teoretisk reknast å vere godt eigna som resipient. Dette har også vore konklusjonen av tidlegare rapportar som har omtalt lokaliteten på basis av tildegare foreliggende data (Miljøplan 1988, Statkraft 1989).

Aktuelle sjiktungs- og strømførhold vil bestemme influensområdet til utsleppsvatnet. Dromnessundet og Kjørsvika kan vere område der ein teoretisk kan spore lokale effekter av kjølevatet. Dette kan ha samband med t.d. tidevannsstrøm eller særskilte vindtilhøve, som medfører periodevis oppstuving eller akkumulering av kjølevatn på desse stadane. Ein viss kjennskap til, og vurdering av desse lokale resipientane er difor naudsynt.

Kjørsvika

Kjørsvika har opning mot nordvest. Lengde/breidde er av storleiksorden 1 km, og overflatearealet ca. 0.8 km². Vika har eit terskelområde i opningen, med fleire små skjær. Terskeldjupet er estimert til 7 meter. Innafor er det ei djuphole (i austre delen) med max. djup ca. 50 meter.

Dromnessundet

Dromnessundet har lengdeakse omtrent nord-sør (figur 1.2). Sundet er om lag 8 km langt, og munnar i sørenden ut i den smale og relativt grunne Årvågfjorden. Breidda varierer mellom 350 meter og 1.5 km. Det smalaste partiet er ved Ulvsnestangen. Sundet består av fleire meir eller mindre veldefinerte terskelbasseng. Djupnerisset i figur 1.3 indikerer dei viktigaste tersklane og bassenga, basert på opplysningar frå sjøkart nr. 37. Den grunnaste terskelen er i sørenden av sundet, mot Årvågfjorden. Resipienten mottar kloakk tilsvarende 140 pe, og avrenning frå 1800 da dyrka mark. Miljøvernavingdelinga i Møre og Romsdal tok vassprøver i Dromnessundet i oktober 1987. Resultata synte tilfredsstillande oksygentilhøve, men avtakande verdiar innover (sørover) i sundet (Brun og Haugen 1990).

Årvågfjorden og Torsetsundet

Årvågfjorden og Torsetsundet (figur 1.2) utgjer ein om lag 14 km lang fjordarm, og har forgreining nordvestover til Dromnessundet. Breidda varierer mellom 0.5 og 1.5 km. Største djup er 77 meter i inste delen av Årvågfjorden. Om lag 2 km frå utløpet av Torsetsundet ligg ein 8 meter djup terskel. Dette er grunnaste terskelen i det fjordsystemet vi omtalar her. Årvågfjorden og Torsetsundet mottar kloakk frå ca. 400 pe, og avrenning frå ca. 5000 da dyrka mark. Vassprøver tatt i 1985 og 1987 synte tilfredsstillande tilhøve i Torsetsundet, men dårlege djupvasstilhøve i inste bassenget i Årvågfjorden (Brun og Haugen 1990).

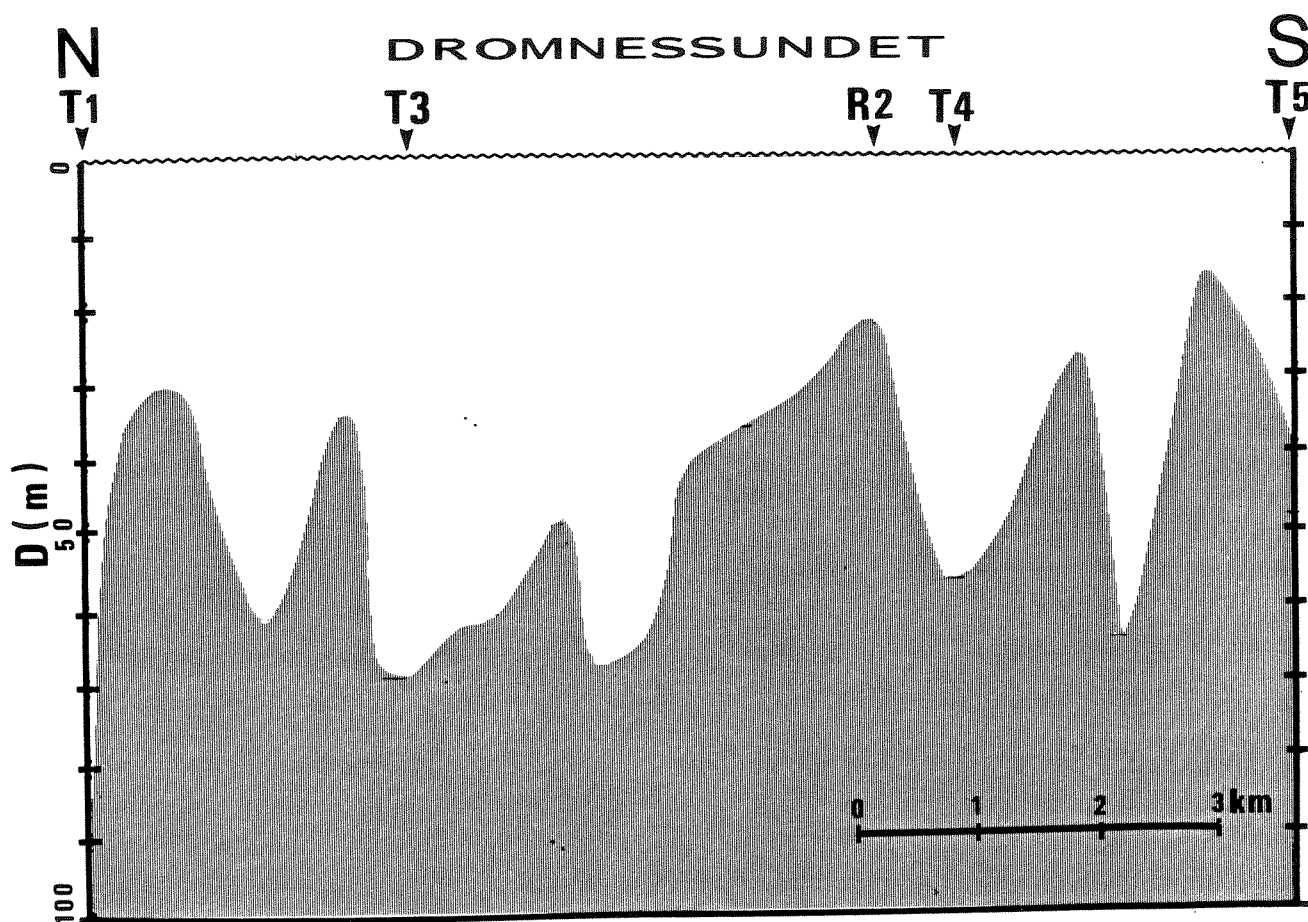


Fig. 1.3. Vertikalsnitt langs djupålen frå Trondheimsleia (Tjeldbergodden) i nord til Årvågfjorden i sør.

Årvågfjorden og Torsetsundet ligg såpass fjernt frå Tjeldbergodden at direkte påverknad frå eit utslepp der er mindre sannsynleg. Som følge av den grunne terskelen (8 meter) kan imidlertid dei djupare partia vere sårbare for auka belastning frå t.d. primærproduksjon (algevekst). Temperaturauke ved utsleppsstaden kan medføre auka primærproduksjon der, og organisk materiale kan bli ført inn i Dromnessundet, og vidare ut i Årvågfjorden.

1.3. Nokre aktuelle problemstillingar for resipientvurdering

Inntaket

For avkjølingsmaskineriet si skuld er det ønskjeleg å ha så låg, og samstundes konstant temperatur som råd på inntaksvatnet. Dette tilseier i praksis inntak av djupvatn i staden for overflatevatn. Det kan teoretisk nyttast inntak med djup som kan regulerast med årstida i høve til kvar det kaldaste vatnet finns, men dette vil innebere relativt sofistikert (og muligens sårbar) reguleringsteknologi.

På den andre sida vil ein minimalisere lengd av røyrleidningar, og storleik på pumper. Pumpene må arbeide ikkje berre mot friksjon, men mot (det hydrostatiske) trykkfeltet, både ved oppumping av (tungt) djupvatn, og nedpumping av lettare vatn. Desse aspekta tilseier at inntak og utslepp vert plassert så nær, og så grunt som råd er. Men dette aukar samstundes faren for re-sirkulering ("kortslutning"), ved at deler av utsleppsvatnet hamnar i inntaksvatnet. Plassering av inntak og utløp for kjølevatn må derfor sjåast i nær samanheng. (Drifts)kostnader må vegast opp mot driftsgevinst og miljømessige effekter.

Djupvatn som kjølevatn skaper også mindre problem med omsyn til begroing, evt. korrosjon. Begroingsproblem kan imidlertid reduserast med tilsetjing av begroingshindrande middel (t.d. klor eller ozon) i kjølevatnet (Haugen og Kristiansen, 1988). Også pulsar av ekstra varmt vatn ("sjokkbehandling") kan bidra til å fjerne begroing (Wiegel, 1964). Oppvarming av sjøvatn kan skape betre vekst- eller eksistensvilkår for ulike mikroorganismar og bakteriar/virus. Djupvatn er antatt å ha lågt innhald av mikroorganismar. Også av denne grunnen vil bruk av djupvatn til kjølevatn vere gunstigast. Større organismar som fisk kan også bli sugd inn i inntaket. Særleg dersom inntaket medfører eit vertikalt innsug. Ved særskilt utforming av inntaket som medfører mest mogleg horisontal innsuging, kan dette problemet reduserast (Wiegel, 1964).

1.4. Nokre fysiske betraktningar

Inntaksvatnet til kraftverk, eventuelt industri (tabell 1.1) vil i følgje føresetnadane bli oppvarma med 7.5°C eller 24°C (avsnitt 1.1). Det er mest sannsynleg aktuelt med eit djupvass-inntak (i 40 eller 50 meters djup). Dersom utsleppet ligg grunnare enn inntaket, vil inntaksvatnet sannsynlegvis vere noko saltare (avheng av aktuell sjikting) og dermed tyngre enn vatn i omgjevnadane til utsleppet. Utan oppvarming ville det synke tilbake, og innlagre seg nær inntaksdjupet. Oppvarminga tilfører imidlertid vatnet oppdrift, slik at det vil bli innlagra høgre i vassøyla. Kor høgt vatnet stig før innlagring, vil avhenge av aktuell sjikting (vertikalfordeling av salinitet og temperatur), samt den aktuelle blandings/fortynningsprosessen.

1.4.1. Hydrografiske tilhøve i resipienten

Figur 1.4 syner eit såkalla T-S (temperatur-salinitet) diagram. Innafor eit slikt diagram kan ulike sjøvasstyper lett definerast. I figuren er overflatevatn og djupvatn for h.h.v. vinter og sommar representert ved små skraverte kvadrat som tilsvarar gjevne (sannsynlege) temperatur-salinitet område. Diagrammet inneheld også kurver (iso-linjer) for sjøvatnets densitet (tetthet, gitt som $\sigma_t = \text{kg/m}^3 - 1000$), som er ein funksjon både av salinitet og temperatur.

Figur 1.4 illustrerer effekten av oppvarming ($dT = +7.5^{\circ}\text{C}$) av djupvatn. Det er forskjellen i densitet mellom overflatevatn og oppvarma djupvatn som primært avgjer om utsleppsvatn kan nå overflata eller ikkje. Aktuell lagdeling og T-S vertikalfordeling bestemmer korleis fortynning og innlagring skjer.

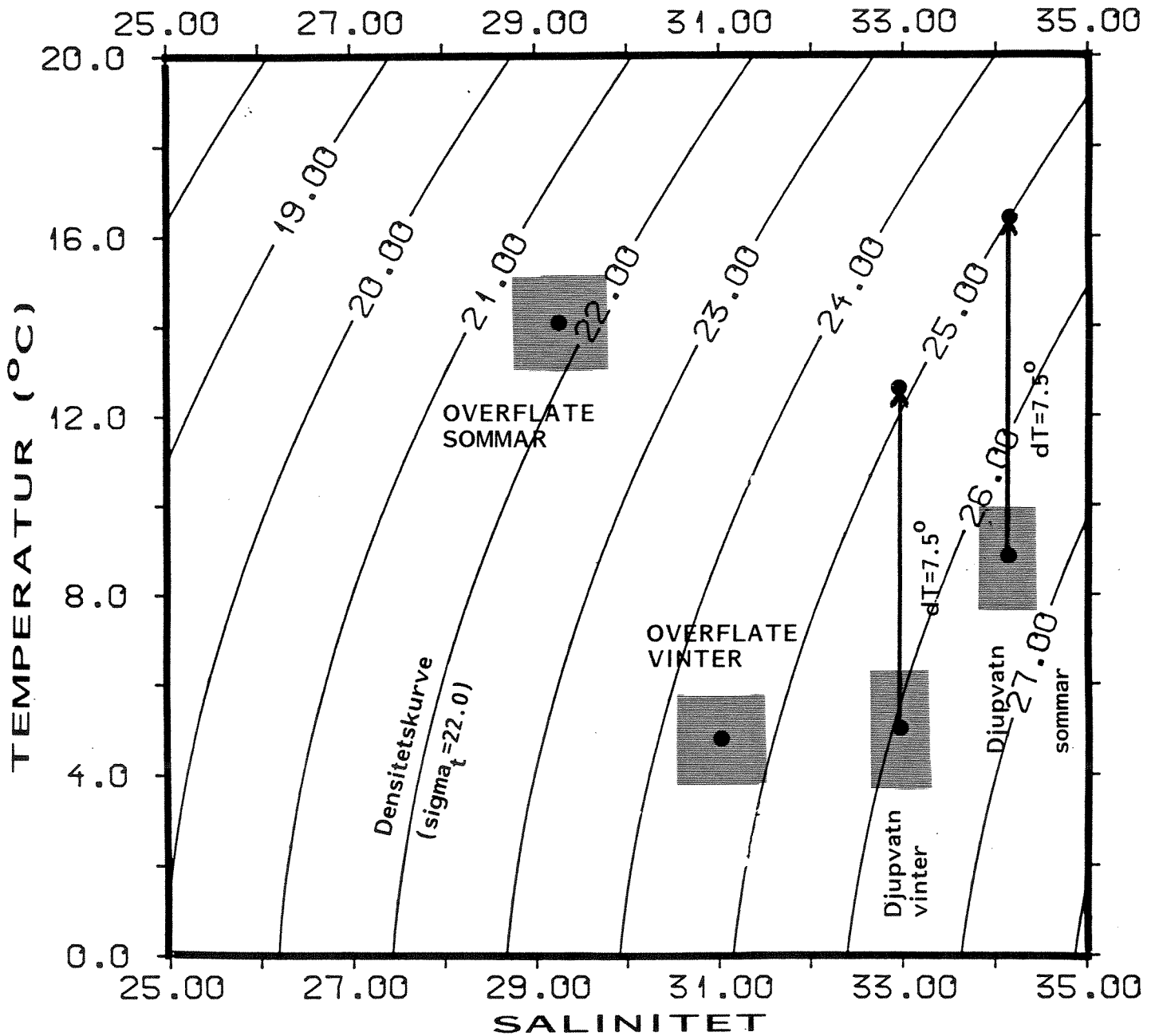


Fig. 1.4. Skjematisk T-S diagram som syner ulike vassstyper for sommar og vinter i ein kystresipient. Iso-linjene viser sjøvatnets densitet ($\text{kg/m}^3 - 1000$). Effekten av oppvarming av inntaksvatn (djupvatn) er illustrert. Densitetsreduksjonen er størst om sommaren, men det omjevande vatnet er då samstundes mest sjikta.

Ved oppvarming blir inntaksvatnet lettare. På grunn av den ikkje-lineære effekten av både temperatur og salinitet på sjøvatnets densitet (iso-linjene for σ_t er ikkje rettlinja), vil ein gitt oppvarming innebere ulik densitetsreduksjon sommar og vinter. Reduksjonen er litt mindre om vinteren, slik figur 1.4 antydar. I T-S diagrammet er den skisserte forskjellen ca. 1.0 kg/m^3 om vinteren (endring frå $\sigma_t = 26.0$ til ca. 25), og 1.5 kg/m^3 om sommaren (endring frå 26.5 til 25). Om vinteren er imidlertid sjiktinga svakare, som indikert i fig. 1.4. Trass i mindre densitetsreduksjon p.g.a. av oppvarminga, er risiko for innlagring av oppvarma kjølevatn nær overflata størst i ein typisk vintersituasjon.

Densiteten til sjøvatnet, og dens funksjonelle sammenheng med salinitet og temperatur står sentralt i dei berekningane av innlagringsdjup for utsleppsvatnet som blir gjort seinare i rapporten. Endring i densitet $d\sigma$ frå ein gitt verdi σ_0 er bestemt frå uttrykket

$$d\sigma = \sigma_0(\alpha dT + \beta dS),$$

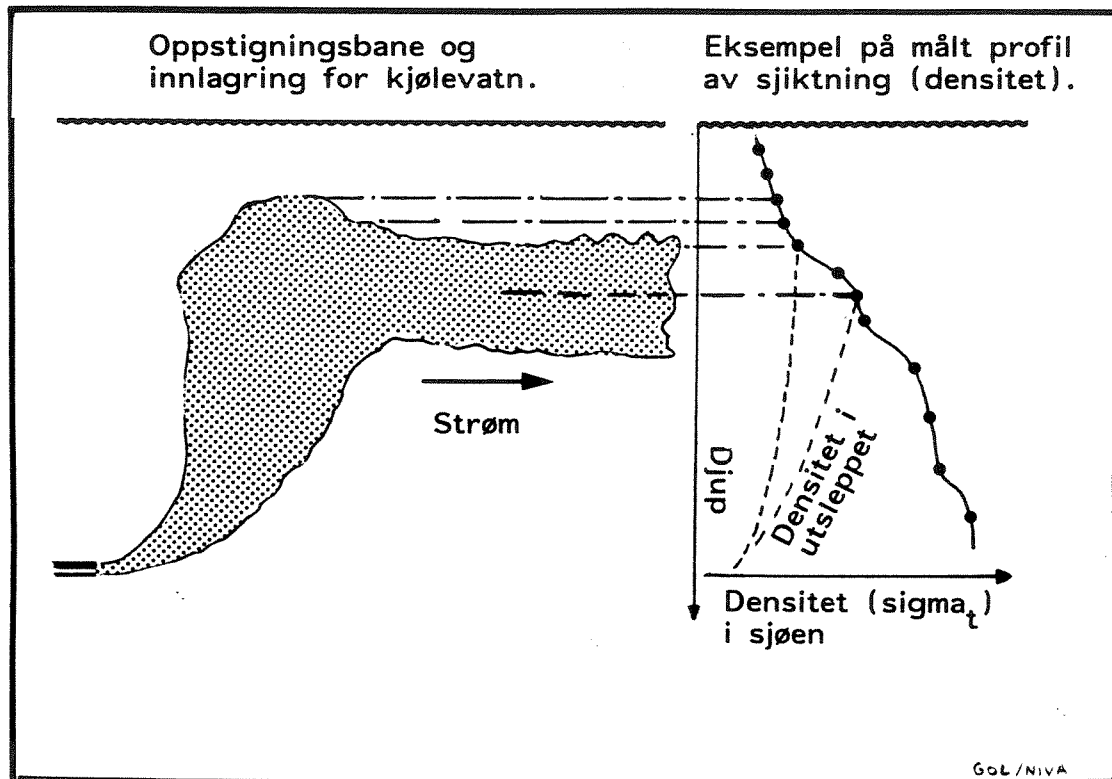
der α er den termiske ekspansjonskoeffisienten ($1/\sigma d\sigma/dT$) og β er den tilsvarende haline ekspansjonskoeffisienten ($1/\sigma d\sigma/dS$), og dT , dS representerer endring i h.h.v. temperatur og salinitet. Både α og β sin verdi avheng av aktuelle hydrografiske tilhøve. Typiske verdiar for norske kystfarvatn er $\alpha = 1.5 \times 10^{-4}/\text{K}$ og $\beta = 8 \times 10^{-4}$ (Sündermann 1986). Endringar i salinitet har dermed relativt sett langt større effekt på densiteten enn endringar i temperatur i norske farvatn. (Dette er for øvrig det motsette forhold av det ein finn i tropiske farvatn. Fysisk påverknad av kjølevassutslepp på ein resipient vil derfor kunne ha merkbart større effekter i tropiske strøk enn t.d. i norske farvatn).

1.4.2. Utslepp og effekter

Frå eit neddykka utslepp slik det er tale om, vil kjølevatn som er lettare enn det omjevande vatnet, stige oppover i vassøyla. Figur 1.5 syner ei skisse av korleis forløpet av oppstiginga, og påfølgjande innlagring kan skje. Under oppstiginga, som er oppdriftskontrollert, skjer såkalla **primærfortynning**. Dersom oppdrifta er stor nok, kan utsleppsstrålen nå heilt til overflata. I det eksempelet som er skissert i figuren, skjer det ei innlagring under overflata.

Etter at innlagring har funne stad, inntretr såkalla **sekundærfortynning**. I denne fasen spreier det fortynna utsleppsvatnet seg horisontalt. Dersom der ikkje er strøm i resipienten, vil denne spreinga skje radielt ut frå innlagringspunktet d.v.s. likt i alle retningar. I det skisserte høvet er det også ein viss horisontal strøm, som medfører asymmetrisk spredning av kjølevatnet. Figur 1.5 syner også densitetsprofilen som eksempelet er basert på.

Utslepp av kjølevatn kan medføre ei rad effekter for marin flora og fauna i resipienten. Ein tilstrebar derfor rask fortynning og liten risiko for såvel resirkulering i inntaket, som negative miljømessige verknader. Det ligg ikkje innafor ramma til det foreliggende prosjektet å diskutere miljømessige aspekt, ut over endringar i reint fysisk tilstand til resipienten. Vidare miljømessige verknader vil m.a. avhenge av i kva djup, evt. av kva tid på året endringane er størst. I dette ligg det at eit kvart val av inntaks- og utsleppsdjup/stad vil kunne medføre effekter som avheng av årstid. Ved to alternativ som evt. medfører tilnærma like effekter, må ein i neste omgang sjå på tidsaspektet, og vurdere vidare konsekvensar t.d. for lokalklima, eller biologi.



Figur 1.5. Skisse av forløp for oppstigning og innlagring av kjølevatn i ein sjikta resipient med horisontal strøm.

Lagdeling (sjikting) i sjøen og strømforholda vil bestemme kor stor utstrekning influensområdet vil ha. Både inntak og utslepp av vatn vil påverke resipienten. I praksis kan ein rekne påverknad forårsaka av inntaket ("fjerning" av sjøvatn i inntaksdjupet) som neglisjerbar for det sjøområdet som blir vurdert i denne rapporten.

Resipientpåverknaden kan ein difor anta i det vesentlegaste skuldast kjølevassutsleppet. Dette utsleppet vil i størst grad påverke sjøtemperaturen. Som ein sekundær effekt kan ein rekne endring i sjiktingstilhøve, evt. også i strømforhold. Teoretisk kan influensområdet strekke seg ut i "uendeleg" avstand frå utsleppsstaden. Av praktiske omsyn må ein setje ein viss øvre grense for temperaturauken, for at påverknad/endring i resipienten kan kallast signifikant, og for at eit geografisk influensområde skal kunne definerast. Det er i denne samanheng operert grenser for 0.5°C og 1.0°C overtemperatur.

2. MÅLEPROGRAM

Målingane i sjøen ved Tjeldbergodden starta i mars 1990. Målingane har bestått av strømmåling i to posisjonar, og hydrografisk kartlegging (salinitet og temperatur) på faste stasjonar. Lokal observatør har stått for måling av hydrografi.

2.1. Hydrografi

Hydrografisk kartlegging blei foretatt med 1 - 2 veker mellomrom ved Tjeldbergodden og i Dromnessundet. Det blei målt frå overflata og til botn, eventuelt til max. kabellengde for måleinstrumentet. Stasjonane T1, T2 og T3 utgjorde det faste stasjonsnettet (figur 1.2). Ved nokre høve blei det også målt lenger inne i Dromnessundet, og i Årvågfjorden. Etter ein mellombels pause hausten 1990 starta måleprogrammet opp att for å få ein heil årsserie med hydrografiske målingar. Tabell 2.1 syner måletidspunkta for hydrografi.

Tabell 2.1. Oversikt over NIVAs måleprogram for hydrografi på lokalitet Tjeldberg-odden (T) i 1990 og 1991. Periodene med strømmåling er også angitt (...).

↓MÅNED↓	1111111111									2222222222									33	> DAG				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1		
MARS '90									T											T	.....	T	.....
APRIL '90										..T	.....	T	.....	T	.....							T	.....
MAI '90										T	.....	T	.....								T		T	
JUNI '90																							T	
JULI '90																								T
AUGUS '90																								T
SEPT '90										T	.....										T	.....	
OKT '90										TT														
NOVEM '90																								T
DESEM '90																								T
JANUA '91																								T
FEBR '91																								T

2.1.1. Metode og instrument

Med Salinotermsonde blei det målt (frå ein båt) med ein meters intervall ned til 10 meter, og så med større faste djupneintervall vidare nedover til botn, evt. til max. lengde på sondekabelen (80-90 meter). Denne sonden må innstillast (ballanserast) og avlesast manuelt. Ved NIVAs synfaringar har det også blitt profilert med ei sjølvregistrerande sonde, av type Simtronix UCM-40. Denne ultralyd strømmålaren måler med programmert tidsintervall salinitet, temperatur og trykk (=djup), i tillegg til horisontal og vertikal strøm. Data blir lagt direkte inn på medbrakt PC, via signalkabel frå sonden og opp i båten.

Delvis har ei sjølvregistrerende sonde av type Sensordata SD200 blitt nytta til datainnsamling. Denne sonden er svært enkel i bruk. Den kan firast ned i eit snøre til ønska max. djup. Måleverdier, inkludert djup (omregna frå målt trykk), blir logga internt i sonden i eit lite dataminne, som så kan avlesast via PC etter toktet. Start og stopp av logging foregår ved hjelp av magnet.

Hydrografiske parametrar (salinitet og temperatur) har også blitt målt samstundes med strøm med dei faststående instrumenta (neste avsnitt). På denne måten har ein fått eit bilete av korttidsvariasjonar i S og T, om enn berre i dei aktuelle måledjupa og måleperiodene for strøm.

2.2. Strømmåling

Strømmåling blei utført i ein posisjon R1 ved Tjeldbergodden, og i ein posisjon R2 ved Ulvsnestangen inne i Dromnessundet (figur 1.2). Første måleperiode var 20/3 - 16/5 1990 (kun i posisjon R1). Andre måleperiode var 17/8 - 1/10 1990 (både i posisjon R1 og R2). Måleperiodene er angitt i tabell 2.1.

2.2.1. Metode og instrument

Måleriggen R1 hadde i begge måleperioder to måleinstrument. Eit instrument hang under overflatebøyn nær overflata, i 4.5 m djup. Det andre instrumentet stod i ca. 40 m djup. Dette instrumentet hadde eigen oppdrift, med undervannsbøyer som løfta instrumentet klar av botn. I posisjon R2 (Dromnessundet) blei det nytta kun eit måleinstrument, som hang under overflatebøya i ca. 4 meters djup.

På R1 ved Tjeldbergodden blei det nytta to-punkts forankring til botn, på R2 kun einpunkts forankring. Kvart blotnodd vog om lag 100 kg. Kvar rigg hadde for øvrig stor overflatebøye påmontert mast og blinklys. Rigg R1 hadde eit havari den 14. september. Rigg og instrument blei dradd under, og rigg inkludert målarane blei liggande på botn. Alt utstyr blei tatt opp og satt ut med ny overflatebøye den 17. september. Dette medførte ein tredagars periode med mangelfull datainnsamling.

Til strømmåling i forankra rigg blei det nytta instrument av type Aanderaa RCM 5 eller RCM 7. Instrumentet måler med fastsatt mellomrom (15 minutt i vårt tilfelle) strømfart, strømrøtning, samt sjøens temperatur og salinitet (konduktivitet). Strømfart blir registrert ved hjelp av omdreiningane til ein såkalla savonius-rotor på toppen av instrumentet. Strømrøtning blir registrert ved hjelp av eit innebygd kompass, ut frå orienteringa til det påmonterte roret.

Savoniusrotoren krev ein minste strømfart på mellom 1 og 1.5 cm/s for å kunne rotere. Svakare strøm enn dette blir såleis registrert som "null" strøm. Dette har ikkje vore noko problem for dei aktuelle måleseriane, sidan det for det aller meste har vore vesentleg sterkare strøm enn dette. Alle data blir lagt inn på ein audiotape, eller inn på ei elektronisk lagringseining ("DSU"), som lett lar seg fjerne frå instrumentet. Måledata er så overspelt til PC for vidare EDB og analyse.

Vertikalprofilering, med måling av salinitet og temperatur, kombinert med strøm- og strømretning, blei utført med målesonde av type Simtronix UCM-40. Slike målingar blei gjort kun i samband med utsetting og opptak av måleriggane. Med båten fortøyd i riggen, blei det profilert med sonden frå overflata og ned til botn.

Simtronix UCM-40 kan innstillast på måleintervall frå ca 0.1 sekund til fleire timar, og er såleis eigna både til profilering (korte tidsintervall) og til langtids datainnsamling, gjerne forankra i rigg. Sonden måler temperatur og salinitet etter same prinsipp som Aanderaa RCM strømmålarane. Strømfart blir målt akustisk, i alle tre rom-retningar (X Y Z). Sonden har stor målepresisjon (på mm/sek skala) i strømfart, og kan detektere svært svak strøm, i motsetnad til Aanderaa målarane, som ikkje registrerer strøm under ein gitt grense (1.1, evt. 1.5 cm/s).

2.3. Andre registreringar.

I tillegg til målingane som er nemnt foran, er det blitt gjort strømkorsforsøk i samband med utsetting og opptak av måleriggar. Desse forsøka har gått ut på å utplassere eit ti-tals strømkors langs ei rett line ut frå land i ulike posisjonar. Driftvegen til dei ulike korsa blir så registrert visuelt, og loggført ved hjelp av peilekompass. Slike forsøk gjev eit bilete av strøm og strømskjær i det aktuelle måletidsrommet. Men det er store usikkerheiter ved slike målingar. Det må svært omfattande registreringar til dersom ein skal få eit bilete av strømfordeling og variasjon både i tid og rom. Mellom anna kan det forventast markerte forskjeller mellom strøm i overflata og djupare nede i vassøyla. Ei fullstendig kartlegging av slike forskjeller vil krevje fleire seriar med kors i ulike djup på same tid og stad, noko som har vore urealistisk innafør ramma til det foreliggende prosjektet.

Vêrobservasjonar er henta frå Ørlandet stasjon, som bør vere representativ for tilhøva ved Tjeldbergodden. Det er særleg vinddata som er interessante, i samband med analyse av strømmålingane.

3. PRESENTASJON AV MÅLEDATA

Dei fleste figurane der måledata er framstilt er lagt inn i appendiks bak i rapporten. Der årstal i samband med datoar er utelatt i presentasjonen, er året 1990 underforstått.

3.1. Hydrografi

Datamaterialet for hydrografi dannar grunnlag for fleire analyser. Materialet er viktig ved vurdering av temperaturtilhøve i tenkt inntaksdjup for kjølevatn. Vidare inngår datamaterialet i modellberekningar for utsleppsvatnet. Dessutan gjev materialet generell informasjon om utskiftingstilhøve m.m. i resipienten.

3.1.1. Tidsutvikling, isopletframstilling

Hydrografiske data (inkludert berekna σ_t) frå perioden februar 1990 til og med februar 1991 er presentert som isopletdiagram i figur 3.1.a (T1) og figur 3.1.b (T3). Den mest karakteristiske forskjellen i hydrografiske parametrar mellom T1 og T3 er det markerte sprangsjiktet rundt 40 meters djup på T3, som skuldast terskelen til det aktuelle bassenget i Dromnessundet. Djupvatnet i Dromnessundet gjennomgår tilsynelatande kun små hydrografiske endringar i måleperioden. Stagnerande djupvatn kan indikere ei viss grad av sårbarheit for tilførsler av organisk stoff (jmfør avsnitt 1.2.1). I januar og februar 1991 var det teikn til ei total gjennomrøring, med homogenisering av heile vassøyla.

På stasjon T1 (figur 3.1a) var det mindre grad av lagdeling å spore. Perioden juli-september hadde mest markert sjikting. Periodevis framtrådde eit sprangsjikt mellom 3 og 6-8 meters djup, og eit sekundært sjikt rundt 30-35 meters djup. Av temperaturdiagrammet (øverste ramme i figur 3.1a) framgår det at månadsskiftet august-september 1990 hadde høgast overflatetemperatur, med over 14.5°C. Nedover i djupet opptrådde maksimumstemperaturen seinare enn i overflata. For sjiktet på 40-50 meters djup dreide tidsforseinkinga seg om 2-3 veker i høve til i overflata. Vinteren 1991 hadde om lag 2°C lågare sjøtemperatur enn foregåande vinter (begge stasjonane).

Overgang frå typisk vintertilstand til sommartilstand skjedde relativt brått og samstundes ved begge stasjonane T1 og T3. Overgangsperioden varte frå slutten av mai og i 3-4 veker utover i juli. Ei tilsvarende periode med overgang frå sommar- til vintertilstand fann stad i november. Varigheita av denne siste overgangsfasen kan ikkje fastslåast nøyaktig, på grunn av manglande observasjonar.

Statistisk fordeling av temperatur i ulike djup på stasjon T1 er synt i figur 3.2, med middelvei og max/min verdi for kvar 5. meter nedover i sjøen. Hovudtyngda av profilane låg mot den kaldare delen av skalaen. Minimumstemperaturane låg i intervallet 4-5°C (kaldast i overflata). Middelttemperaturen i djupneintervallet 30-60 meter var 7.5-7.8°C.

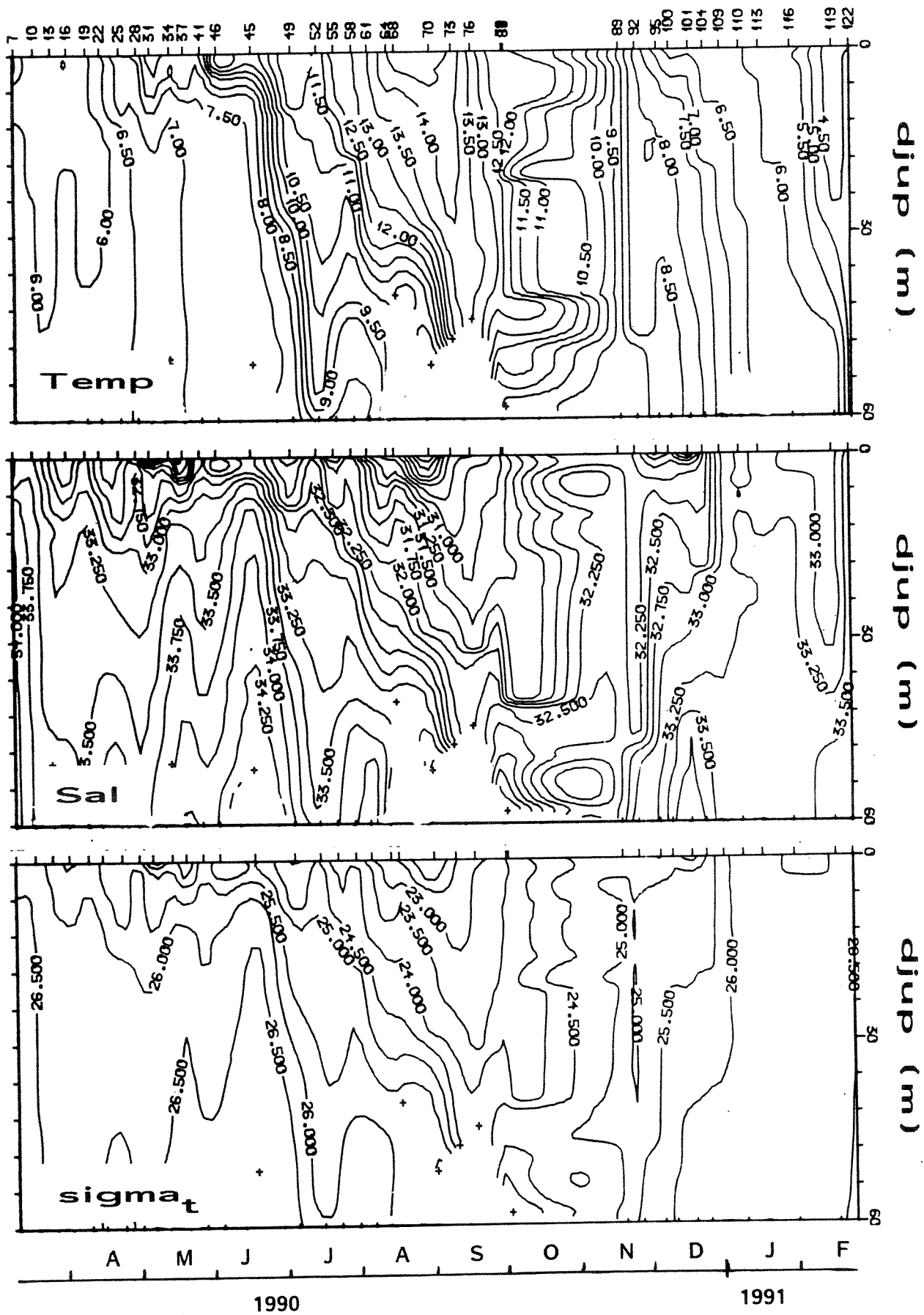


Fig. 3.1a. Isopletdiagram for sjøens temperatur, salinitet og tettleik (sigma_t) for perioden mars 1990-februar 1991 ved Tjeldbergodden (stasjon T1).

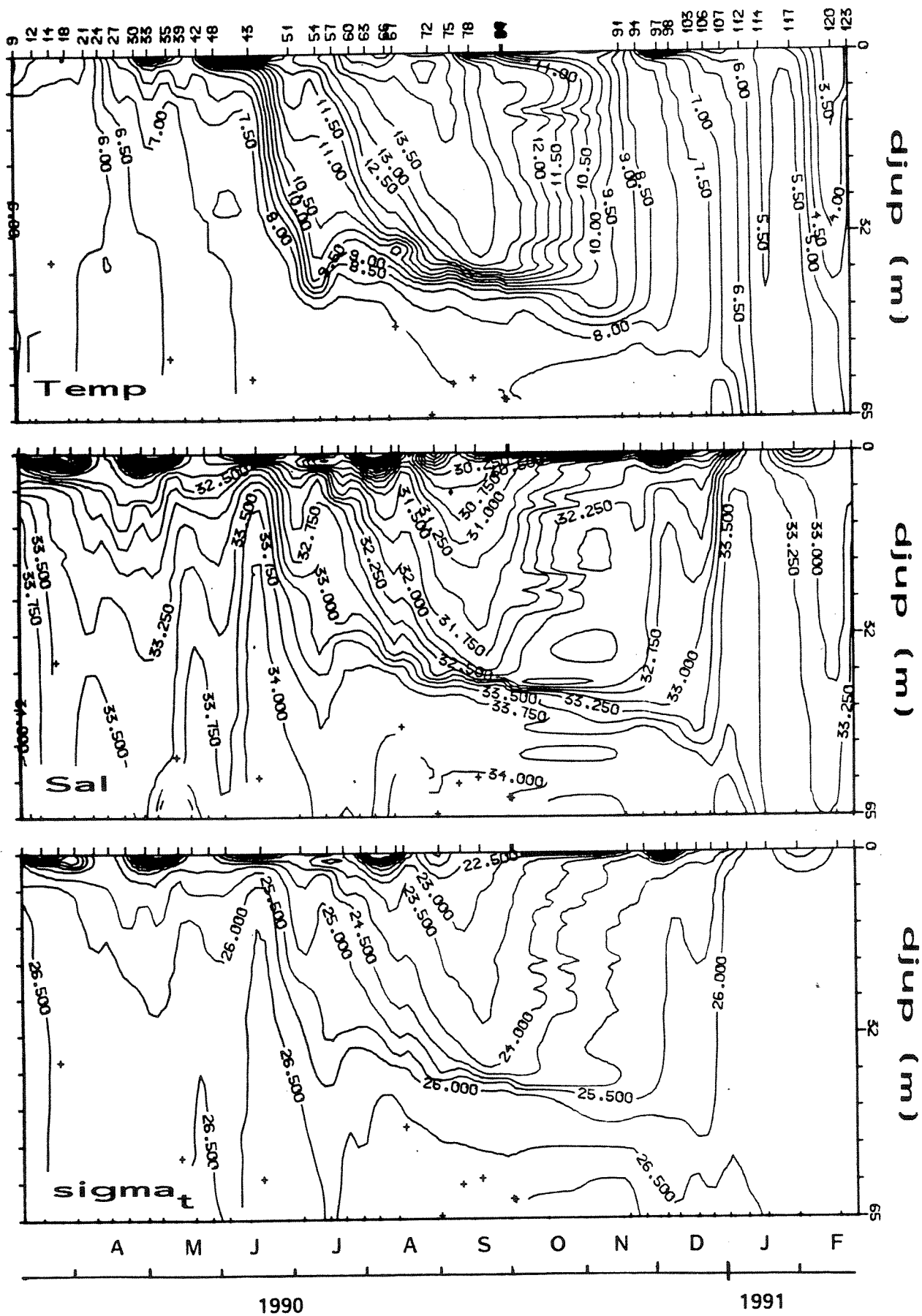


Fig. 3.1b. Isopletdiagram for sjøens temperatur, salinitet og tetthet (sigma) for perioden mars 1990-februar 1991 i Dromnessundet (stasjon T3).

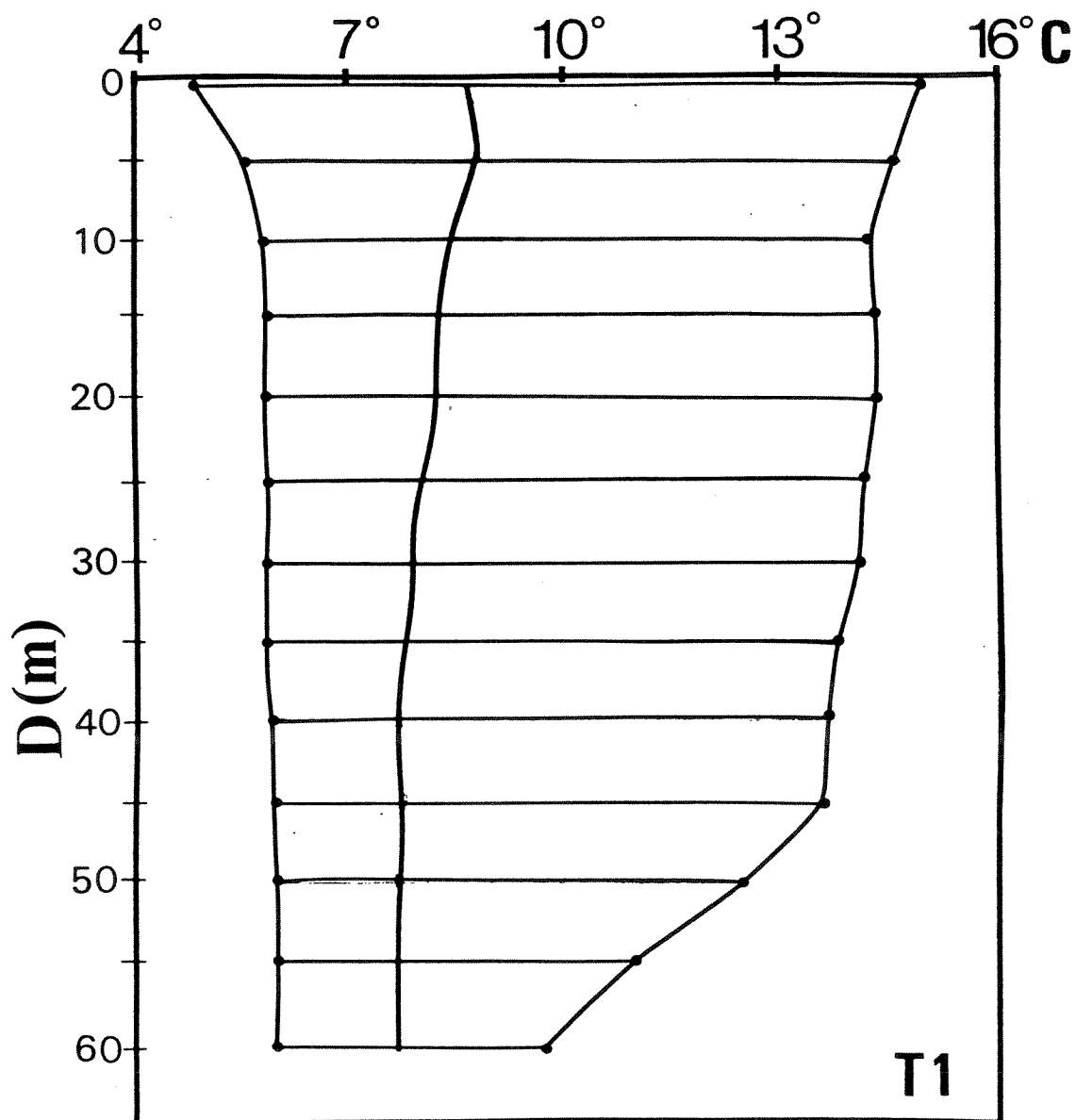
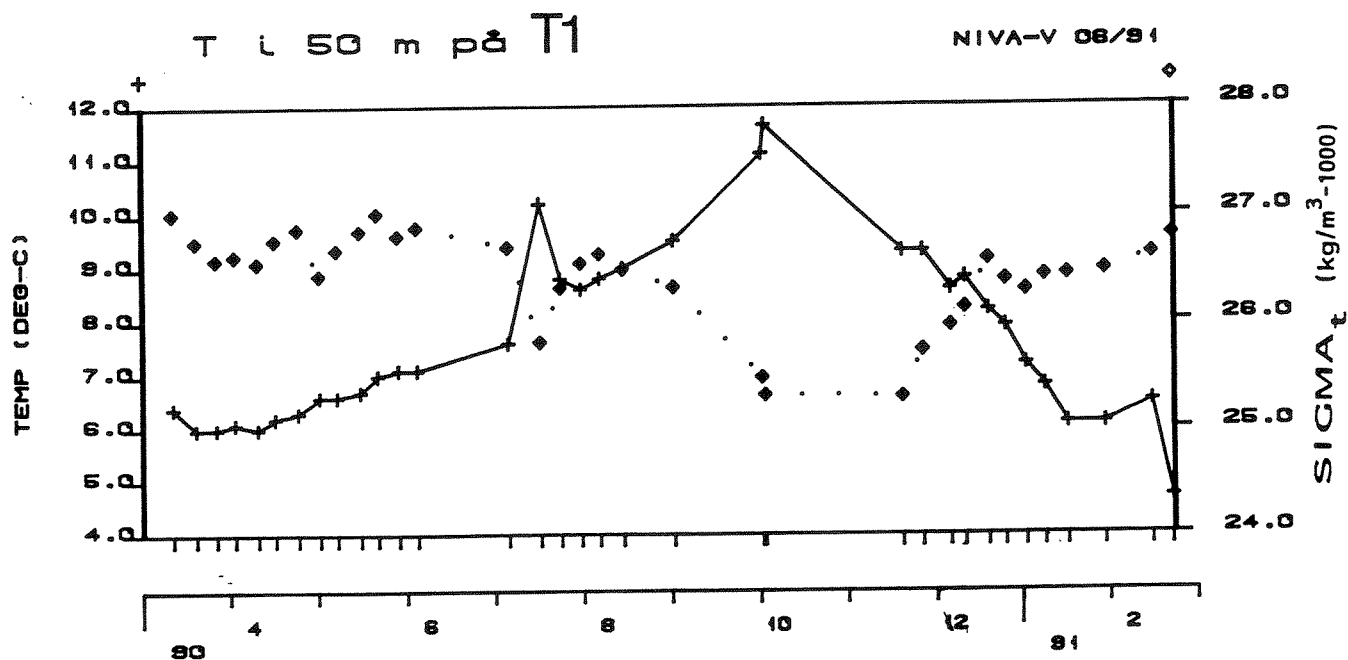


Fig. 3.2. Statistisk fordeling av sjøens temperatur (min, middel og max) for kvar 5. meter ved Tjeldbergodden. Periode mars 1990 til februar 1991.

3.1.2. Temperaturkurver for ulike djup

Målt sjøtemperatur i 50 m djup (sannsynleg inntaksdjup) på stasjon T1 er synt i figur 3.3. Tidsutvikling for σ_t er også framstilt. Forutan variasjonen frå årminimum til årsmaksimum, framtrer også mindre, men tydelege korttidsvariasjonar.



Figur 3.3. Tidsutvikling av målt sjøtemperatur (heiltrukken linje), samt sjøens densitet (σ_t) i 50 meters djup ved Tjeldbergodden i perioden mars 1990 til februar 1991.

Tidsutvikling i 10m, 20m, 30m og 40 m djup er synt i figur A1 i appendiks. Både den generelle utviklinga og detaljar omkring sjøtemperaturane blir diskutert i seinare kapittel.

3.1.3. Målingar med faststående instrument

Salinitet og temperatur blei registrert av strømmålarane i riggposisjon R1 (mars-mai og august-september 1990) og R2 (kun august-september 1990). Med måleintervall på 20 minutt, gjev dei resulterande tidsseriane eit godt bilete av både korttidsfluktusjonar og langtidstrender (på skala intil 1-2 månader).

Måleresultata er presentert i figur A2 til A6 i appendiks. Dei viktigaste resultatane frå observasjonane av salinitet og temperatur i måleperiodene har vi framstilt i tabellform (Tabell 3.1.), i form av max. og min. verdiar, samt middelveidiar for kvar måleserie. På R1 låg fluktusjonane på lengre tidsskala (måleperioden) innafor 3.0 ‰ i salinitet og ca. 5°C i temperatur. I Dromnessundet var det ca. 0.8 ‰ lågare middelsalinitet i 4 meters djup enn ved R1 i same periode (august- september). Sjå fig. A6 i appendiks. Samtidig var middeltemperaturen 0.4°C høgare i Dromnessundet.

I dei framstilte tidsseriane (figur A-3.9) framtrer fluktusjonar av storleiksorden 1 ‰ i salinitet og 2°C i temperatur over tidsrom på 2-4 timar. Periodevise variasjonar over 3-4 dagar framtrer også. Dei sistnemnde variasjonane har sannsynlegvis samanheng med passerande lavtrykk, som påverkar både strøm og hydrografi på kysten.

Tabell 3.1. Maksimum, minimum og middel for målt temperatur og salinitet i periodene 20. mars - 15. mai 1990 og 17. august - 1. oktober 1990 ved Tjeldbergodden.

Posisjon	Instr.	Djup	Smin	Smax	Smid	Tmin	Tmax	Tmid
Vår-perioden:								
Tjeldbergodden	R1 183	4m	30.1	33.0	31.6	5.0	9.2	6.3
"	" 9000	40m	32.6	34.2	33.6	5.6	7.0	6.2
Haustperioden:								
Tjeldbergodden	R1 269	4m	29.2	32.1	31.0	11.9	15.3	13.9
"	" 276	40m	31.4	34.2	32.6	8.9	14.2	12.2
Dromnessund	R2 9704	4m	28.4	31.6	30.2	12.5	15.7	14.3

3.2. Strømmåling

Strømmålingar blei stort sett basert på måling med instrument som var fast plassert i målerigg i lange perioder. På ulike tidspunkt blei det i tillegg foretatt kontinuerleg måling/profilering av strøm nedover i djupet. I tillegg blei det foretatt strømkorsforsøk. Resultat av dei ulike målingane blir her presentert i kvart sitt avsnitt i det følgjande.

3.2.1. Målingar med faststående instrument

POSISJON R1 VED TJELDBERGODDEN

Måleperiodene var 26. mars til 14. mai, og 17. august til 1. oktober 1990. Resultat frå strømmålingane er kortfatta presentert i tabell 3.2. Strømmen kan veksle fram og tilbake i ein måleposisjon. Typisk årsak til dette er det halvdaglege tidevatnet, men det kan også vere tale om veksling på andre tidsskalaer. Varigheit og styrke til strøm med ei gitt retning gir nyttig informasjon om transportdynamikk og influensområde for t.d. kjølevatn. Vanleg statistisk analyse av ein heil måleserie vil lett maskere opplysningar om slike vekslingar.

4 meters djup, posisjon R1

I 4 meters djup ved Tjeldbergodden var maksimal målt strømsstyrke 80 cm/s, tilsvarande 1.55 knop (figur A7). Middel strømsstyrke var 13 cm/s (vår) og 16 cm/s (haust). Der var ingen langvarige perioder med svak strøm (kun knytta til veksling i tidevatn). Strømsterke perioder var i regelen knytt til nymåne eller fullmåne. Den strømsterke perioden frå 12/9 (rigghavariet, fig. A10) låg imidlertid mellom desse fasene. Sannsynlegvis var det meteorologiske faktorar som forårsaka denne sterke strømmen (det var kraftig vind den 14/9). Nettostrømmens styrke var av storleiksorden 8-10 cm/s både vår og haust. Nettostrømretningen var mot nordaust i begge måleperiodene (fig. A8 og A12).

40 meters djup, posisjon R1

Maksimal strømsstyrke var 42 cm/s (figur A9), eller om lag halvparten av maksimum for overflatestrøm. Middelstrømmen var 6 cm/s (vår) og 7 cm/s (haust).

Dominerande strømretning var mot aust-nordaust, d.v.s. "nordover" Trondheimsleia forbi Tjeldbergodden både vår og haust. Det var imidlertid fleire lengre perioder då strømmen gjekk vestover. Mest markert i så måte var dei siste to vekene av vårperioden (2/5 til 14/5). Også perioden 21/4-23/4 hadde netto vestgåande strøm i 40 meters djup.

I haustperioden var nettostrømmen meir varierende over tid enn om våren. For måleperioden sett under eitt gjekk nettostrømmen austover. Men innimellom var det kortare perioder (1-2 døgn) med vestoverretta nettostrøm, slik tilfellet også var i vårperioden. Andre perioder hadde svak eller ingen nettostrøm (5/9-13/9 og 24/9-28/9).

Figur A13 gjev ein indikasjon på statistisk forskjell i strømstyrke mellom 4 meter og 40 meter djup (for haustperioden).

POSISJON R2 I DROMNESSUNDET, 4 METERS DJUP

Målingane i Dromnessundet omfatta kun haustperioden. Maksimal målt strømstyrke var 18 cm/s den 14/9 (figur A14), for øvrig samstundes med at det var sterk strøm også på R1. Strømmen var stort sett retta ut sundet, d.v.s. retning mot nord. Dette høver kvalitativt sett bra med omtalen av strømforholda i sundet i "Den norske los", bd. IV. I kortare perioder var imidlertid strømmen retta inn sundet. T.d. perioden 18/8-20/8. Andre perioder hadde tilnærma null nettostrøm gjennom sundet (f. eks. perioden 22/8-25/8). Netto strømfart for heile måleperioden var av storleiksorden 2 km/dag, tilsvarende ca. 2.2 cm/s.

Tabell 3.2 Oversikt over nokre statistiske verdiar for måleseriane for strøm ved Tjeldbergodden og i Dromnessundet i 1990.

Posisjon	Instr.	Djup	Vmax (cm/s)	Vmid (cm/s)	Domin. retn.
Vår:					
Tjeldb.	R1 183	4m	80	13	75°
--" --	R1 9000	40m	42	6	270°(75°)
Hautst:					
Tjeldb.	R1 269	4m	57	16	75°
--"--	R1 276	40m	38	7	100°
Dromnessund	R2 9704	4m	18	4	340°

3.2.2. Vertikal strømfordeling

Vertikalprofilering med den akustiske strømmålaren UCM-40 blei foretatt i samband med utsetting og opptak av måleriggane (ikkje i oktober). Med båten forankra i riggen, blei sonden langsamt firt ned gjennom sjøen. På denne måten fekk vi eit profil av strømmens retning og fart nedover i sjøen. Båt og rigg låg sjeldan heilt i ro. Dette medfører at alle profilane har ein del signalstøy. Likevel ga dei nyttig tilleggsinformasjon, sjølv om noka detaljert analyse av dette datamaterialet ikkje er blitt gjort.

Ved Tjeldbergodden (T1) var det ved tre ulike observasjons-tidspunkt (mars, mai, august 1990) eit markert skilje mellom strømsstyrke i dei øverste 10-15 metrane og den djupare delen av vassøyla. Reduksjon i strømsstyrke frå overflata nedover til 10-15 m djup, var tilnærma kontinuerleg (konstant gradient).

Målingane 17. august synte strøm av rundt 30 cm/s styrke nær overflata (figur A15). Nedover til 15 meters djup var strømrøtninga om lag 75° (mot aust-nordøst). Frå 15 meters djup og nedover skifta strømmen retning til vest. At det dreide seg om eit reelt strømskilje rundt 15 meters djup, er indikert av strømfarten, som der var tilnærma null (figur A15). Vidare nedover låg strømsstyrken rundt 4-6 cm/s ned til 40 meters djup, som var max. måledjup med sonden. Strømmen som sonden målte i 4 og 40 meters djup samsvarar for øvrig godt med registreringane som dei to faststående instrumenta gjorde samtidig.

Ved Rigg 2 (Dromnessundet) synte profileringa like etter utplassering av riggen den 17/8 strøm med retning vest til nordvest (retning mot Trondheimsleia) ned til 4-5 meters djup, og med **motsatt retning** djupare nedover mot terskelen (figur A16). I 0-3 meters djup var strømsstyrken rundt 18 cm/s. Eit sjikt med svak strøm i 3-4 meters djup indikerer at strømsreverseringa skjedde der. Eksakt null strøm blei ikkje målt i dette sjiktet, på grunn av at sonden med 2 sekunds tidsmidling har fått med verdiar frå både over og under det sannsynlege nullstrømsjiktet.

Den fast forankra strømmålaren i 4 meters djup (posisjon R2) synte i det aktuelle tidsrommet (like etter utplassering) retning vest til nord, i samsvar med det den profilerande målesonden synte. Instrumentet i 4 meters djup (som generelt synte nordgåande strøm), har sannsynlegvis stort sett registrert strøm tilhøyrande det øvre laget. Den vekslinga i strømrøtning som tidvis blei registrert, skuldast sannsynlegvis at det øvre laget periodevis var tynnare, slik at målaren då registrerte strømmen i nedre lag.

Målingane med den akustiske sonden har stadfesta at strømmen til ei viss grad er lagdelt både ved Tjeldbergodden og inne i Dromnessundet. Vanlegvis er det strømmen i øvre lag som folk er merksame på, og som er omtalt i t.d. "Den norske los". **Våre målingar har synt at strømrøtninga i tildels lange perioder har motsatt retning i øvre lag og i sjikt djupare nede.**

3.2.3. Strømkorsforsøk

Ein del resultat frå eksperiment med drift av strømkors i øvre lag av sjøen er presentert i figur A17 og A18. Det blei foretatt eksperiment på følgjande datoar: 14/5, 17/8, 1/10 og 2/10 1990. Eksperimenta bestod dels i utsetting av kors langs ei linje, og dels i utsetting i same posisjon, men med korsa i ulike djup. Ved første feltperioden (mars 1990) måtte strømkorsforsøk kansellerast på grunn av dårleg ver. Gjennomføring av slike eksperiment krev eit visst minimum av sikt (for observasjon). Dessutan er det ugunstig med for sterk vind, som genererer sterk overflatestrøm.

Ved Tjeldbergodden synte målingane strømsstyrke av storleiksorden 10-20 cm/s. Det var lite horisontalt strømskjær. Strømrøtninga var varierende ved dei ulike måletidspunkt. Det var ingen klar samanheng mellom strømrøtning og tidevannsfase. I Kjørsvika var det utgåande strøm på vestsida på det eine tidspunktet det blei målt der (figur A17). I Dromnessundet

(figur A18) var det også vekslende overflatestrøm. Fløende sjø samsvarte med strøm retta nordover, og fallande sjø med strøm retta sørøver (inn sundet). For øvrig var det til tider tale om virvel-liknande rørsler, med motsatt strømreretning på vest- og austsida av sundet (figur A17, dato: 14/5).

3.3. Andre registreringar

Vérobservasjonar er innhenta frå stasjon Ørlandet ytterst på Fosnahalvøya. Denne stasjonen skulle vere representativ for tilhøva ved Tjeldbergodden.

Lufttemperaturen låg i 1990 1.3°C over årsnormalen. Det var særleg månadstemperaturane for vinterhalvåret som bidrog til dette. Januar, februar og mars 1990 hadde middeltemperatur på h.h.v. 2.5° , 5.6° og 2.3°C over normalen. Året 1990 var tredje året på rad med unormalt høge vintertemperaturar. Dette har gjort seg utslag også i høge sjøtemperaturar. På Vestlandskysten resulterte dette i $2-3^{\circ}$ høgare sjøtemperatur enn normalt vinteren 1989-1990 (NIVA, upubl. materiale). Det er rimeleg å anta at ein tilsvarende trend også har gjort seg gjeldande lenger nord på kysten.

Når det gjeld vindtilhøva, er det først og fremst vind i måleperiodene for strøm som er interessant. Vind frå SV og SE var framtrekande i desse periodene. Den kraftigaste vinden var knytta til retning frå nord-vest.

Daglege vindobservasjonar i dei to måleperiodene for strøm er synt i figur A19, som vindpilar. I dei aktuelle periodene var det ingen særskilt sterk vind. Strømmålingane blei oppstarta etter at stormperioden i mars 1990 var forbi, og før hauststormane byrja. Merk at 14/9 hadde 14 m/s (stiv kuling) frå vest-sørvest. Denne dagen havarete strømmålarriggen ved Tjeldbergodden.

4. INNLAGRING OG INFLUENSOMRÅDE

4.1. Primærfortynning

Utsleppet av kjølevatn ved Tjeldbergodden vil bli plassert ein stad nær vår måleposisjon T1, eller eventuelt T2 litt nærare land. Dei hydrografiske målingane som er gjennomført i løpet av 1990 og 1991, synte at det ikkje var signifikant forskjell mellom måleresultata på T1 og T2. Vidare modelleringsarbeid og analyser er derfor basert på materialet frå posisjon T1.

Vertikalprofilane av salinitet og temperatur frå stasjon T1 har blitt nytta i innlagingsberekningar for neddykka utslepp av oppvarma kjølevatn. NIVAs dataprogram "JETMIX" for primærfortynning har berekna ulike parametarar tilknytt fire ulike alternativ for utslepp (tabell 1.1).

Berekningsprogrammet er basert på generelt akseptert teori for korleis vatn som blir sloppe ut i sjakta sjøvatn oppfører seg i første fasen (primærfortynningsfasen). For generell teori kan det synast til innleiande merknader i kapittel 1, samt til tekstbøker om emnet, t.d. Cederwall 1968 og Fiscer m. fl. 1979. Bruken av NIVAs modell er omtalt i detalj i andre NIVA rapportar (sjå. t.d. Knutzen m fl. 1978, Bjerkeng 1979).

Viktige input parametarar til programmet er stråledimensjon (diameter/geometri, fart), utsleppsdjup, utsleppsøyrets vinkel, og densitet til utsleppsvatnet. Som resultat gjev programmet innlagingsdjup og senterfortynning for kjølevatnet. I utkanten av strålen er fortynninga større enn i senter. For ei Gauss fordeling for fortynninga er forholdet mellom middel og minste (senter) fortynning ca 1.75. Strålen vil gjerne først penetrere til eit anna djup enn det endelege innlagingsdjupet før den innstiller seg i nøytral likevekt med omgjevnadene. Dette ekstremdjupet blir også berekna, med og utan blanding/friksjon.

Den foreliggende problemstillinga gjeld utslepp av sjøvatn som har blitt oppvarma i kjøleprosessen ved den aktuelle industri- eller kraftproduksjonen (sjå kapittel 1 for generell problemstilling omkring dette). Sidan det dreier seg om oppvarming av sjøvatn, vil utsleppsvatnet vere lettare enn inntaksvatnet. I dei fleste tilfelle vil ein då kunne vente at utsleppsstrålen stig oppover i sjøen før innlagring. Dette avheng imidlertid av utsleppsdjupet. Dersom dette ligg vesentleg grunnare enn inntaksdjupet, vil ein i prinsippet kunne oppleve at utsleppsvatnet innlagrar seg i eit djup mellom inntak og utslepp. Dette vil avhenge av dei aktuelle hydrografiske tilhøva.

Modellen JETMIX for primærfortynning antar null strøm i resipienten. Med den kunnskap vi har til strømførhølda ved Tjeldbergodden, er det rimeleg å anta at strømmen har liten effekt for primærfortynningsprosessen. Strømførhølda får først praktisk betydning i sekundærfortynningsfasen. D. v. s. når det innlagra og fortynna utsleppsvatnet sprer seg horisontalt (sjå neste avsnitt, og fig. 1.5). Lateralt og vertikalt strømskjær kan teoretisk sett stimulere blanding/fortynning i primærfortynningsfasen (mekanisk turbulens). I praksis vil dette sei at den vertikale strålebanen blir forkorta (djupare innlagring). Eit homogent strømfelt vil ha ubetydeleg effekt på denne fortynningsprosessen.

4.1.1. Resultat for primærfortynning

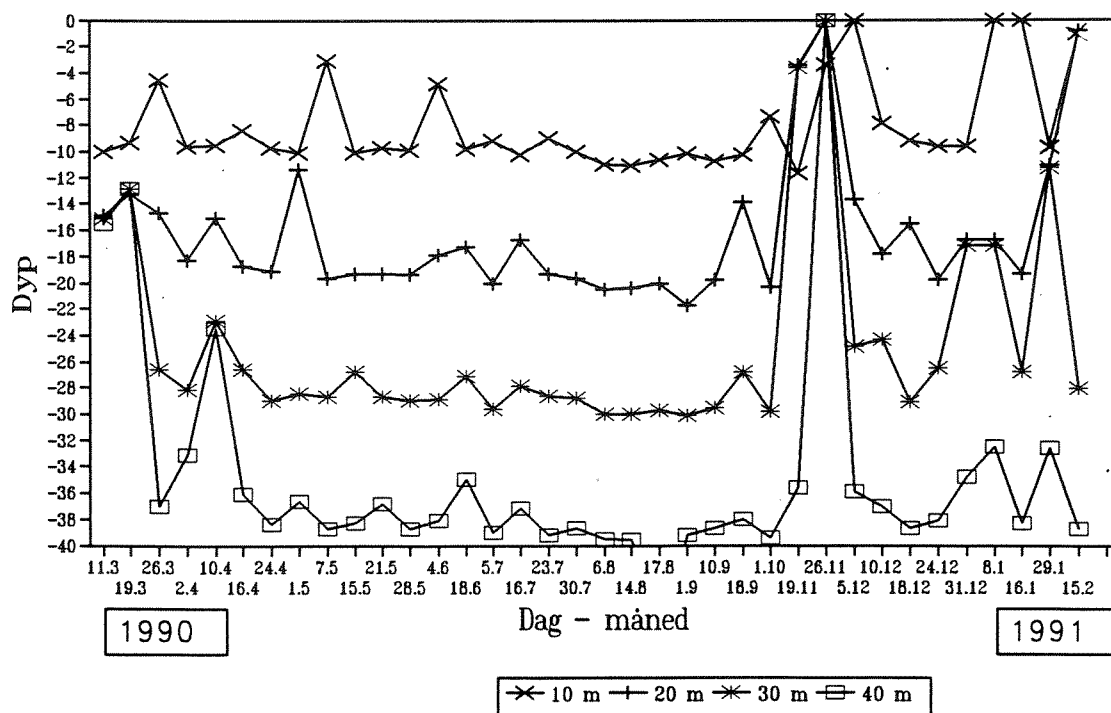
Vi har foretatt innlagingsberegningar for eit inntak på 50 meters djup, og med utsleppsdjup på h.h.v. 10, 20, 30 og 40 meter. Særskilte vurderingar er gjort for utslepp i overflata (0 meter). Innleiingsvis utførte beregningar for utslepp i 50-70 meters djup synte hyppig innlagring nær inntaksdjupet på 50 meter. M. a. o. fare for resirkulering av kjølevatn. Større utsleppsdjup enn 40 meter synes derfor uaktuelt.

Resultat av beregningane for innlagingsdjup for dei fire ulike utsleppsalternativa (tabell 1.1) er synt i figur 4.1 - 4.4. Der det er tale om utslepp frå både kraftverk og metanolfabrikk, er volumfluksane addert, og temperaturauken justert til ein resultatverdi i forhold til respektive utslepp sitt bidrag. Figurane 4.1-4.4 viser nøytralt innlagingsdjup for senter av det fortynna kjølevatnet. Generelt sett er det høgast (grunnast) innlagring seint om hausten og om vinteren, og djupast innlagring om sommaren. Detaljar omkring dei ulike utsleppsalternativa blir diskutert i det følgjande. Begrepet "risiko" knyter seg til innlagring i eller nær ($D < 3$ meter) sjøoverflata.

Alternativ I; $Q=18\text{m}^3/\text{s}$, $dT=7.5^\circ\text{C}$

Resultat av beregningane er synt i fig. 4.1. Frå mars månad og utover til oktober ligg alle innlagingsdjupa under overflata. Ved tre tidspunkt i denne perioden stig utsleppet i 10 meter opp til 2-4 meters djup. I oktober-november 1990 syner resultata innlagring i overflata for profilen frå 26/11. Desember hadde igjen djupare innlagring. I januar og februar 1991 hadde 10 meter utsleppet tre innlagringstilfelle i eller nær overflata. 20-meter utsleppet hadde eit tilfelle med innlagring i ca. 1 meter. Utslepp i 30 og 40 meter ga ingen overflateeffekt.

Tjeldbergodden Alt. 1. $Q = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ 10 m, 20 m, 30 m, 40 m

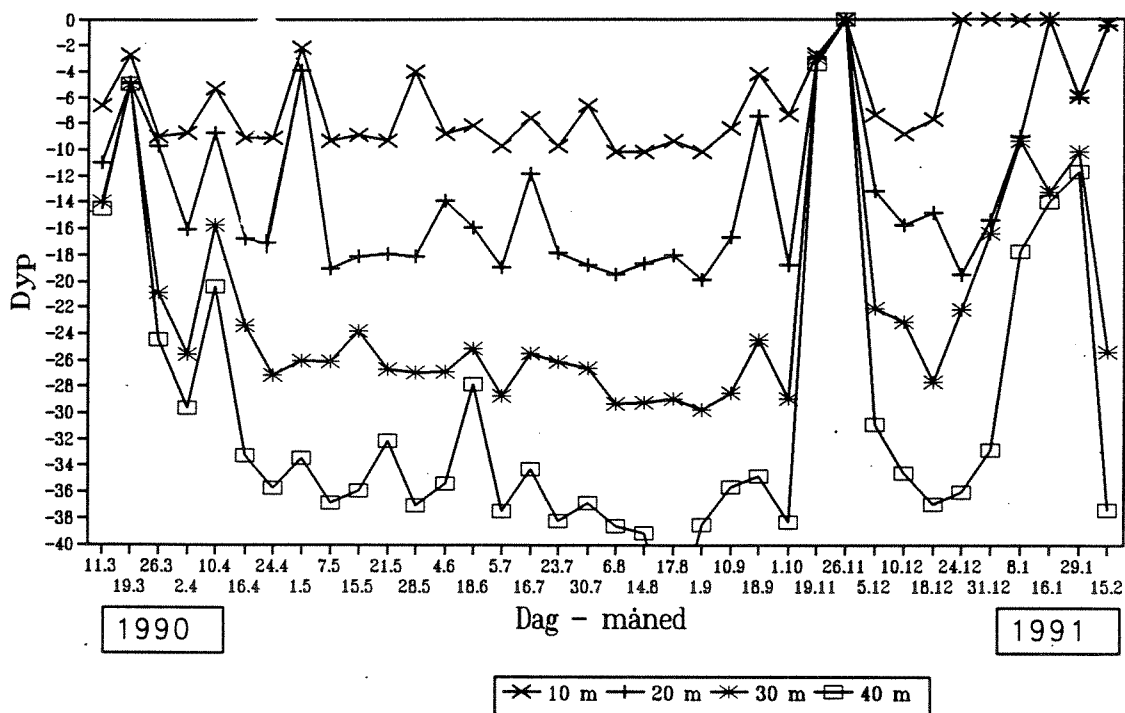


Figur 4.1. Innlagingsdjup for kjølevatn, Alt. I.
 $Q=18 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T= +7.5^\circ\text{C}$. Utslepp i 10m, 20m, 30m og 40m djup.

Alternativ II; $Q=12 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT=11.6^\circ\text{C}$.

Resultat av berekningane er synt i fig. 4.2. Perioden medio mai til ut september synest "trygg" ansynes risiko for overflateinnlagring. 30 meter utsleppet hadde kun ein profil med overflateinnlagring, mens to profiler hadde innlagring nær overflata ($D < 5 \text{ m}$). For utslepp i 10 m og 20 m var det risikoperiode frå slutten av desember til ut måleperioden (februar).

Tjeldbergodden Alt. 2. $Q = 12 \text{ m}^3/\text{s}$
10 m, 20 m, 30 m, 40 m



Figur 4.2. Innlagringsdjup for kjølevatn, Alt. II.
 $Q=12 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T = +11.6^\circ\text{C}$. Utslepp i 10m, 20m, 30m og 40m djup.

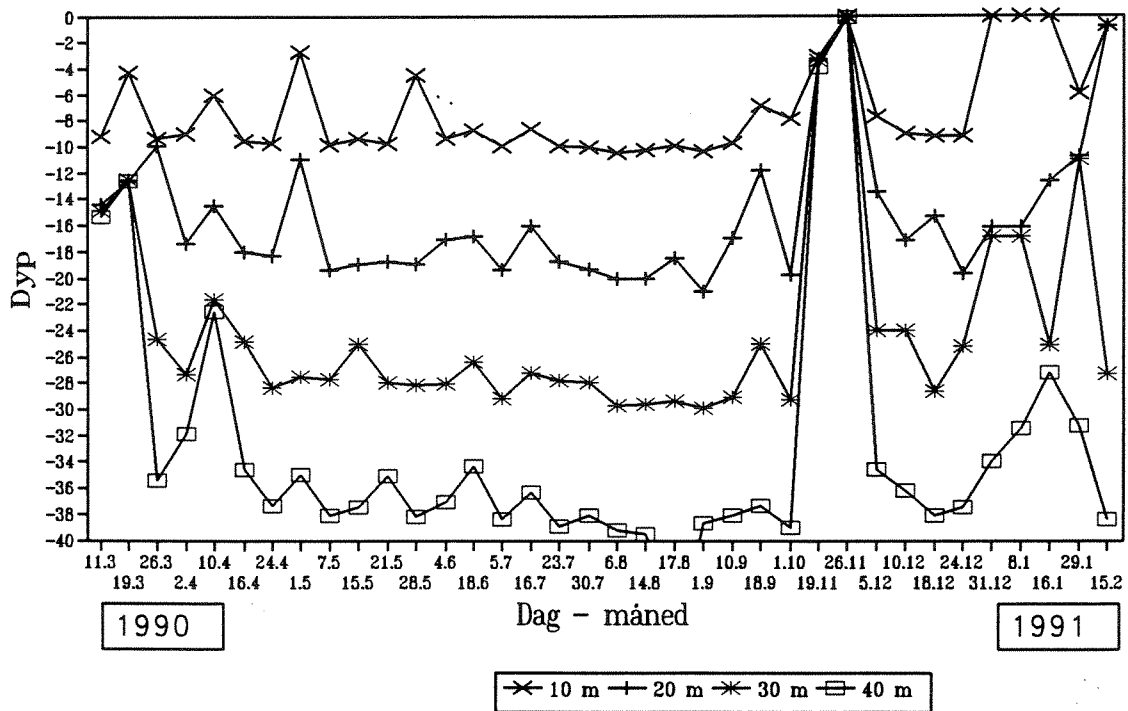
Alternativ III; $Q=21 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT=9.9^\circ\text{C}$

Resultat av berekningane er synt i figur 4.3. Risikoperiodene var spesielt slutten av november 1990 (alle fire djup), samt januar og februar (10 meter, og til dels 20 meter). 10 meter utsleppet hadde også innlagring i 4-5 meters djup om våren 1990. Perioden april til september synes risikofri, muligens med unntak av 2-3 tilfelle for 10 meters utslepp.

Alternativ IV; $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT=24^\circ\text{C}$.

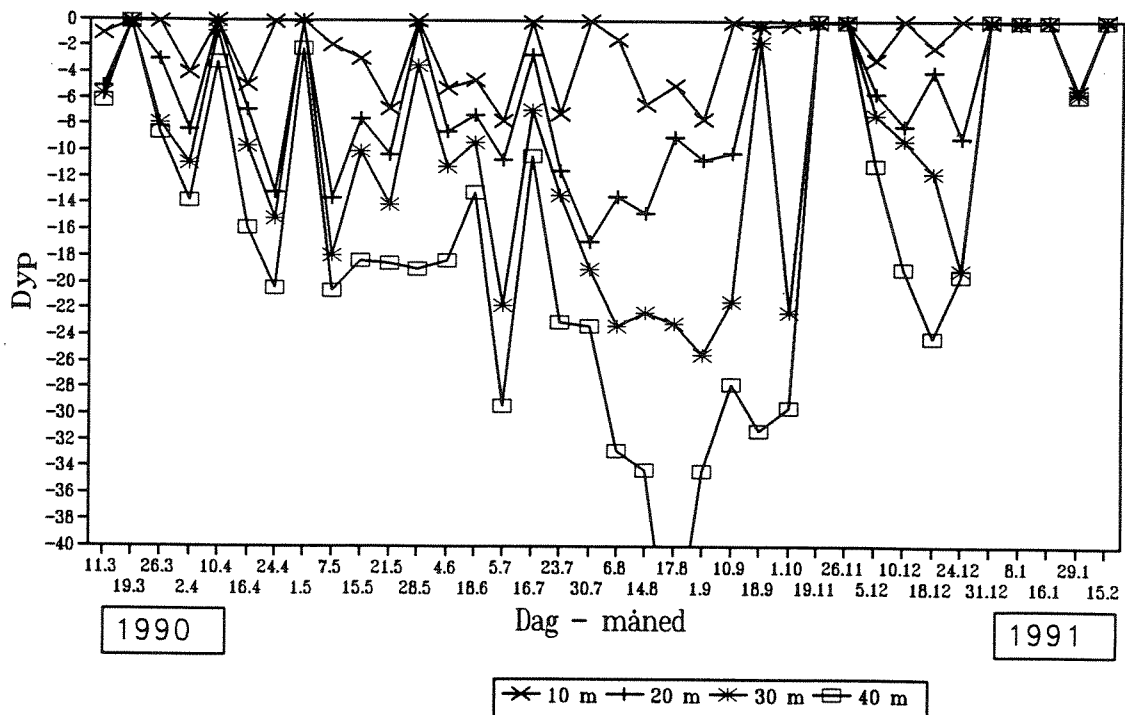
Resultata av berekningane er synt i figur 4.4. Den høge overtemperaturen ga seg utslag i grunn innlagring for dei fleste utsleppsdjup for mesteparten av tida. Alle utsleppsalternativ hadde risikoperioder. 10 meter utsleppet nådde overflata i over halvparten av tilfella. Periodene som dekkja sein haust og vinter hadde hyppig risiko. 40 meter utsleppet var beste alternativ, men også dette hadde fleire risikotilfelle, både våren 1990 og vinteren 1990-1991.

Tjeldbergodden Alt. 3. $Q = 21 \text{ m}^3/\text{s}$
 10 m, 20 m, 30 m, 40 m



Figur 4.3. Innlagringsdyp for kjølevatn, Alt. III.
 $Q=18 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T= +9.9^\circ\text{C}$. Utslepp i 10m, 20m, 30m og 40m djup.

Tjeldbergodden Alt. 4. $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$
 10 m, 20 m, 30 m, 40 m



Figur 4.4. Innlagringsdyp for kjølevatn, Alt. IV.
 $Q= 3 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T= + 24^\circ\text{C}$. Utslepp i 10m, 20m, 30m og 40m djup.

Kommentarar til berekningsresultata

Dei innlagingsberekningane som er presentert, er gjort med ei rad føresetnader, som nemnt innleiingsvis. Resultata bør imidlertid vere signifikante når det gjeld kritiske perioder, uansett modifikasjon av input parametarar for modellberekningane. Modifikasjonar av utsleppet, slik som endra (større) diameter på utsleppsørret og diffusorarrangement vil truleg modifisere resultata i mindre grad. Det er dei faktiske hydrografiske tilhøva som dannar det viktigaste vilkåret for korleis utsleppsstrålen vil oppføre seg til ei kvar tid. Av resultata ser ein at utanom vintersituasjonen, er overgangsperioden frå sommar(haust) tilstand til vintertilstand kritisk med omsyn til overflatepåverknad. Sistnemnde periode er gjerne knytt til svekka sjikting, samtidig med at eit temperaturmaksimum eit stykke under overflata "heng igjen" frå sommaren.

Det lokale strømfeltet vil også påverke innlagring og fortynning. Det vertikale strømskjæret som er påvist, vil bidra i retning av å stimulere primærfortynningsprosessen, og til å redusere oppstigingstakten til kjølevatnet (djupare innlagring enn berekna). Storleiksordenen til det aktuelle strømskjæret tilseier imidlertid at effekten av dette ikkje vil endre modellresultata vesentleg.

Midlare fortynningsgrad S_0 for tilfella med innlagring i sjøoverflata er presentert i tabell 4.1. Som det framgår av tabellen, er fortynningsgraden proporsjonal med utslepps djupet. Med rørdiameter lik 1 meter for alle utsleppsalternativa, blir utsleppsfarten relativt stor for alternativ I, II og III, slik at blandinga allereie like utanfor røropningen er signifikant ("jet" type utslepp). Derfor gir utslepp i 10 meter også markert fortynningsgrad (S_0) for desse tre alternativ, mens alternativ 4 (kun 3 m³/s) gir minst fortynning for alle utsleppsdjup ("plume" liknande utslepp).

4.2. Sekundærfortynning og influensområde

4.2.1. Føresetnader og avgrensingar

Eit influensområde utover i sjøen frå utsleppsstaden vil vere definert av yttergrensa til ein gjeven miljøpåverknad, f. eks. overtemperatur på 1°C. I prinsippet vil influensområdet vere tidsavhengig, f. eks. større om vinteren enn om sommaren. Utstrekninga eller "fasongen" til influensområdet vil vere bestemt av m.a. strømførholda. I tråd med praksis har vi definert influensområda for dei ulike alternativ på basis av "sannsynlege" situasjonar. Det bildet som då framkjem, vil ikkje vere synoptisk. D.v.s. at ein satellitt som måler overflatetemperatur i ein ekstrem vintersitasjon ikkje nødvendigvis vil avbilde det totale berekna influensområdet.

Vi har i tråd med gjeldande praksis gjort berekningar for utstrekning av to influensområde, med overtemperatur på h.h.v. 0.5°C og 1.0°C.

Influensområdet til kjølevatnet ved Tjeldbergodden vil i første rekkje vere bestemt av strømførholda. Når det gjeld temperatur, kan også varmeutveksling med atmosfæren i perioder vere av betydning. Ved Tjeldbergodden er det tale om middelstrøm i vassøyla av storleiksorden 10 cm/s, med retning mot nordaust (kapittel 3). For influensområdets utstrekning vil imidlertid kunnskap også om situasjonar for vestoverretta strøm vere relevant (jamfør forrige avsnitt).

4.2.2. Horisontaltransport i oppstigningsfasen

Eit utslepp i t.d. 40 meters djup vil umiddelbart bli aksellerert oppover, med redusert gravitasjon $g_0' = g d\sigma/\sigma$. I dei aktuelle tilfella vil g_0' (startaksellerasjonen) ligge i intervallet 0.03-0.05 m/s². g' vil vanlegvis avta under oppstigninga. Om vi antar lineær reduksjon i g' ($g' = g_0' - k(z-D)$), og $g' = 0$ i innlagingsdjupet D , kan oppstigningstida frå 40 m djup til overflata estimerast til ca 1 minutt. I løpet av denne perioden vil strømmens horisontale forflytting av "plumen" vere av storleiksorden 60 sek x 0.10 m/s = 6 meter. Dette er av same storleiksorden som omfanget av sjølve plumen, og syner at **strømpåvirkning i oppstigningsfasen betyr lite for utstrekninga til influensområdet.**

4.2.3. Fortynningsgrad nær utsleppet

i dei foregåande modellberekningane er fortynninga av utsleppsvatnet ved innlagring berekna. Fortynninga S_0 er der definert som sum av volum for utsleppsvatn og innblanda sjøvatn, dividert på utsleppsvolumet. Aktuelle verdiar for S_0 ligg gjerne i intervallet 10 - 60, avhengig av tid på året, innlagingsdjup m.m. Lav fortynningsgrad vil generelt innebere høg (over)temperatur ved innlagring.

Overtemperaturen dT_0 umiddelbart etter innlagring er berekna ved uttrykket

$$dT_0 = T_r + (T_u - T_r) / S_0 - T_{r0}$$

der T_r er resipientens (uforstyrta) middeltemperatur frå utsleppsdjup til overflate, T_u er utsleppets temperatur og T_{r0} er forventa lavaste overflatetemperatur. Lav overflatetemperatur i forhold til middeltemperaturen i vassøyla, vil gje mest utslag i verdi for overtemperatur i overflata.

I tabell 4.1. er det oppstilt representative verdiar for T_r , T_{r0} og dT_0 for dei ulike alternativa, og for ulike utsleppsdjup. Lavaste målte overflatetemperatur på stasjon T1 i perioden 1990-1991 var 4.1°C (februar 1991). Dette er over forventa minimum i kalde vintrar. Overflatetemperaturene inne i Dromnessundet var 1° lavare enn ute ved T1. I ekstreme vintrar kan ein oppleve at is blir danna heilt ute ved kysten i Midt-Norge. Dette inneber sjøtemperatur i overflata ned mot -2°C.

Berekningane for overtemperatur i overflata er svært følsame for val av overflatetemperatur i omgjevnadane til utsleppet. Som representativ verdi for T_{r0} i ein "relativt kald" vinter har vi valt + 2.0°C. Nilsen og Hansen (1980) presenterte data for den kalde vinteren 1978/79. Ved Sula ytterst på Trøndelagskysten var middel overflatetemperatur for januar og februar 1979 2.0°C. I ekstremisitasjonar var truleg overflatetemperaturen vesentleg lågare. Dette indikerer at vårt val er relativt konservativt; truleg representativt for ein vinter med litt lågare gjennomsnittstemperatur enn normalt. For middeltemperatur i vassøyla har vi nytta følgjande verdiar:

0-10 m: 4°, 0-20 m: 4.5°, 0-30 m: 5.0°, 0-40 m: 5.5°.

Tabell 4.1. Beregna fortynning S_0 og overtemperatur dT_0 i overflata umiddelbart etter innlagring (kjølevannsinntak i 50 m djup).

UTSLEPPET Alternativ	INNLAGRINGSPARAMETRAR		
	djup (m)	S_0	dT_0 (°C)
18 m ³ /s, dT=7.5°:	10	45	2.2
-----"	20	60	2.6
-----"	30	71	3.1
-----"	40	79	3.6
12 m ³ /s, dT=11.6°:	10	30	2.4
-----"	20	35	2.8
-----"	30	44	3.3
-----"	40	49	3.7
21 m ³ /s, dT= 9.9°:	10	44	2.2
-----"	20	58	2.7
-----"	30	67	3.1
-----"	40	75	3.6
3 m ³ /s, dT= 24°:	10	10	4.4
-----"	20	13	4.3
-----"	30	18	4.3
-----"	40	22	4.6

Tabellen syner at djupare utsleppsalternativ gjev relativt sett høgast overtemperatur i senter av innlagringsvatnet. Dette skriv seg m.a. frå føresetnaden om at at djupvatnet i resipienten gjerne er varmare enn overflatevatnet.

4.2.3. Horisontal transport og avkjøling

I foregåande avsnitt har vi kalkulert overtemperatur i "kjernen" av det fortynna kjølevatnet som stig til overflata. Dette vatnet vil breie seg horisontalt utover, dels på grunn av radially retta trykkgradient, og dels på grunn av strøm i overflata. Spredninga vil medføre fortynning og avkjøling. Utanom nærfeltet (radius ca. lik utsleppsdjupet) vil strømmen vere dominerande faktor for spreining.

Periodene med oppstigning av kjølevatn til overflata vil vare tilstrekkeleg lenge til at ein tidsuavhengig ("steady state") situasjon oppstår. I ein slik situasjon vil det vere likevekt mellom tilført varme til overflata, og varmetap på grunn av turbulens (blanding med omjevande vatn) og eventuelt varmetap til atmosfæren.

I området der oppstigninga foregår, vil det danne seg ei "varmepute". Sorensen (1978) antyda følgjande verdiar for denne varme vannmassen:

Middelfortynning S_a : $> (=) 2S_0$
 Horizontal breidde L : $\geq D/3$, der $D =$ utsleppsdjupet
 Vertikal utstrekning h : ca. $D/9$ " $D =$ utsleppsdjupet

Litt nedstrøms denne "puta" vi det i eit fast volum innstille seg likevekt mellom varmetilførsel og varmetap ($\partial T/\partial t = 0$).

Om vi antar strøm i X-retningen, og kun lateral (i y-retning) diffusjon, får vi

$$\partial T/\partial x = -(D_Y \partial^2 T/\partial y^2)/U - T_x,$$

der U er strømfart, T er verdi for (det fortynna) kjølevatnets temperatur, og T_x er eit tilleggssledd (≥ 0) som representerer avkjøling til lufta.

Leddet T_x kan uttrykkast som $F_q/c_v U h$, der F_q er varmefluks til lufta, og c_v er varmekapasitet. For $U=0.1$ m/s, $F_q = 200$ W/m² og $h = 2$ m, blir leddet T_x av storleiksorden 2.5×10^{-4} °C/m. For 1 times avkjøling blir temperaturendringa lik $2.5 \times 10^{-4} \times 0.1$ m/s $\times 3600$ s = 0.1 °. Etter ein time er eksempelvis det fortynna kjølevatnet ført 360 meter ($U=0.1$ m/s) bort frå utsleppsstaden.

D_y (horisontal diffusjonskoeffisient) er vanskeleg å bestemme.

$$D_y = eL^n$$

der e (dim lengde) og n er empiriske konstantar, og L er ein geometrisk verdi tilknytta turbulensskalaen er nytta i litteraturen. Orlob (1959) fann $D_y = 10^{-6} L^{4/3}$ (m²/s), L i meter.

L vil ha typisk storleik lik $D/3$ ($D/4$) pluss evt. lengd på diffusor. I våre berekningar er diffusor neglisjert.

Basert på Brooks (1960) og Sorensen (1978), kan følgjande uttrykk nyttast:

$$\frac{T_u - T}{T - T_a} = \operatorname{erf}\left\{ \frac{1.5}{(1 + 8D_y t)^{3/4} - 1} \right\}$$

T_u er kjølevatnets initialtemperatur (ved $t=0$), lik $T_a + dT$ (dT frå tabell 4.1). T_a er uforstyrta overflate temperatur og T er temperatur i det fortynna utsleppsvatnet nedstrøms ved tida $t (=Ux)$. erf er den såkalla "error function".

Ved valgt $T=T_{\text{lim}}$ (T_{lim} f.eks. lik $T_a + 0.5$ ° eller $T_a + 1$ ° for h.h.v. 0.5 og 1° overtemperatur i overflata), kan venstre side i uttrykket over omskrivast til

$$\frac{T_u - (T_a + 1)}{T_{\text{lim}} - T_a} = \operatorname{erf}(\dots).$$

Med innlagte kriterier for T_{lim} (overtemperatur), samt verdier for T_a og T_u ($T_u - T_a = dT_0$), henta frå tabell 4.1, kan uttrykket over løysast med omsyn til tid t . Horizontal distanse for $T=T_{lim}$ vil vere lik $U t$. Vi har dermed ein modell som knytter saman overflatestrøm i resipienten og (nedstrøms) utstrekning for området med gitt overtemperatur.

Dimensjonerande overflatestrøm

Før vidare berekningar må det også foretakast eit val av dimensjonerande strøm U . Periodene med størst risiko for overflatepåverknad er knytt til svak sjikting i sjøen. Vinden har ein genererande effekt på overflatestrøm som er proporsjonal med sjiktningsgrad. Dei kalde periodene som vi vurderer, har gjerne svak vind. Å sette $U = v_{max}$ (frå tabell 3.2), vil dermed vere urealistisk etter vårt syn. Middelerdi for nordaustgåande strøm var 13 cm/s (vår) og 16 cm/s (haust). Vi lar middelerdien 14.5 cm/s gjelde for U i nordaustleg retning ($U_{øst}$).

I perioder vil det vere strøm retta mot vest-sørvest forbi Tjeldbergodden (jamfør strømmålingane). Basert på måledata, er U_{vest} satt lik 6 cm/s.

Resultat av berekningane for influensområde basert på spesifiserte utgangspunkt er synt i fig. 4.5 - 4.8 for alternativ I - IV. Alternativ I og III gjev dei største influensområda. Max. nedstrøms avstand for influens (0.5° overtemperatur) 3.6 km frå utsleppet i austleg retning (alt. I og III). For øvrig viser resultatane med våre utgangspunkt større influensområde for dei djupare utsleppa enn for dei grunne for alternativ I, II og III. Dette heng saman med våre føresetnader, med innblanding av meir varmt djupvatn dess djupare utsleppet ligg.

Alternativ IV representerer dei minste influensområda. For dette alternativet var det liten forskjell på influensområda for dei ulike utsleppsalternativa. Dette skriv seg frå relativt sett liten primærfortynning, og stort bidrag frå medrivning av varmt djupvatn.

Dromnessundet går klar 0.5°C overtemperatur kurven i følge våre berekningar.

Fleire av influensområda strekkjer seg austover forbi **Kjørsvika**. Ei skjønsmessig vurdering tilseier likevel liten risiko for påverknad på denne resipienten. Utgåande strøm generert av elva vil leie influensområdet ut frå land mot aust. Ein kan ikkje sjå heilt bort frå muligeita for ein viss influens i dei vestre delene av Kjørsvika for nokre utsleppsalternativ, slik som indikert ved 0.5° isoterme ved nokre høve.

4.3. Utslepp i overflata

Utslepp av kjølevatn i sjøoverflata (nær land) ved Tjeldbergodden er eit alternativ. I ein vintersituasjon vil overtemperatur i overflata nær utsleppspunktet då vere lik eller større enn overtemperaturane som er tal festa i tabell 1.1 for dei ulike alternativane, f. eks. $+7.5^\circ\text{C}$ for alternativ 1, og $+24^\circ\text{C}$ for alternativ 4. Modellering av fortynningsprosessen er langt vanskelegare enn tilfellet er for eit dykka utslepp. På grunn av manglande teoretisk grunnlag og mangelfulle modellar, er ein analyse av størrelsesorden til aktuelle parametarar mest relevant (Fisher m. fl. 1979).

Temperaturauken fører til reduksjon i sjøvatnets densitet (i σ_t eining) som tilsvarar $0.15 \times dT$. Densitetsreduksjon for dei fire utsleppsalternativa blir:

Alt. 1, $dT = 7.5^\circ$: 1.125 kg/m^3

Alt. 2, $dT = 11.6^\circ$: 1.74 kg/m^3

Alt. 3, $dT = 9.9^\circ$: 1.485 kg/m^3

Alt. 4, $dT = 24^\circ$: 3.60 kg/m^3

Ved Tjeldbergodden var densitetsforskjellen mellom overflate og 50 meters djup (inntaksdjupet) aldri større enn ca. 3 kg/m^3 i måleperioden 1990-1991 (fig. 3.1a). Det vil sei at utslepp i overflata for alternativ IV aldri vil synke ned før horisontal spreining og primærfortynning har funne stad. For dei andre alternativa vil ein i perioden mai til september ha hydrografiske tilhøve som tilseier at utsleppsstrålen vil dykke under overflata i umiddelbar nærleik (i avstand 10-100 meter, avhengig av alternativ) av utsleppet. Innlagringa vil skje nær overflata (3-10 m). Ein viss overtemperatur i overflata kan også påreknast i dei grunnaste tilfella.

I perioden oktober til april vil utslepp i overflata medføre spreining i overflata. Innblanding med omgjevande vatn vil vere mindre effektiv enn for eit dykka utslepp. Dei foregåande innlagingsberekningane synte effektiv primærfortynning også ved utslepp i 10 meters djup. Med ein ytterlegare reduksjon i utsleppsdjup til i eller nær overflata, vil andre og mindre effektive blandingsmekanismer råde. Overtemperaturverdiane i nærsona vil bli langt større enn initialverdiane for temperatur i det advakterte varmeområdet ved dykka utslepp. Det er sannsynleg at influensområdet vil ha vesentleg større utstrekning (og ligge nærare land) enn for dei ulike tilfella med dykka utslepp.

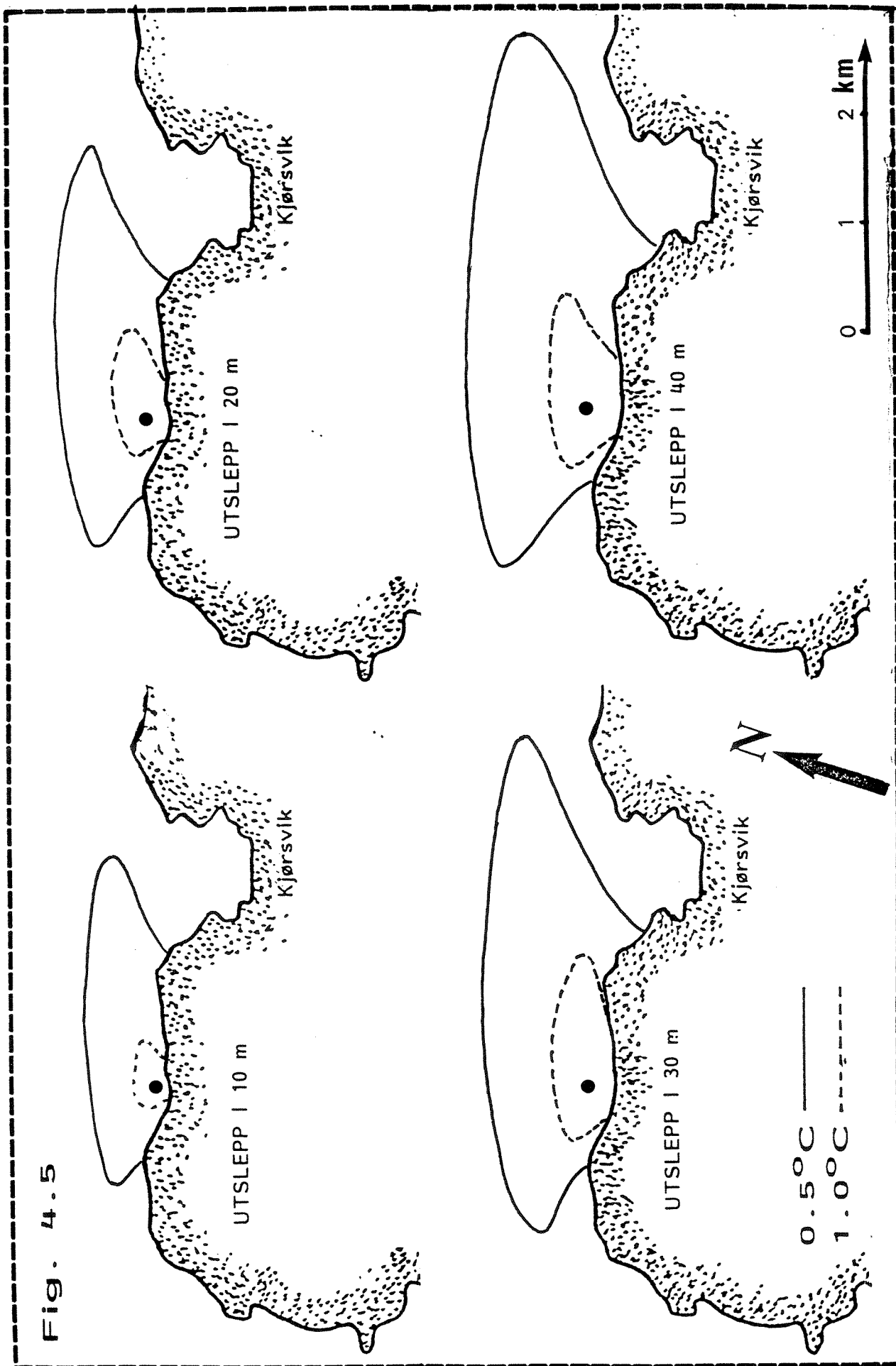
4.4. Plassering av inntak og utslepp

Med liten djupneforskjell og/eller liten horisontal avstand mellom inntak og utslepp vil ein teoretisk kunne risikere ein viss **resirkulering av kjølevatn**. Ein viss vertikal separasjon av inntak og utslepp er derfor ønskeleg, samstundes som ein ønsker låg og stabil temperatur på inntaksvatnet.

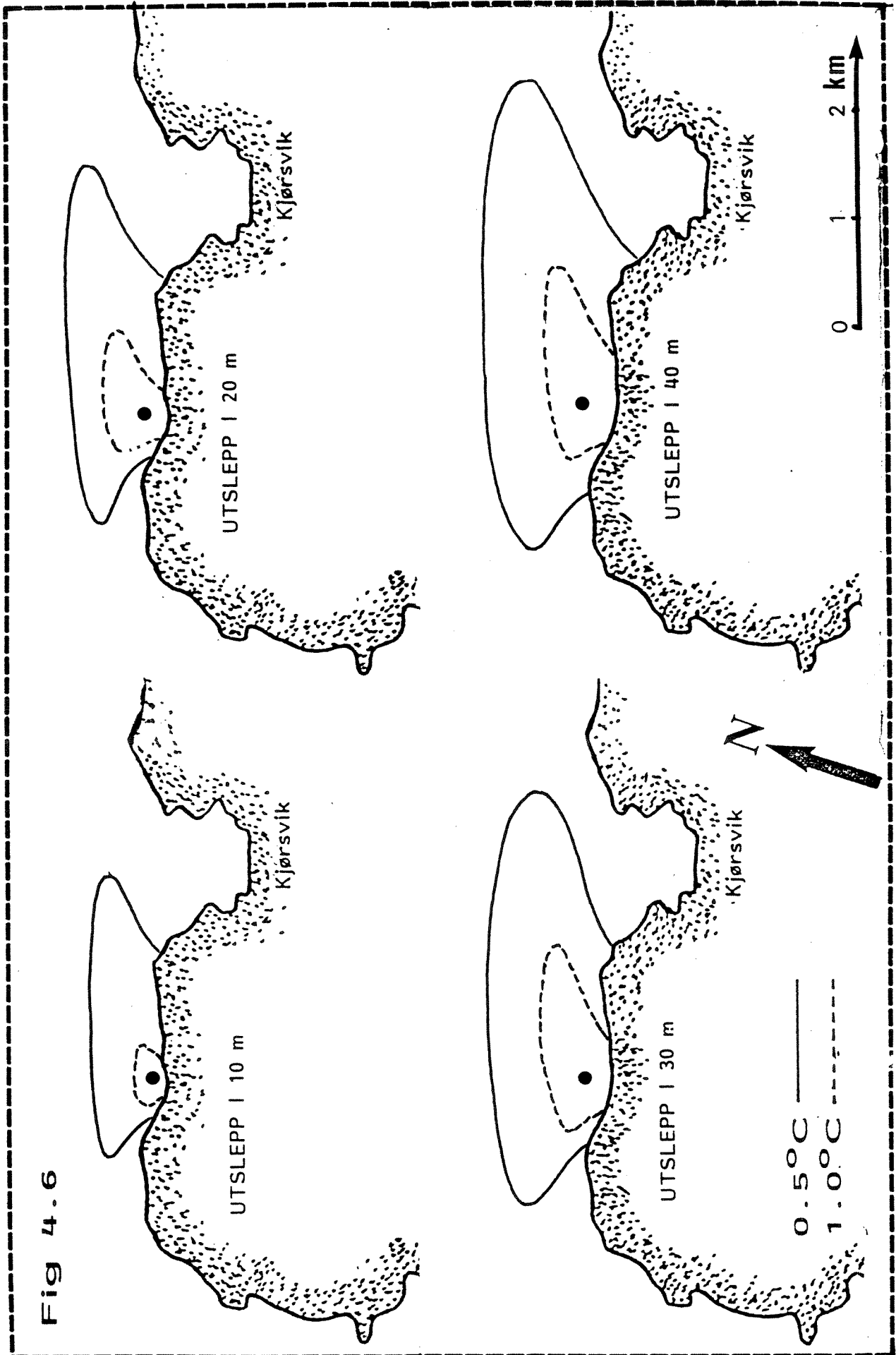
Våre berekningar for inntaksdjup i 50 meter er basert på STATKRAFTS førebels anbefaling. Den markerte temperaturauken det er tale om, gjer at innlagring djupare enn utsleppsdjupet er lite sannsynleg (forekom ikkje i våre berekningar). Vidare indikerte berekningane effektiv primærfortynning også ved utslepp i 10 og 20 meter. Årsaken til at primærfortynninga også var effektiv ved dei grunne alternativa, skriv seg dels frå valet av rørdiameter lik 1 meter, og at røret var horisontalt retta. Dette medfører stor utgangsfart og effektiv horisontal blanding nær røropninga for dei volumrike alternativa.

Berekningane med våre føresetnader, syner at eit utslepp på 10 eller 20 meter gir tilnærma lik, eller mindre influensområde enn djupare utslepp. Med inntak i 50 meter vil det då vere liten sannsynlighet for resirkulering. Størsteparten av kjølevatnet vil bli transportert i austleg retning. For å gardere seg ytterlegare mot resirkulering, kan inntaksleidninga plasserast vestafor utsleppet. Ein horisontal avstand på 100 meter burde gje tilstrekkeleg sikkerheit.

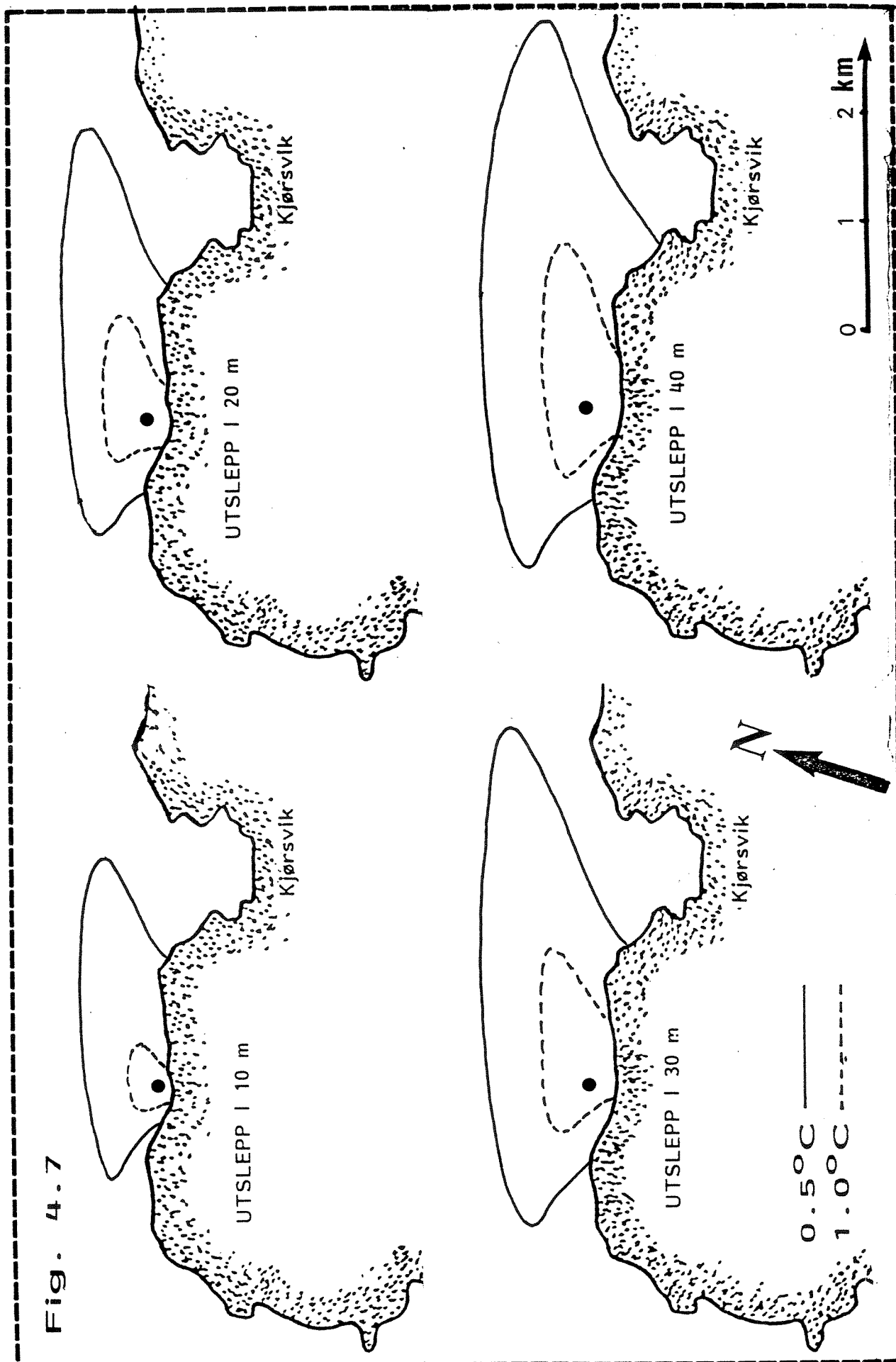
Strømmålingane i 40 meter synte periodevis vestgåande nettostrøm. Teoretisk kan då nedblanda og fortynna kjølevatn bli transportert vestover og mot inntakspunktet. Dette vil neppe skje i praksis, sidan så markert nedblanding er usannsynleg i følgje våre berekningar.



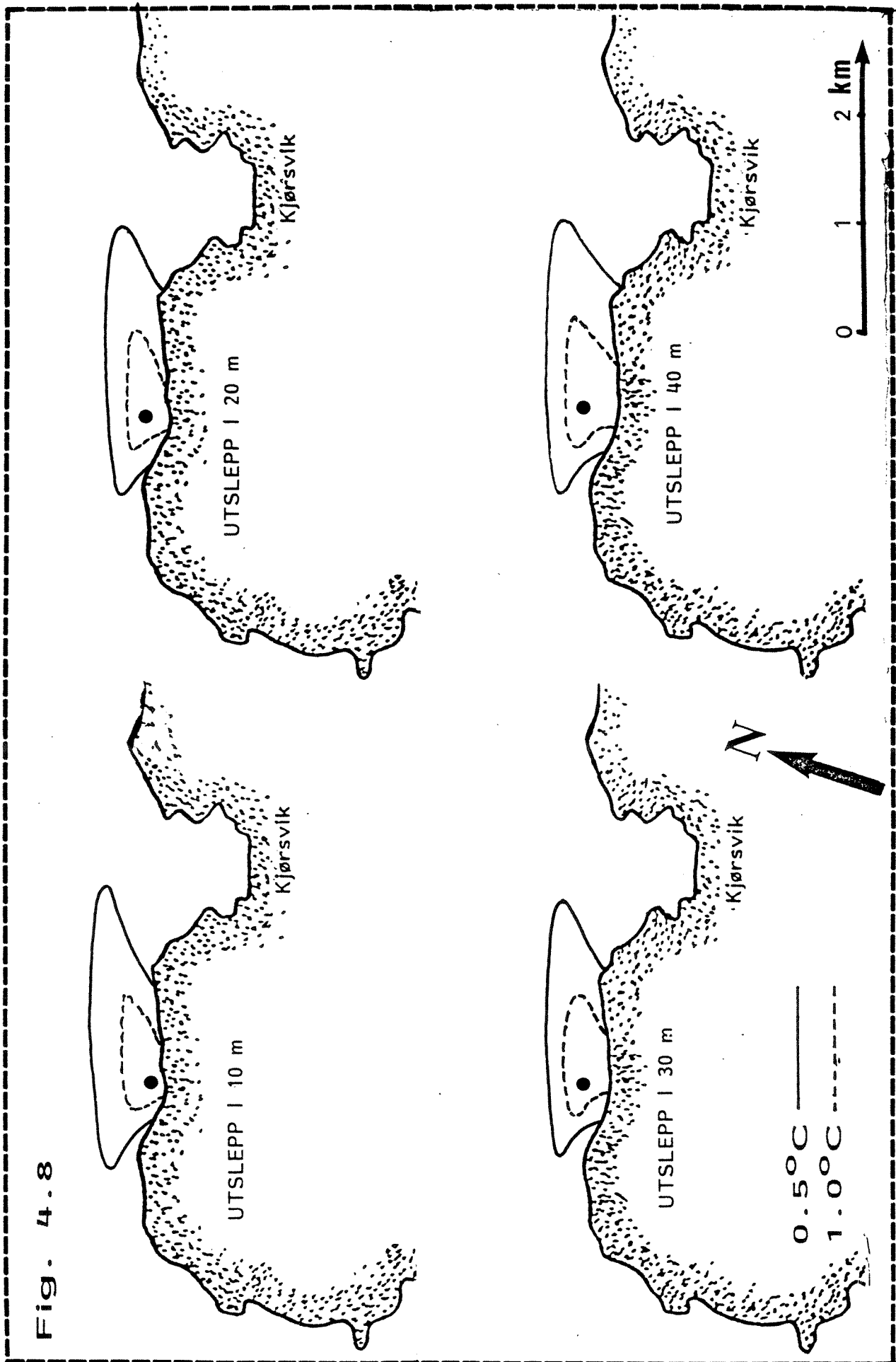
Alternativ I: $18 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT = 7.5^\circ\text{C}$



Alternativ II: $12 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT = 11.6^\circ\text{C}$



Alternativ III: $21 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT = 9.9^\circ\text{C}$



Alternativ IV: $3 \text{ m}^3/\text{s}$, $dT = 24^\circ\text{C}$

5. DISKUSJON OG OPPSUMMERING

5.1. Dataomfang og representativitet

Kartlegginga av fysiske resipienttilhøve ved Tjeldbergodden har bestått av måling av strøm og hydrografi. Denne rapporten presenterer resultat av strømmålingar frå eit samla tidsrom av ca. 14 veker, fordelt på to like lange perioder vår og haust. Hydrografiske målingar strekkjer seg over ei ca. 12 månader lang periode.

5.1.1. Hydrografi

Det har tidlegare vore antatt at vinteren er den mest kritiske perioden for innlagring av kjølevatn i eller nær overflata (STATKRAFT 1989). For den foreliggende problemstillinga er derfor vinterdata viktige for å fastslå omfanget av slik innlagring. Våre berekningar har stadfesta at vinterhalvåret er den mest kritiske perioden, og at episoder med overflatepåverknad ikkje er mogleg å unngå ved realistisk valg av utsleppsdjup.

I tidlegare utredningar er dei hydrografiske variasjonane i overflatelaget ved Tjeldbergodden blitt antatt å ligge innafor intervalla 30-34 o/oo (salinitet) og 4 - 16°C (temperatur). Tilsvarende anslag for 40-50 meters djup er h.h.v. 33.5-34.5 o/oo og 4-13°C (MILJØPLAN 1988). Foreliggende målingar antyder godt samsvar med tidlegare anslag. Målt salinitet i overflata var ca. 28 o/oo på det lågaste. Overflate maksimum var 33.5 o/oo. I 40-50 meters djup låg målte salinitetsverdiar mellom ca. 32.5 og 34.2 o/oo, og temperaturen mellom 4.7 og 11.8°C.

Klimatiske tilhøve dei siste to-tre åra med milde vintrar har sannsynlegvis bidratt til høgre middeltemperatur ved Tjeldbergodden i måleperioden, i forhold til normalt. Kontinuerlige hydrografiske målingar på Hordalandskysten synte 2-3°C høgare vintertemperatur i 1989-1990 enn 2-3 år tidlegare (NIVA, upubl. materiale). Ein liknande trend har nok gjort seg gjeldande også på Møre- og Trøndelagskysten.

5.1.2. Strømforhold

Strømmålingane ved Tjeldbergodden ga i store trekk om lag det same strømbildet for vårperioden som for haustperioden, med netto austgåande strøm forbi lokaliteten. Haustperioden hadde større innslag av lengre perioder (dagar) innimellom med netto vestgåande strøm. Det var vesentleg forskjell i strømforhold i 4 meter og i 40 meter, både når det gjalt styrke og karakteristikk. Det er tale om lagdelt strøm, tidvis med same retning men med ulik styrke i ulike djup. Og tidvis også forskjellig strømreretning i forskjellige djup.

Tidlegare utredningar har antydde tidevassdominert strøm, med strømvending 2 gongar pr døgn ved Tjeldbergodden (MILJØPLAN 1988, side 37). Reststrømreretninga blei antydde å vere mot sørvest. NIVAs målingar syner at tidevatnet modulerer strømsignalet, men ikkje i så stor grad som tidlegare antydde. Nettotransporten var retta austover i begge måleperiodene. Dette vil sei at influensområdet for kjølevatn vil vere meir asymmetrisk enn antydde i tidlegare rapportar.

5.2. Inntaksdjup for kjølevatn

Viktige moment for val av inntaksdjup vil vere temperaturtilhøve og risiko for resirkulering av kjølevatn. I våre berekningar har vi antatt inntak av kjølevatn på 50 meters djup. Dette er STATKRAFT sitt utgangspunkt for vurderingar. Målingane syner at temperaturen varierte mellom 4.7°C og 11.8°C i 50 meters djup. Av NIVAs observasjonar ved Tjeldbergodden framgår det at ved å velge litt djupare inntak (55 eller 60 meter) vil ein få ein viss vinst i perioder, i form av lågare temperatur om sommaren, evt. om hausten. Ved å senke inntaket til 60 meter, ville ein til tider oppnå ein temperaturforskjell på inntil 2°C lågare temperatur for inntaksvatnet, i forhold til inntak i 50 meter. Auka inntaksdjup vil imidlertid også medføre lenger leidning, noko som kan redusere driftsvinsten.

Ved grunnare inntaksdjup enn 50 meter aukar varigheita av perioder med markert høgare temperaturar enn i 50 meter. Sjølv om middeltemperaturen for året er relativt konstant med djupet, hadde temperaturfordelinga for djup mellom 10 og 30-40 meter ein større grad av "bimodalitet", der observasjonane fordelte seg i to distinkte grupper h.h.v. på den "kalde" og "varme" sida av middelverdikurva.

Eit grunnare inntaksdjup enn 50 meter vil også periodevis medføre lågare densitet for inntaksvatnet (i høve til inntak i 50 meter). Slike situasjonar vil kunne medføre auka risiko for grunnare innlagring.

Våre vurderingar omkring risiko for resirkulering av kjølevatn indikerer liten risiko for dette, forutsatt inntak i 50 meter, og utslepp grunnare enn 40 meter. Strømforholda indikerer at risikoen kan bli ytterlegare redusert ved å legge inntaket litt vestafor utsleppet.

5.3. Kriterier for val av utsleppsdjup

Utslepp av kjølevatn frå gasskraftverk, evt. frå metanolfabrikk ved Tjeldbergodden vil medføre markert temperaturauke i ein del av vassøyla rundt utsleppet. I våre berekningar har vi under gjevne føresetnader dokumentert omfanget av denne auken for dei ulike utsleppsalternativa.

Ein ønskjer å minimalisere miljøpåverknaden ved utsleppa. Særleg vil ein unngå overtemperatur i overflata. Det er slik påverknad som sannsynlegvis vil kunne gje dei mest merkbare effektene på miljøet. Det kan bli knytt krav til at utsleppet ikkje skal medføre overtemperatur over f. eks. 1.0°C ut forbi ein gjeven største avstand (radius) frå utsleppet. Denne avstanden definerer det aktuelle influensområdet for utsleppet.

Effekten på overtemperatur frå eit kjølevassutslepp, uansett konstruksjon, vil vere både djupneavhengig og tidsavhengig. Dette fordi dei hydrografiske tilhøva ved inntak og utslepp stadig er i forandring. Effekten av ein gitt overtemperatur kan også vere tidsavhengig; overtemperatur om vinteren og om sommaren vil ha forskjellige effekter på f. eks. marinbiologiske tilhøve.

Kritiske overtemperaturar i overflata kan eksistere berre ei kort periode, mens middeltilstanden for øvrig er akseptabel. Til sist må godkjennande instans foreta eit val av kva påverknader som kan akseptast; inkludert varigheit og sesongmessig relasjon av slik påverknad. I denne rapporten har utgangspunktet vore å vurdere temperatureffekter i kritiske situasjonar ved eit realistisk, men relativt sjeldan forekomande samspel av (negativt verkande) hydrografiske og meteorologiske tilhøve.

5.4. Alternative utsleppsdjup

Vi har vurdert utsleppsdjup i intervallet 0-40 meter for fire ulike utsleppsalternativ. Djupare utslepp enn 40 meter synes uaktuelt, med eit kjølevassinntak i 50 meter. Generelt sett medfører auka utsleppsdjup også auka innlagingsdjup. For ein betraktning i forhold til ein årsmiddel situasjon vil dermed største utsleppsdjup vere gunstigast i forhold til effekter i eller nær overflata. Våre betraktningar gjeld effekter av overtemperatur.

Utsleppet kan også tidvis vere iblanda kjemikaliar (anti-groee middel e.l.) som kan verke ugunstig på miljøet. Slike eventuelle effekter vil sannsynlegvis bli redusert ved å auke utsleppsdjupet (ingen kartlegging av marinbiologiske tilhøve er gjennomført ved lokaliteten). Av denne grunn blir eit djupt utslepp tilrådd.

Perioder med kritiske tilhøve (innlagring i eller nær overflata) for alle alternativ var knytt til perioden oktober-november, samt tidsrommet januar-februar. Auka utsleppsdjup ga generelt sett færre episoder med overflatepåverknad. Alternativ IV (kun metanolfabrikk) ga hyppig overflatepåverknad gjennom store deler av året også for dei djupaste utsleppsalternativa.

Utslepp i overflata (0 meter) blir frårådd, på grunn av liten primærfortynning, og dermed stort (ikkje kvantifisert) influensområde for alle alternativ. Eit slikt utslepp vil sannsynlegvis også medføre dei største biologiske konsekvensar (ikkje vurdert her).

Utslepp i 10 meter vil gi hyppig oppstigning til overflata (av storleiksorden halvparten av tilfella om vinteren for alt. I-III, meir enn dette for alt. IV). Dette utsleppsdjupet blir derfor heller ikkje tilrådd.

Utslepp i 20 meter gir merkbart redusert hyppigheit av tilfelle med oppstigning til overflata, eller grunn innlagring, i høve til 10 meter alternativet. Gjennom store deler av året vil innlagingsdjupet ligge mellom 12 og 18 meter. Dette utsleppsdjupet vil fortsatt gi tilfelle med oppstigning til (nær) sjøoverflata på ettervinteren, i tillegg til under før-vinter situasjonen.

Utslepp i 30 meter og 40 meter

Desse utsleppsdjupa gir også tilfelle med oppstigning til overflata på før-vinteren, men det er markert forskjell for antall episoder på vinteren/ettervinteren, i forhold til dei grunnare utsleppa (for. alt. I-III). Utsleppet i 40 meter (for. alt. I-III) ga ofte innlagring nær 40 meters djup. Det kan ikkje utelukkast ein viss risiko for resirkulering av varme ved inntak i 50 meter for dette utsleppet (driftsteknisk faktor), sjølv om det er lite sannsynleg. Utslepp i 30 meter vil i alle fall minimalisere denne risikoen, og synes stå som det mest akseptable utsleppsdjupet for alt. I-III.

Alternativ IV medfører det minste energiutsleppet til resipienten. Det blir hyppig overflatepåverknad for alle utsleppsdyb. Men utslepp i 30 meters dyb gir også for dette alternativet redusert påverknad i øverste 5-10 meter i sjøen (mest produktive sjikt) om sommaren, i forhold til grunnare utslepp. Utslepp i 30 meter eller 40 meter blir derfor tilrådd også for alternativ IV.

5.5. Influensområde

Influensområdet vil vere bestemt av strømforhold, hydrografiske og meteorologiske forhold, samt innlagingsdyb. Effektene av utsleppet vil vere både tidsavhengig og djupneavhengig. Vi har lagt til grunn for definisjon av influensområde yttergrensa for temperatureffekter i sjøoverflata i ekstremisitasjonar. Desse situasjonane gjev relativt stor utstrekning av influensområdet.

For influensområdet syner strømmålingane ein statistisk asymmetri, med størst utstrekning i austleg retning. Det er sannsynleg at perioder med hydrografiske forhold som medfører risiko for innlagring i overflata også for djupaste utsleppsalternativ, kan strekke seg over ei veke eller lenger.

For dei situasjonane som er lagt til grunn, syner berekningane til dels større influensområde for aukande utsleppsdyb. Dette kjem av dei forutsette hydrografiske tilhøva, med relativt varmt djupvatn, og eit kaldt overflatelag. I fortynningsprosessen under oppstigninga av kjølevatnet, vil det relativt varme djupvatnet redusere avkjølingsgraden, og bidra til ekstra stor overtemperatur i overflata.

Dei fire ulike utsleppsalternativa medfører ein varmetilførsel $Q_c dT$ til resipienten på frå 300 MW for kun metanofabrikk, til knapt 900 MW for for 700 MW kraftverk pluss metanolfabrikk. Berekningane i rapporten syner at influensområdet aukar proporsjonalt med energiutsleppet. Dei største utsleppsalternativa berører vestre deler av Kjørsvika (0.5° overtemperatur), men ikkje Dromnessundet i følgje våre berekningar.

5.5.1. Nytt utsleppsalternativ

STATKRAFT vurderer også planer om eit 600 MW kraftverk (15 m³/s, $dT = +7.5^{\circ}\text{C}$ utslepp), saman med Statoil sin metanolfabrikk. Konkrete berekningar for dette femte alternativet er ikkje inkludert i foreliggende prosjekt/rapport. Dette alternativet er litt mindre omfattande enn alternativ III i rapporten. Kvalitative vurderingar for det nye alternativet tilseier at det vil vere tale om ein viss reduksjon i influensområdet i høve til alternativ III, sannsynlegvis av storleiksorden 10%. Risiko for innlagring i overflata vil imidlertid vere tilnærma den samme som for alt. III.

5.6. Resipientens kapasitet for varmemottak.

Det er reist spørsmål om resipientens "varmekapasitet". Våre berekningar gjeld utslepp på inntil 900 MW (alternativ III).

Større energiutslepp enn 900 MW vil sannsynleggjere risikoen for overtemperatur i sjøen i grunne/befolka område som Kjørsvika. 2000 MW varmetilførsel har tidlegare vore framsett som grense for resipientens kapasitet. Ein så stor varmetilførsel vil sannsynlegvis medføre

at store deler av Kjørsvika bli liggande innafor 1-grad isotermeren for overtemperatur i overflata. Dromnessundet vil truleg fortsatt bli liggande utanfor influensområdet. Eit 900 MW utslepp medfører ein moderat risiko for 0.5° overtemperatur i Kjørsvika i følgje våre berekningar. Ved større utslepp enn dette vil risikoen auke. Ut frå vurdering av påverknad i Kjørsvika, er det sannsynleg at resipientens kapasitet er av storleiksorden 1000 MW, altså om lag halvparten av det som tidlegare har vore antatt.

LITTERATUR

Bjerkeng, B., J. Knutzen og J. Magnusson 1979: Vurdering av vannutslipp fra kullfyrt kraftverk med sjøvannsvasking av røykgasser. 2. Dyputslipp av vaskevann, Rapp. nr. o-78033, NIVA, Oslo.

Bjerkeng, B. 1979; Diffusor og Initialfortynning. Brukerbeskrivelse for programmet JETMIX. Notat, NIVA oslo.

Brooks, N. H. 1960: Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean Current. Proc., Conf. on Waste Disposal in the Mar. Env., Pergamon Press, New York.

Brun, P. F. og T. Haugen 1990: Overvaking av fjordar og vassdrag i Møre og Romsdal 1986-1988. Rapp. nr. 2/90 Fylkesmannen i Møre og Romsdal, Molde, 104s.

Cederwall, K. 1968: Hydraulics of marine waste water disposal. Rapp. nr. 42/1968 Chalmers tekn. høgskole, Göteborg.

Den Norske Los, Bind 4 og 5, Norges Sjøkartverk, Stavanger.

Fischer, H. B., E. J. List, R. Koh, J. Imberger og N. H. Brooks 1979: Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press Inc., New York.

Haugen, I. og H. Kristiansen 1988: Gasskraftverk på Kårstø. Bruk av begroingshindrende middel. Rapp. nr. 2128, NIVA, Oslo (sperrert).

Knutzen, J., B. Bjerkeng og L. Kirkerud 1978: Vurdering av vannutslipp fra kullfyrt kraftverk med sjøvannsvasking av røykgasser. Rapp. nr. O-33/78 NIVA, Oslo.

MILJØPLAN 1988: Transportsystem for Haltenbanken - Konsekvenser av utslipp og støy fra anlegg på land. Tilleggsanalyser 1988.
Rapp. A/S MILJØPLAN 20/12 1988.

Nilsen, J. og E. Hansen 1980: Temperatur- og saltholdighetsforhold i en rekke norske fjorder den kalde vinteren 1978/79. Rapp. STF60 A80030 NHL, Trondheim.

Orlob, G. T. 1959: Eddy Diffusion in Homogeneous Turbulence. Journ. Hydr. div., Am. Soc. Civ. Eng., s. 75-101.

Sorensen, R. M. 1978: Basic Coastal Engineering. John Wiley & Sons, New York.

STATKRAFT 1989: Gasskraftverk Midt-Norge. Lokalisering av av Gasskraftverk basert på gass fra Haltenbanken. Rapp. Statkraft, Oslo 1989 (ikke offentlig).

Steen, J.-E., H. Rye og A. Thendrup 1981: Temperaturforhold i Norske Kystfarvann. Rapp. STF60 A81039 NHL/SINTEF, Trondheim.

Sündermann, J. (red) 1986: Numerical data and functional relationships in science and technology. New Series, Vol V/3a, Springer, Berlin.

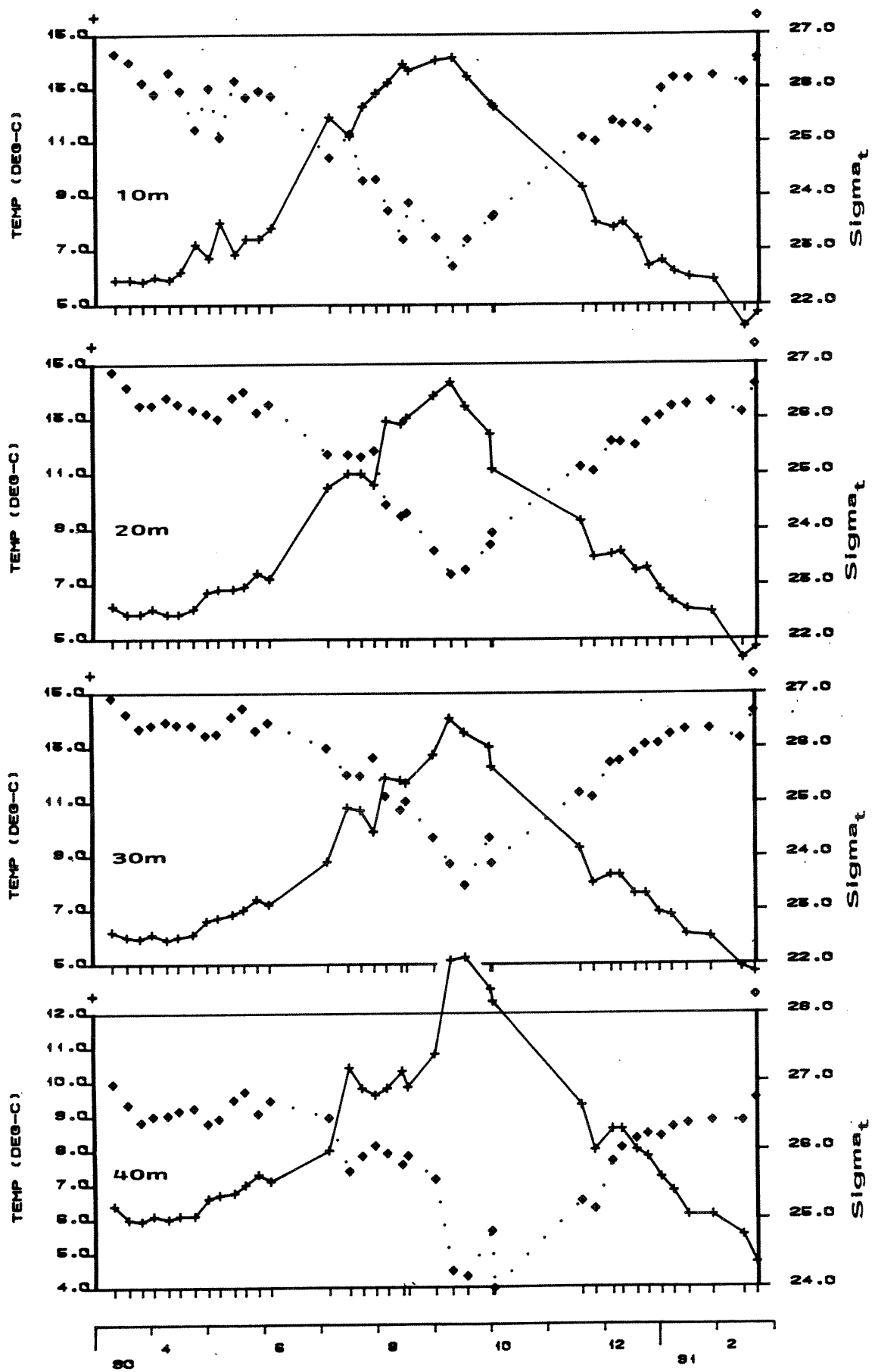
Wiegel, R. L. 1964: Oceanographic Engineering. Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, N. J., USA (532s).

FIGURVEDLEGG

Figur A1 - A19

- Figur A1.** Målt sjøtemperatur og σ_t i 10m, 20m, 30m og 40 m djup ved Tjeldbergodden (T1) i perioden mars 1990 til februar 1991.
- Figur A2.** Tidsserier av målt sjøtemperatur og salinitet, samt berekna densitet (σ_t) i 4 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A3.** Tidsserie av målt sjøtemperatur (T, °C) og salinitet (S, o/oo) ved Tjeldbergodden i 40 meters djup i perioden 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A4.** Tidsserier av målt sjøtemperatur og salinitet, samt berekna densitet (σ_t) i 4 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A5.** Tidsserier av målt temperatur og salinitet, samt berekna densitet (σ_t) i 40 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A6.** Tidsserier av sjøens temperatur og salinitet i Dromnessundet (R2) i 4 meters djup i perioden 17/8-20/9 1990. Måleintervall var 20 minutt. Den glatte kurven representerer 25 timars glidande middel.
- Figur A7.** Tidsserie av målt strømfart (cm/s) ved Tjeldbergodden i 4 meters djup. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt. Heiltrukken linje viser 25 timars glidande middel.
- Figur A8.** Statistisk fordeling av strømobserasjonane ved Tjeldbergodden, 4 m djup i perioden 26/3-14/5 1990. Obserasjonane er fordelt i retningsintervall på 15°.
- Figur A9.** Tidsserie av målt strømfart (F, cm/s) og strømrøtning (A, grader) ved Tjeldbergodden i 40 meters djup. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A10.** Tidsserier av målt strømfart i 4 meters djup ved Tjeldbergodden i perioden 17/8-1/10 1990. I perioden 14/8-17/8 var riggen ute av funksjon (sjå teksten). Kurve for 25 timars glidande middel er også representert.
- Figur A11.** Tidsserier av målt strømfart i 40 meters djup ved Tjeldbergodden i perioden 17/8-1/10 1990. I perioden 14/8-17/8 var riggen havarert (sjå teksten).

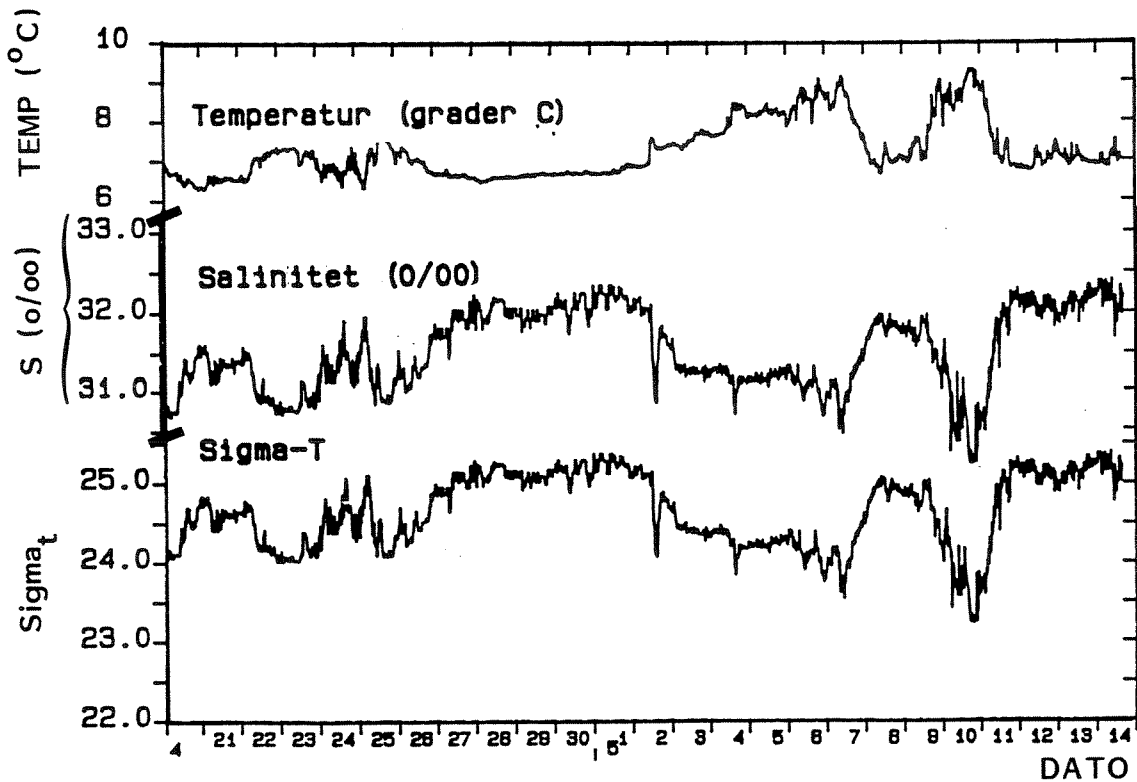
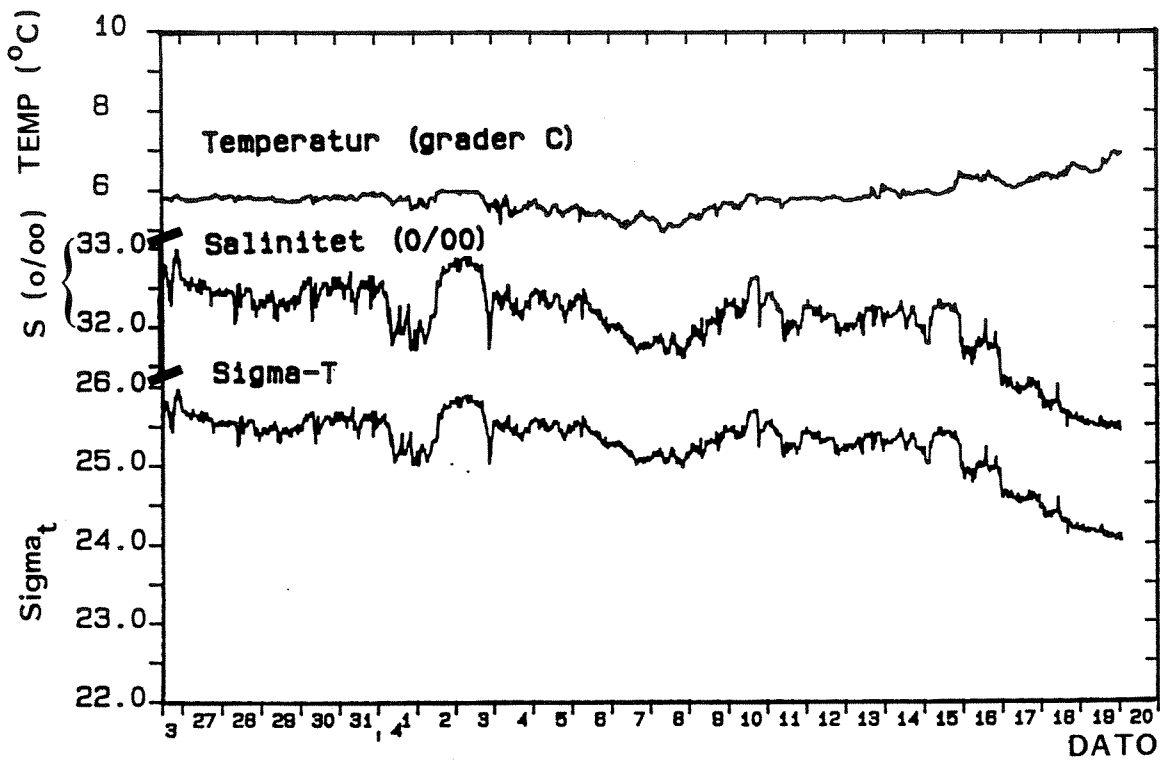
- Figur A12.** Statistisk fordeling av strømobservasjonane i 4 meter (øverst) og 40 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990.
- Figur A13.** Kumulativ fordeling av observasjonane av strømfart ved Tjeldbergodden i 4 og 40 meters djup. Periode 17/8-1/10 1990.
- Figur A14.** Tidsseriar av målt strømfart og strømrøtning i Dromnessundet (R2) i perioden 17/8-20/9 1990. Måleintervall var 20 minutt.
- Figur A15.** Tidsseriar av målt strømfart (SPD) og røtning (DIR), samt tilhøyrande måledjup (PRS) i posisjon T1 17/8 1990 kl. 18. Det blei profilert med UCM sonde frå overflate til ca. 40 meters djup. Data både frå nedfiring og opphaling.
- Figur A16.** Tidsseriar av målt strømfart (SPD) og røtning (DIR), samt tilhøyrande måledjup (PRS) i posisjon R2 (Dromnessundet) den 17/8 1990 kl. 1645. Det blei profilert to gonger med UCM sonde frå overflate til 8-10 meters djup. Data både frå nedfiring og opphaling 1. og 2. gang.
- Figur A17.** Strømkorsobservasjonar ved Tjeldberodden 14/5, 1/10 og 2/10 1990.
- Figur A18.** Strømkorsobservasjonar i Dromnessundet 14/5, 17/8 og 1/10 1990.
- Figur A19.** Vindobservasjonar frå Ørlandet i perioden 20/3-20/5 (øverst) og 15/8-1/10 1990. Kjelde: Meteorologisk Institutt.



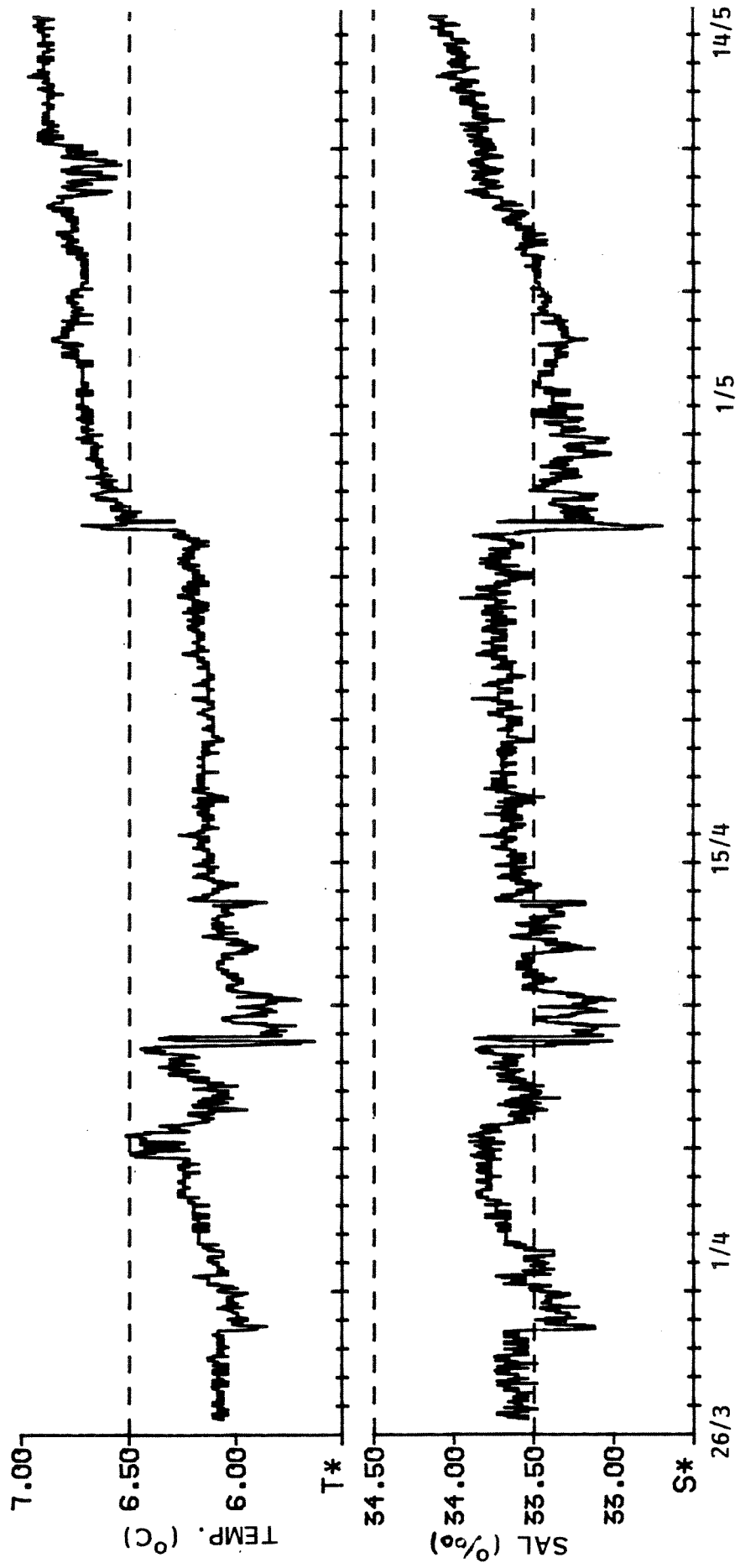
Figur A1. Målt sjøtemperatur og σ_{t} i 10m, 20m, 30m og 40 m djup ved Tjeldbergodden (T1) i perioden mars 1990 til februar 1991.

Lok: Tjeldbergodd

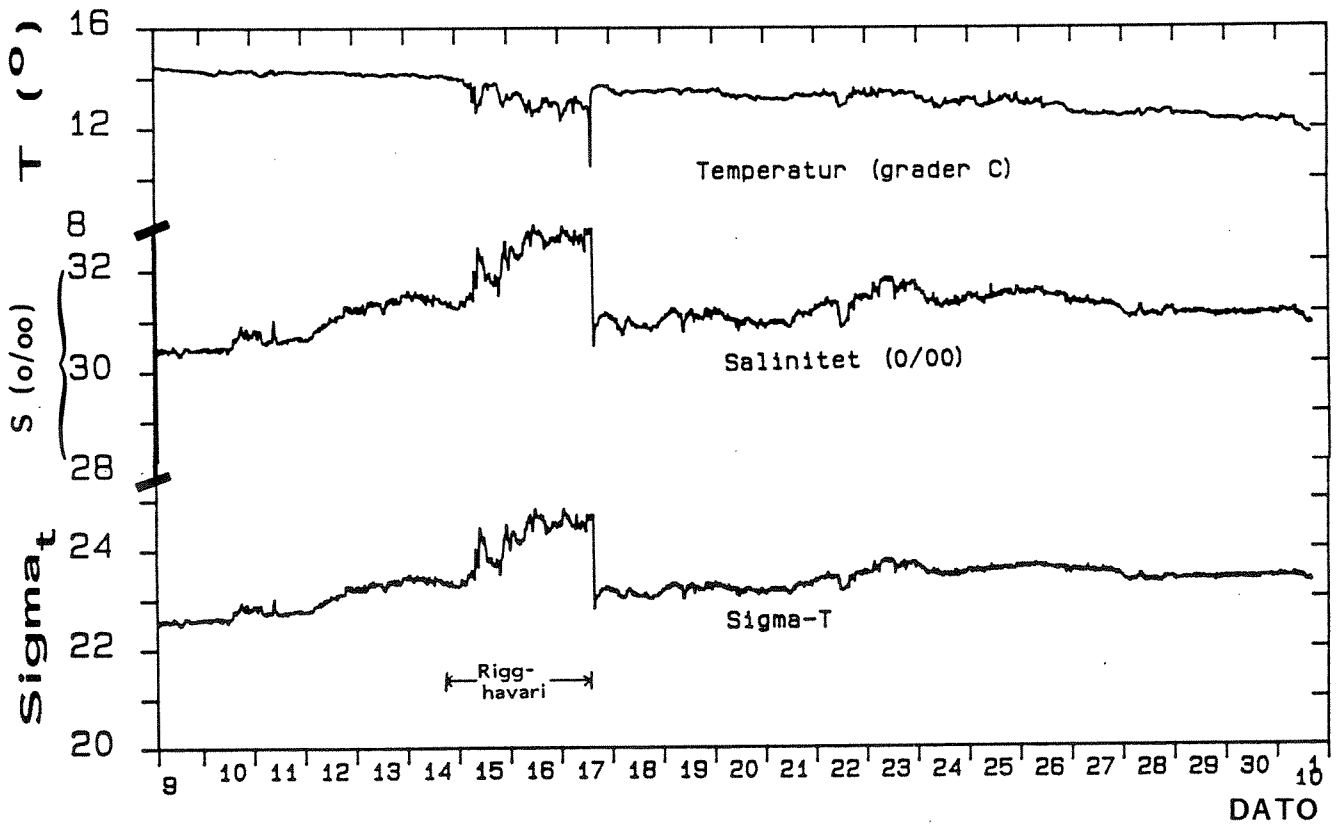
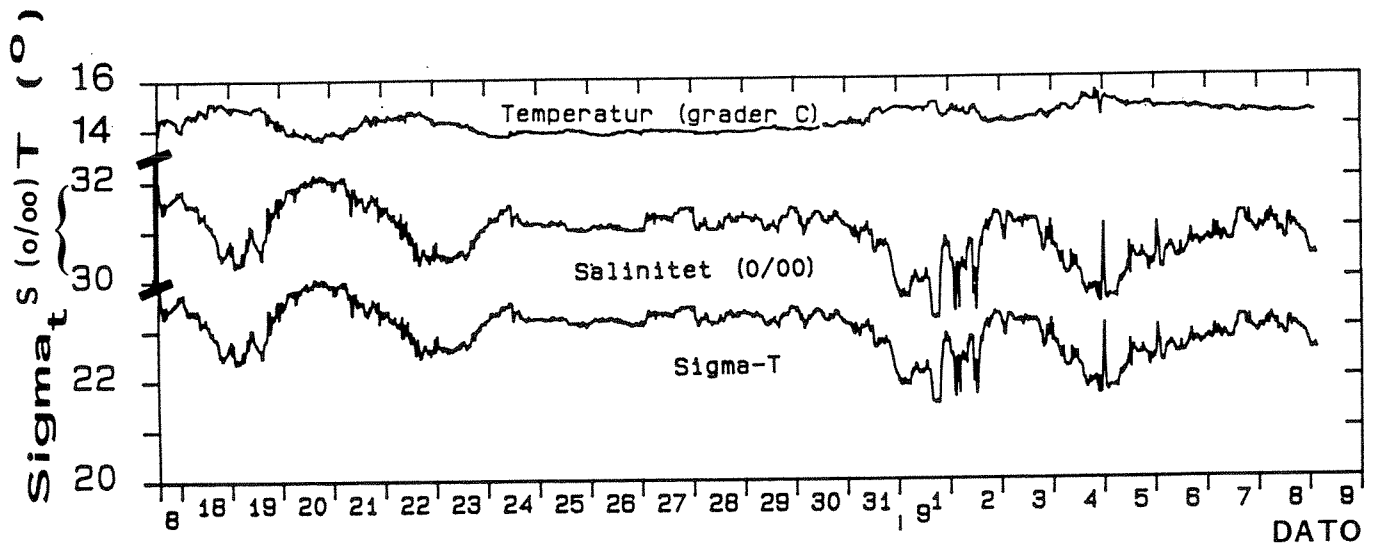
Stasj.: 183-67



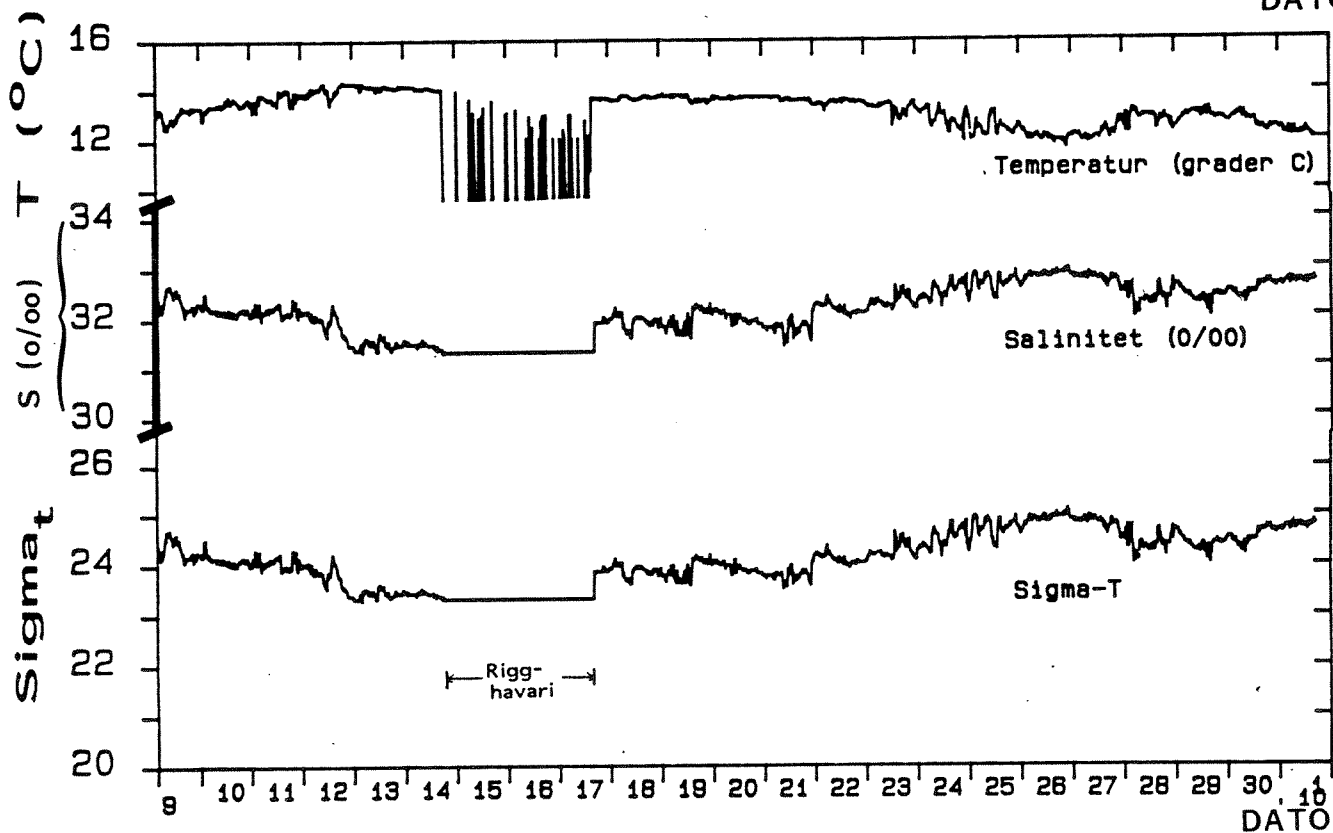
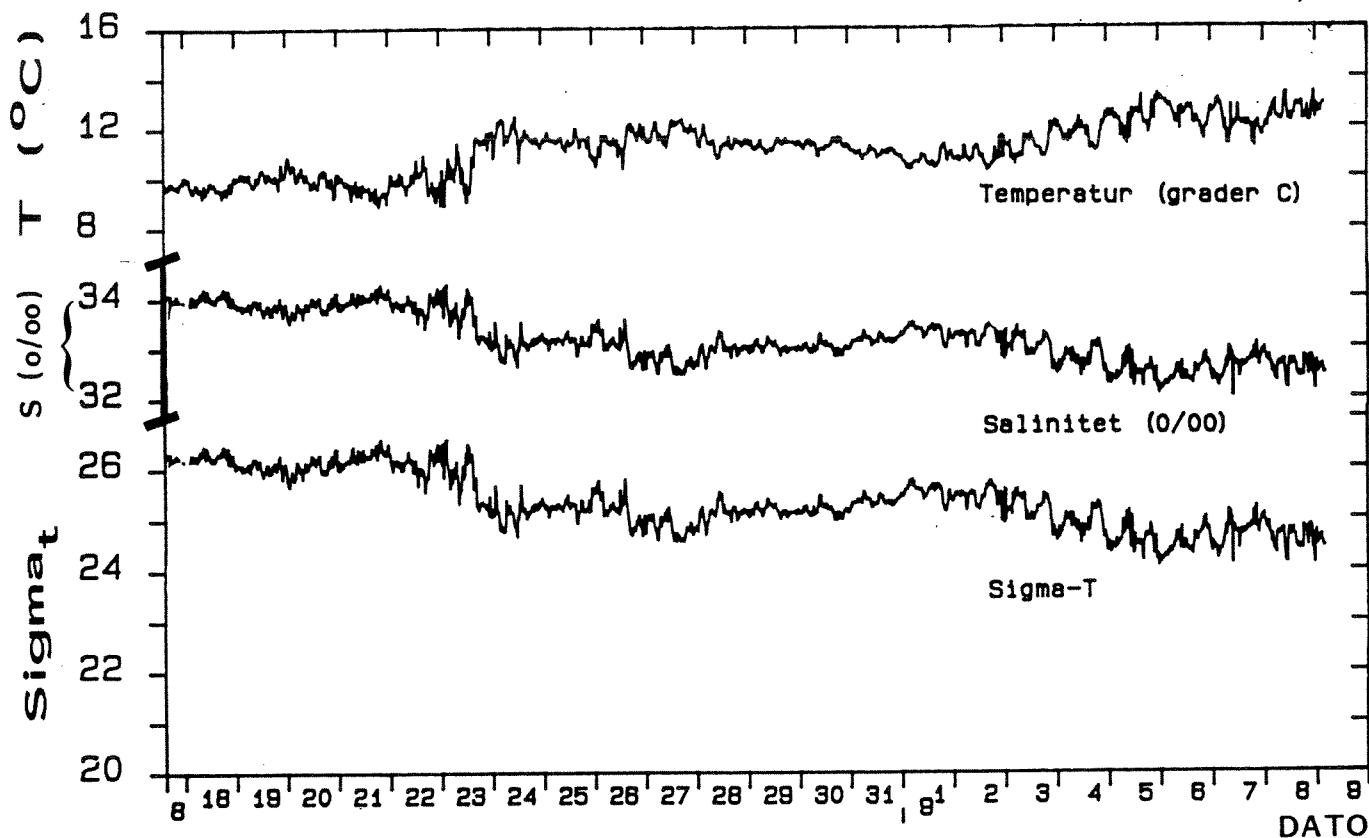
Figur A2. Tidsserier av målt sjøtemperatur og salinitet, samt berekna densitet (sigma-t) i 4 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.



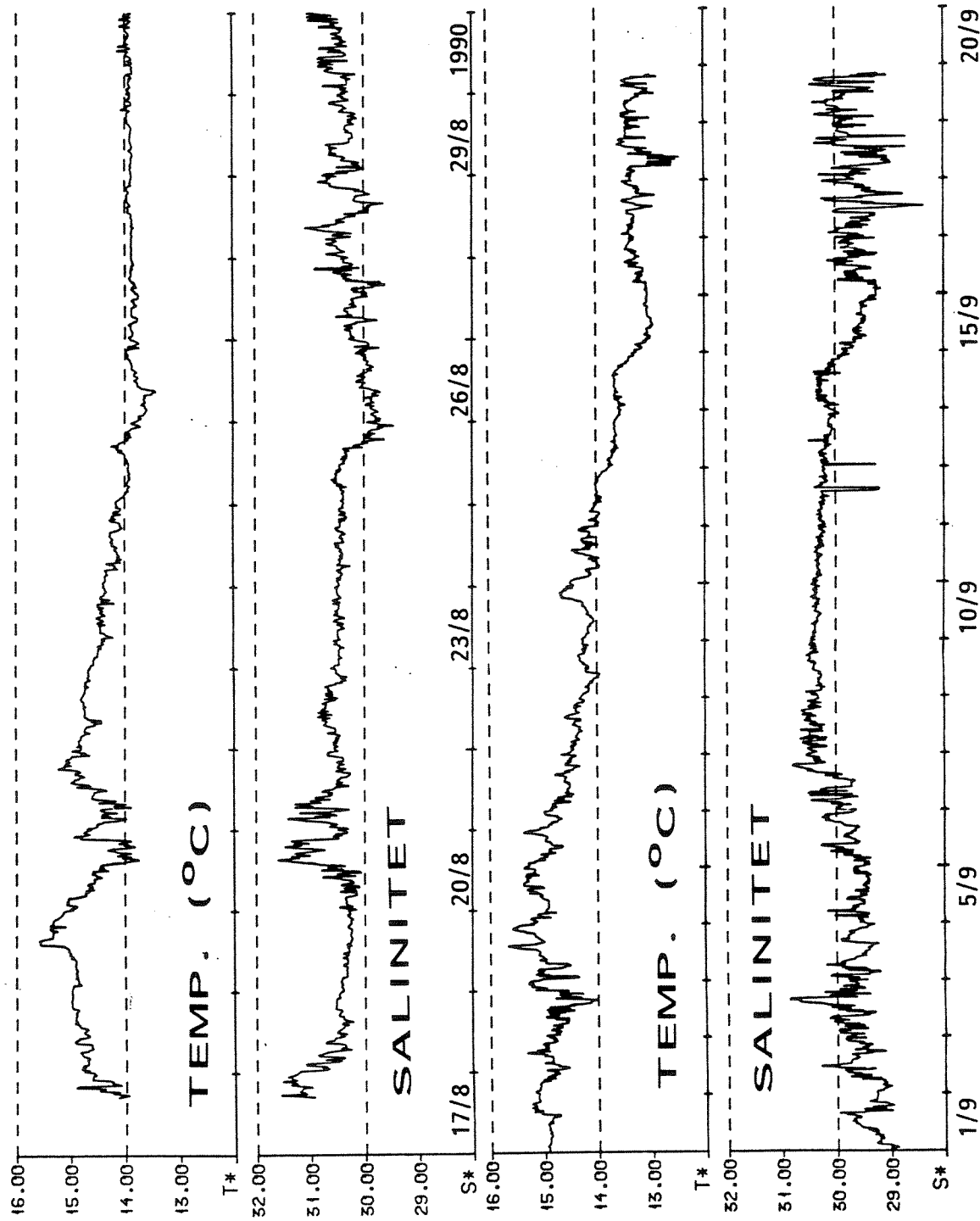
Figur A3. Tidsserie av målt sjøtemperatur (T, C) og salinitet (S, o/oo) ved Tjeldbergodden i 40 meters djup i perioden 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.



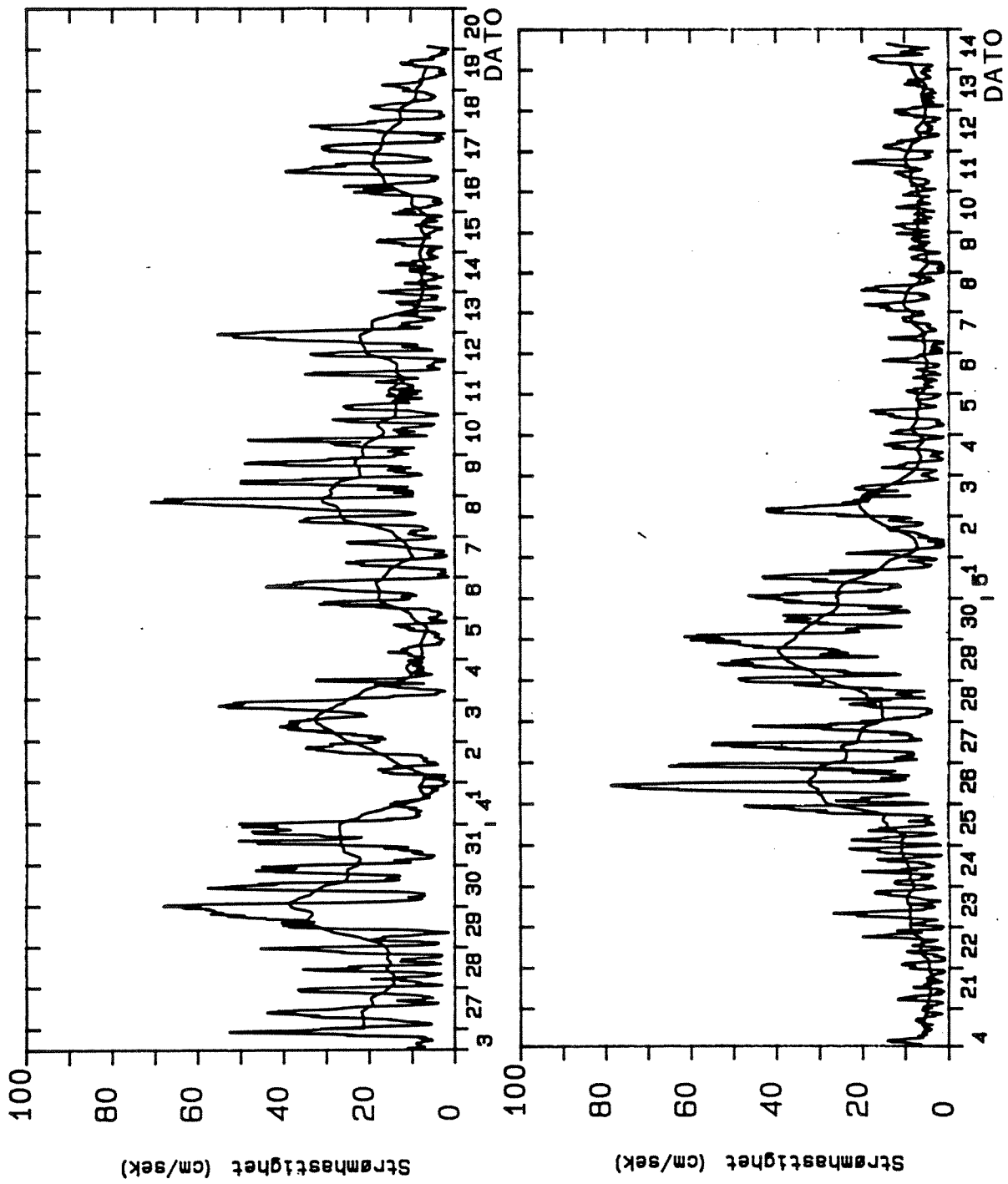
Figur A4. Tidsserier av målt sjøtemperatur og salinitet, samt berekna densitet (sigma-t) i 4 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990. Måleintervall var 20 minutt.



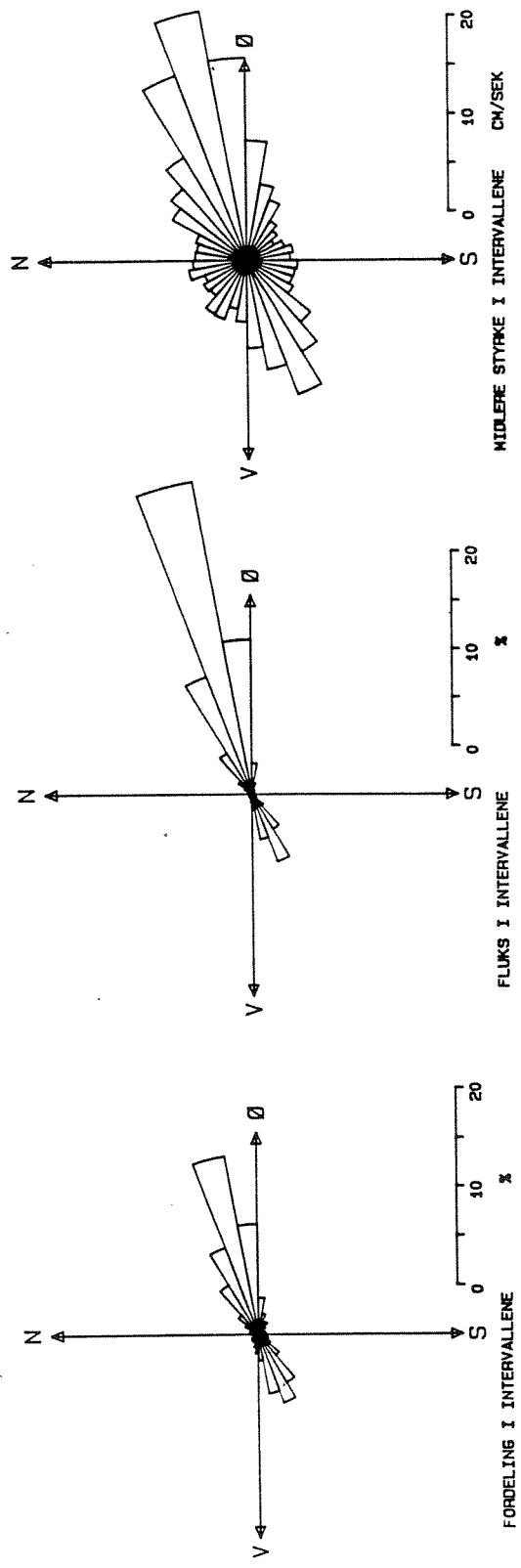
Figur A5. Tidsserier av målt temperatur og salinitet, samt berekna densitet (sigma-t) i 40 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990. Måleintervall var 20 minutt.



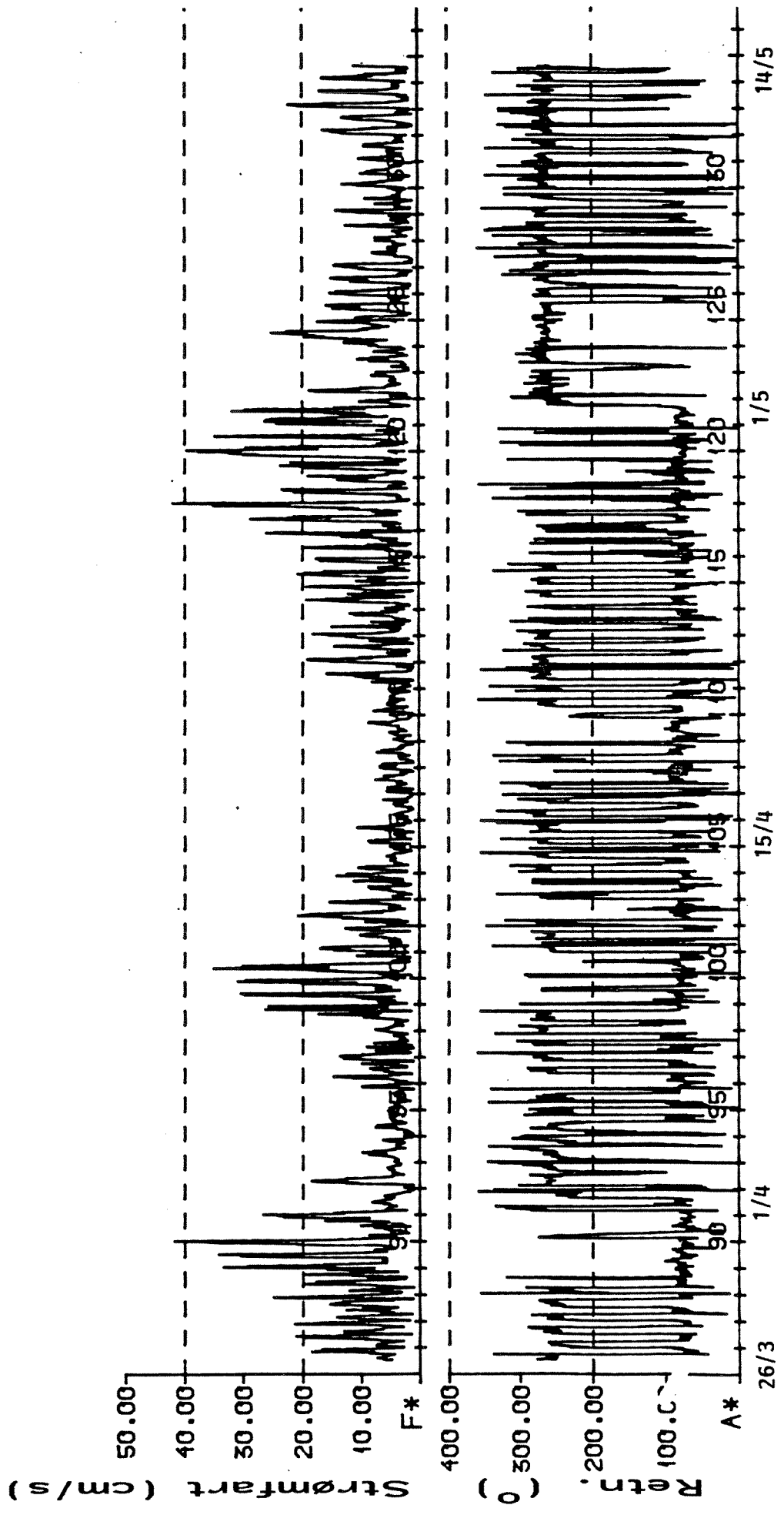
Figur A6. Tidsserier av sjøens temperatur og salinitet i Dromnessundet (R2) i 4 meters djup i perioden 17/8-20/9 1990. Måleintervall var 20 minutt.



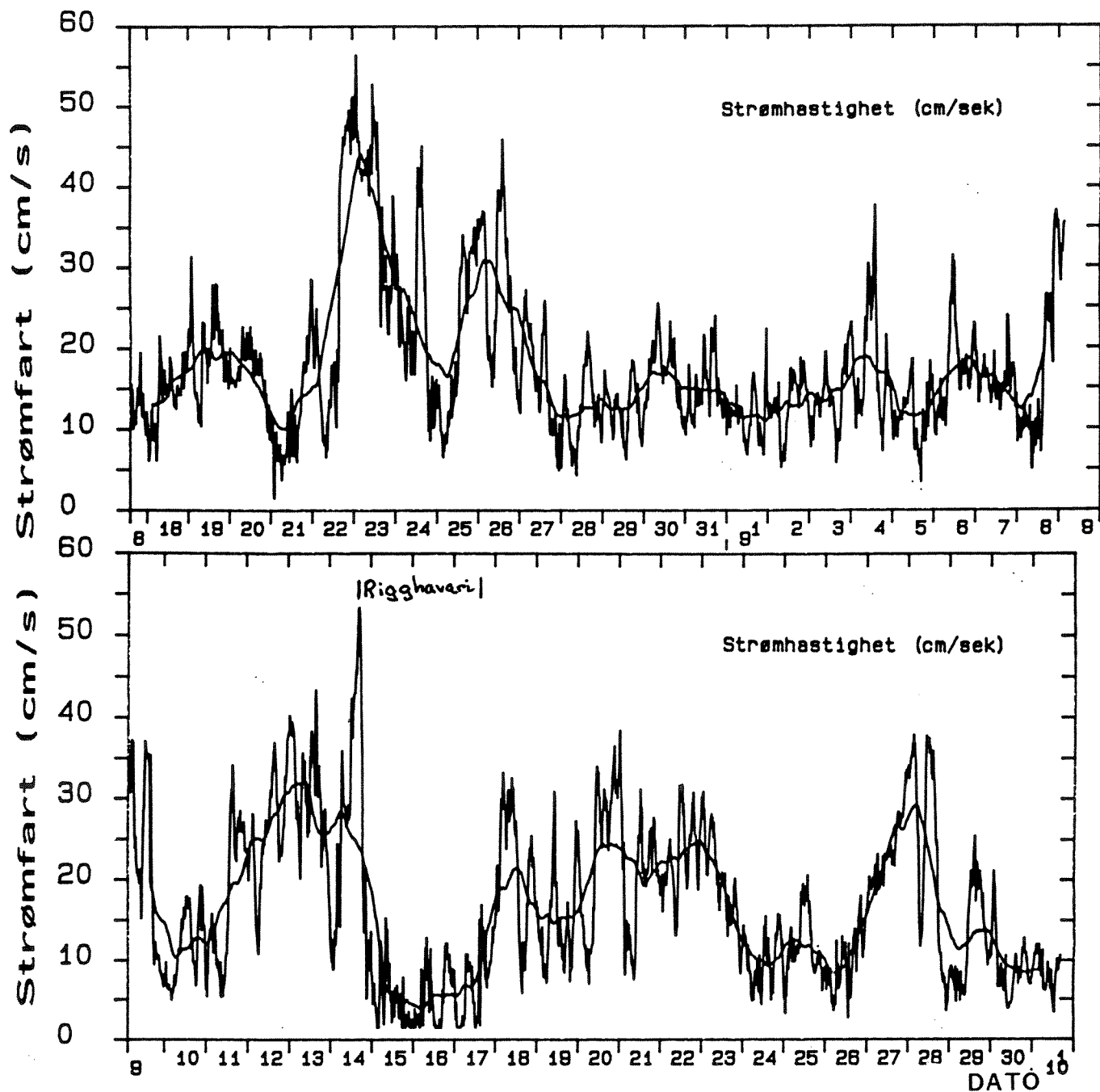
Figur A7. Tidsserie av målt strømfart (cm/s) ved Tjeldbergodden i 4 meters djup. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt. Den glatte kurven representerer 25 timers glidende middel.



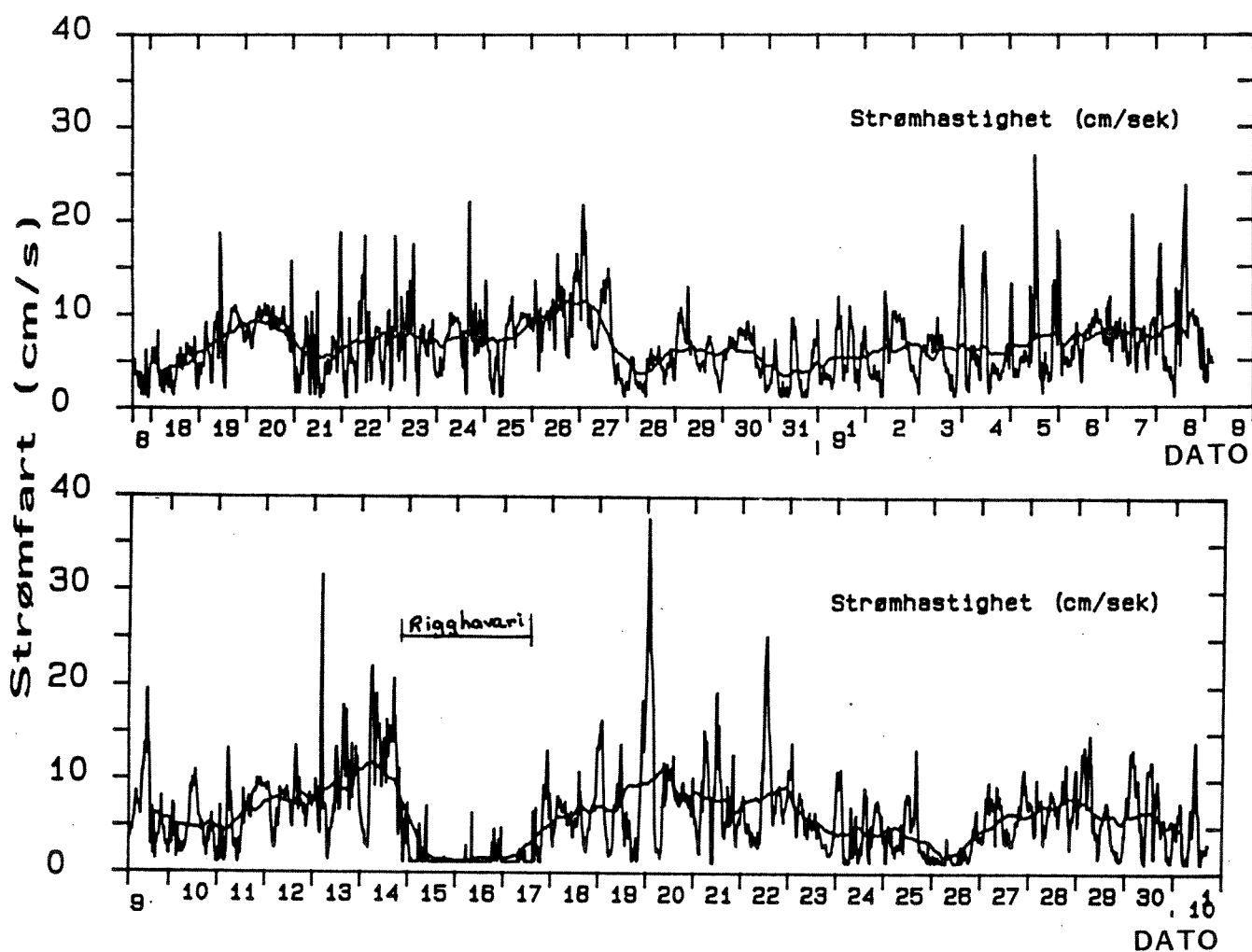
Figur A8. Statistisk fordeling av strømobservasjonene ved Tjeldbergodden, 4 m djup i perioden 26/3-14/5 1990. Observasjonene er fordelt i retningsintervall på 10°.



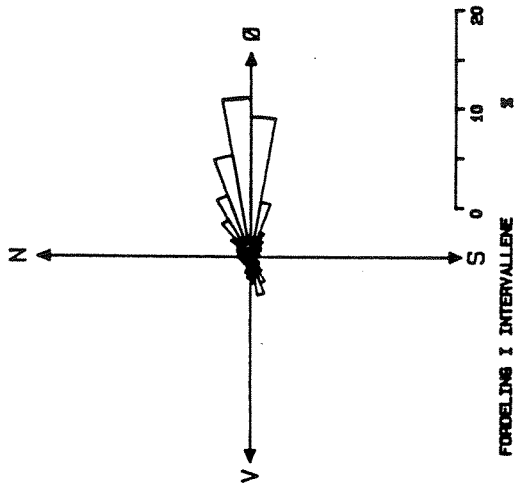
Figur A9. Tidsserie av målt strømfart (F, cm/s) og strømretning (A, grader) ved Tjeldbergodden i 40 meters djup. Periode 26/3-14/5 1990. Måleintervall var 20 minutt.



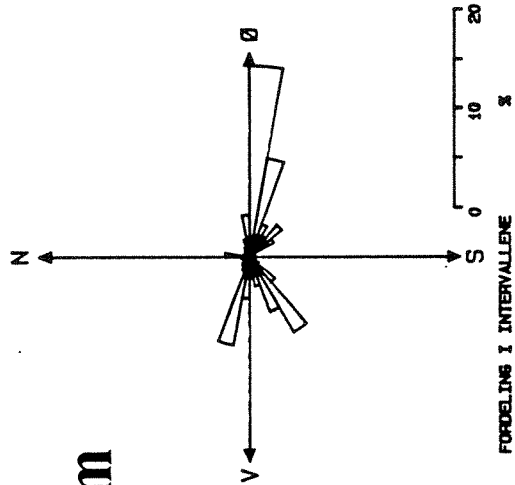
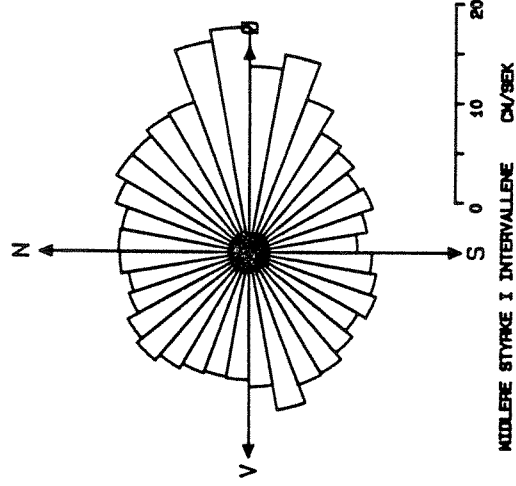
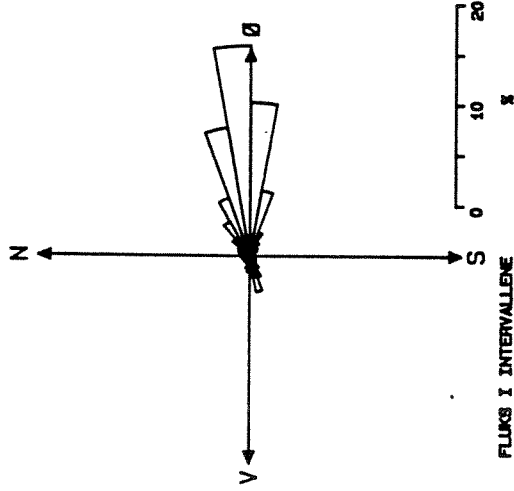
Figur A10. Tidsserier av målt strømfart i 4 meters djup ved Tjeldbergodden i perioden 17/8-1/10 1990. I perioden 14/8-17/8 var riggen ute av funksjon (sjå teksten). Kurve for 25 timers glidande middel er også representert.



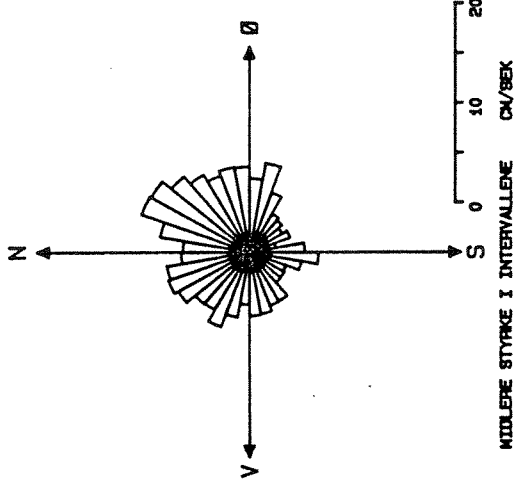
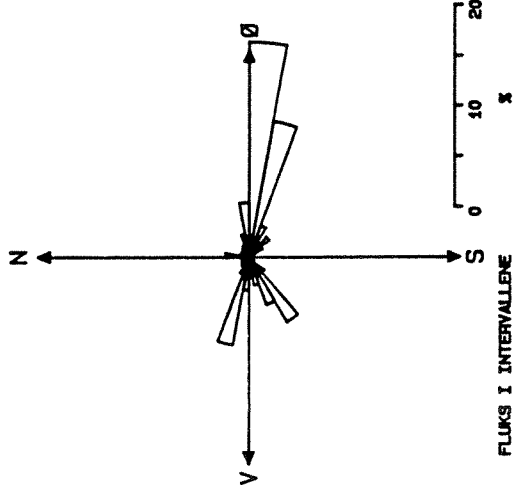
Figur A11. Tidsserier av målt strømfart i 40 meters djup ved Tjeldbergodden i perioden 17/8-1/10 1990. I perioden 14/8-17/8 var riggen havarett (sjå teksten).
Kurve for 25 timars glidande middel er også representert.



4m



40m



LOKALISERING : Aune

STARTDATO : 900817

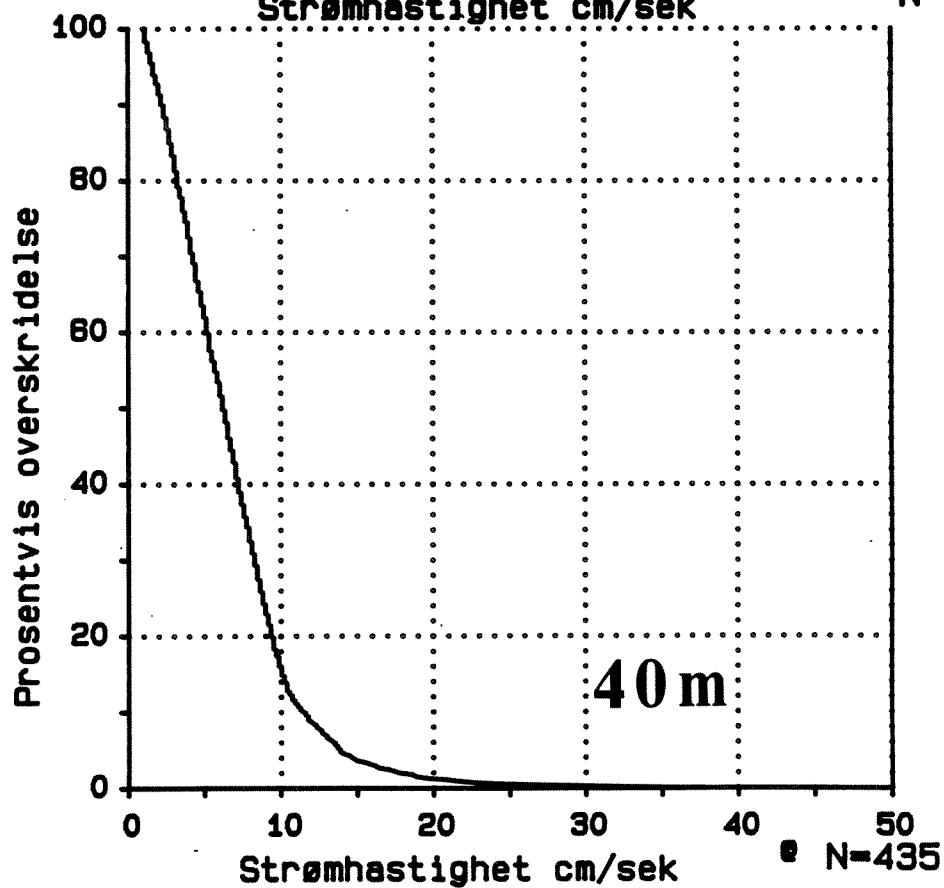
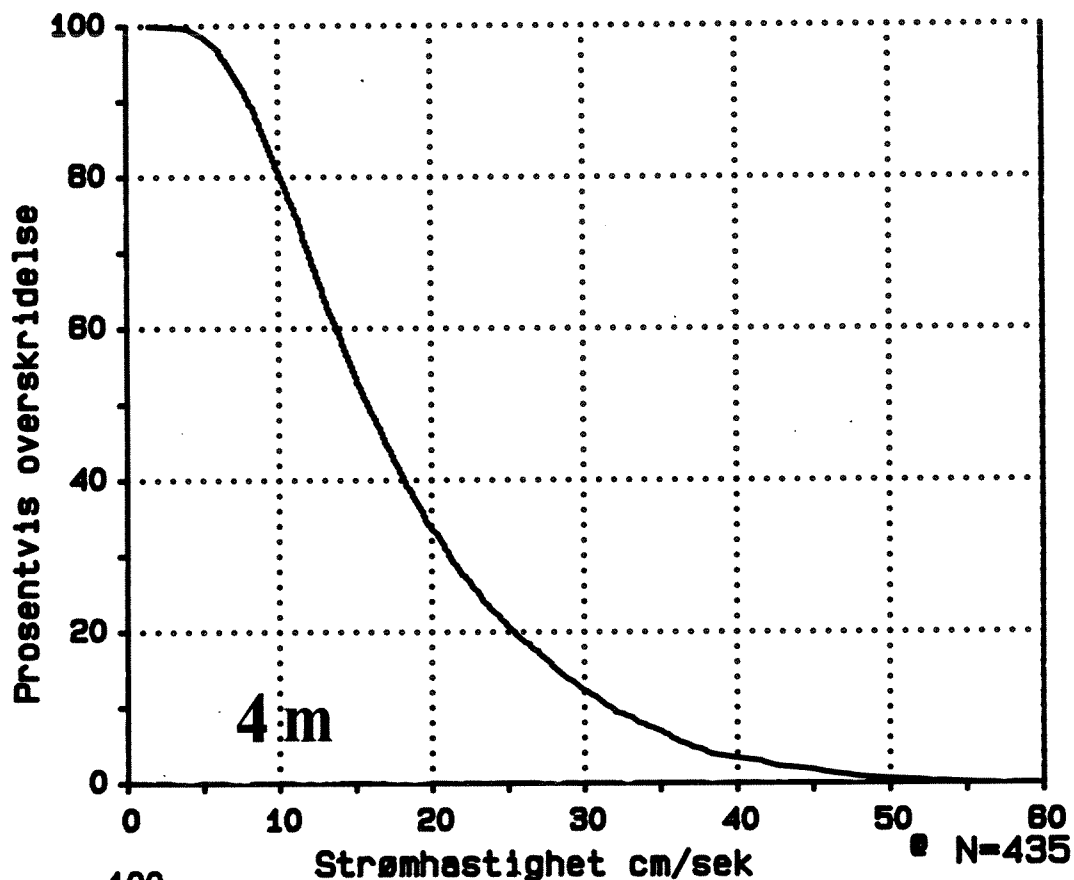
KL.: 14.55

SLUTTDATO : 900928

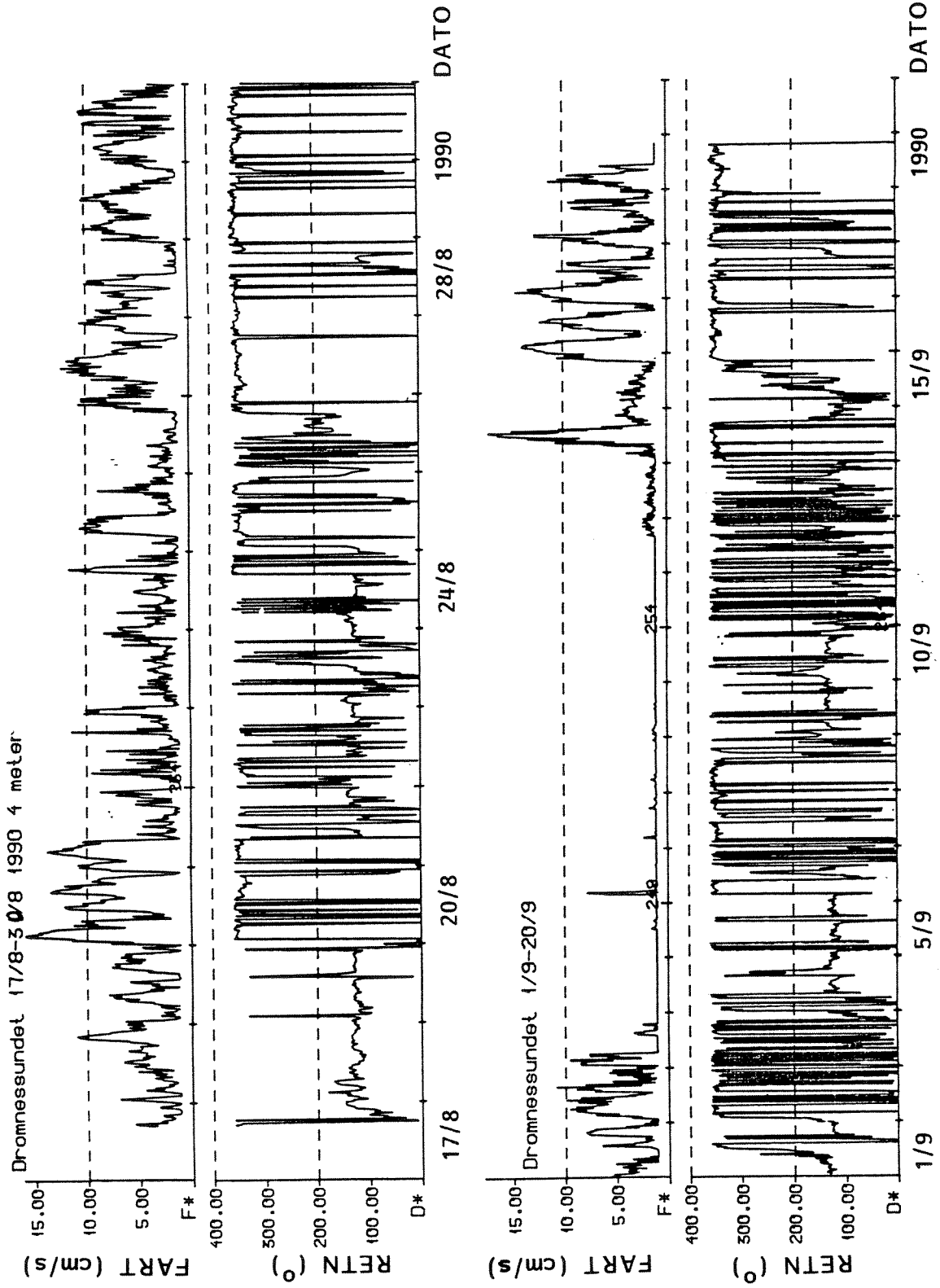
KL.: 19.15

Figur A12. Statistisk fordeling av strømobservasjonane i 4 meter (øverst) og 40 meters djup ved Tjeldbergodden. Periode 17/8-1/10 1990.

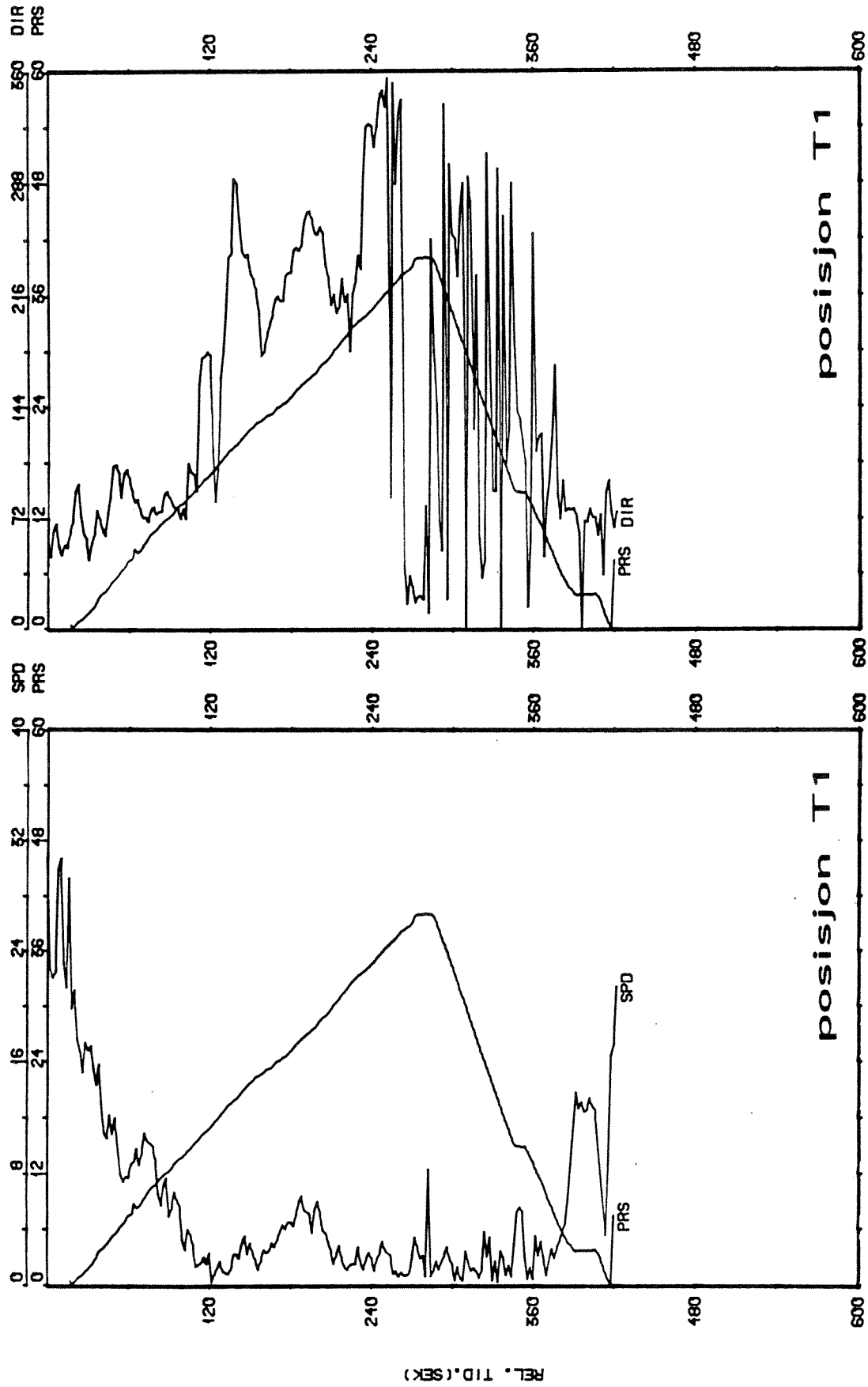
Aure Rigg: R1



Figur A13. Kumulativ fordeling av observasjonane av strømfart ved Tjeldbergodden i 4 og 40 meters djup. Periode 17/8-1/10 1990.



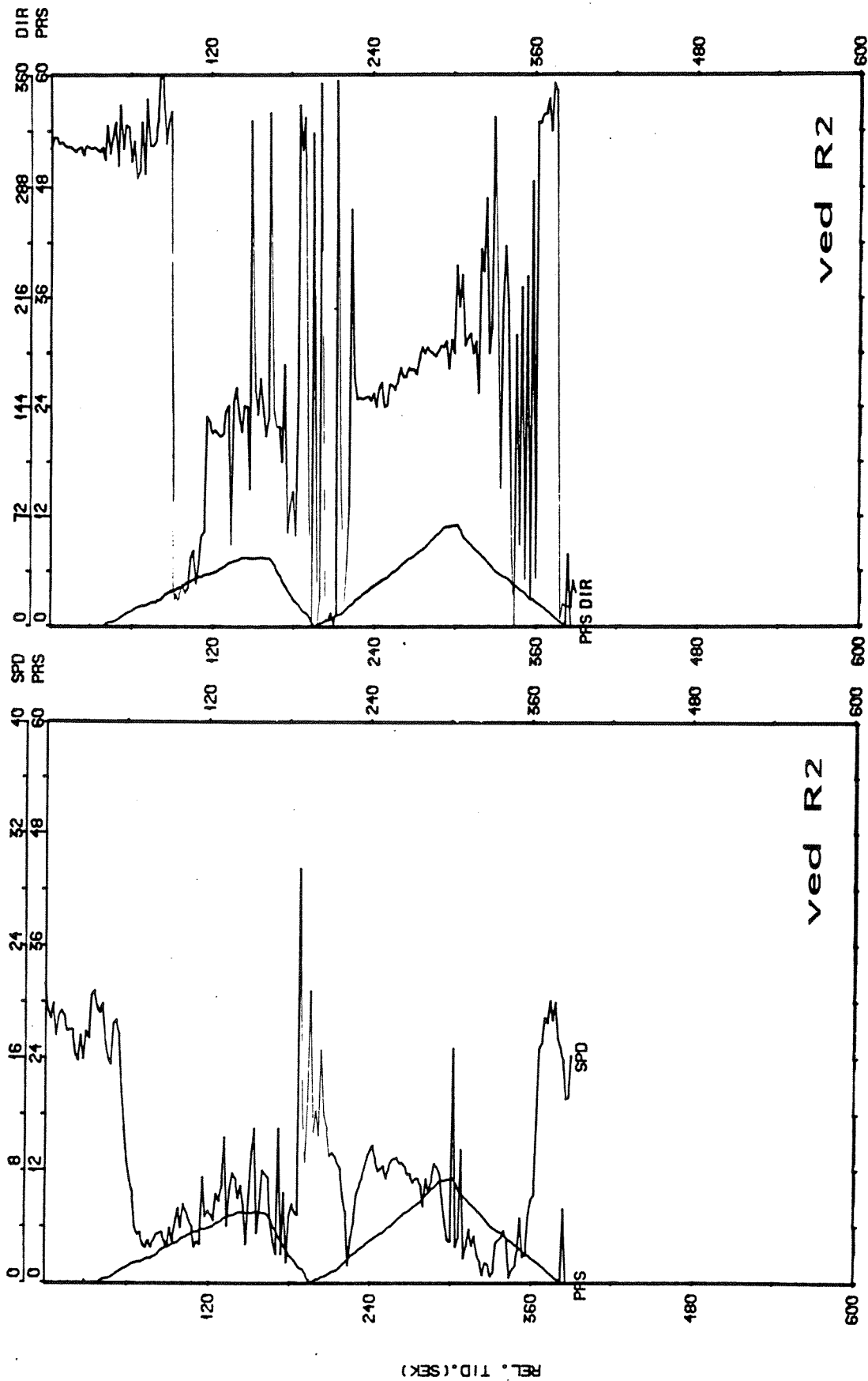
Figur A14. Tidsserier av målt strømfart og strømretning i Dromnessundet (R2) i perioden 17/8-20/9 1990. Måleintervall var 20 minutt.



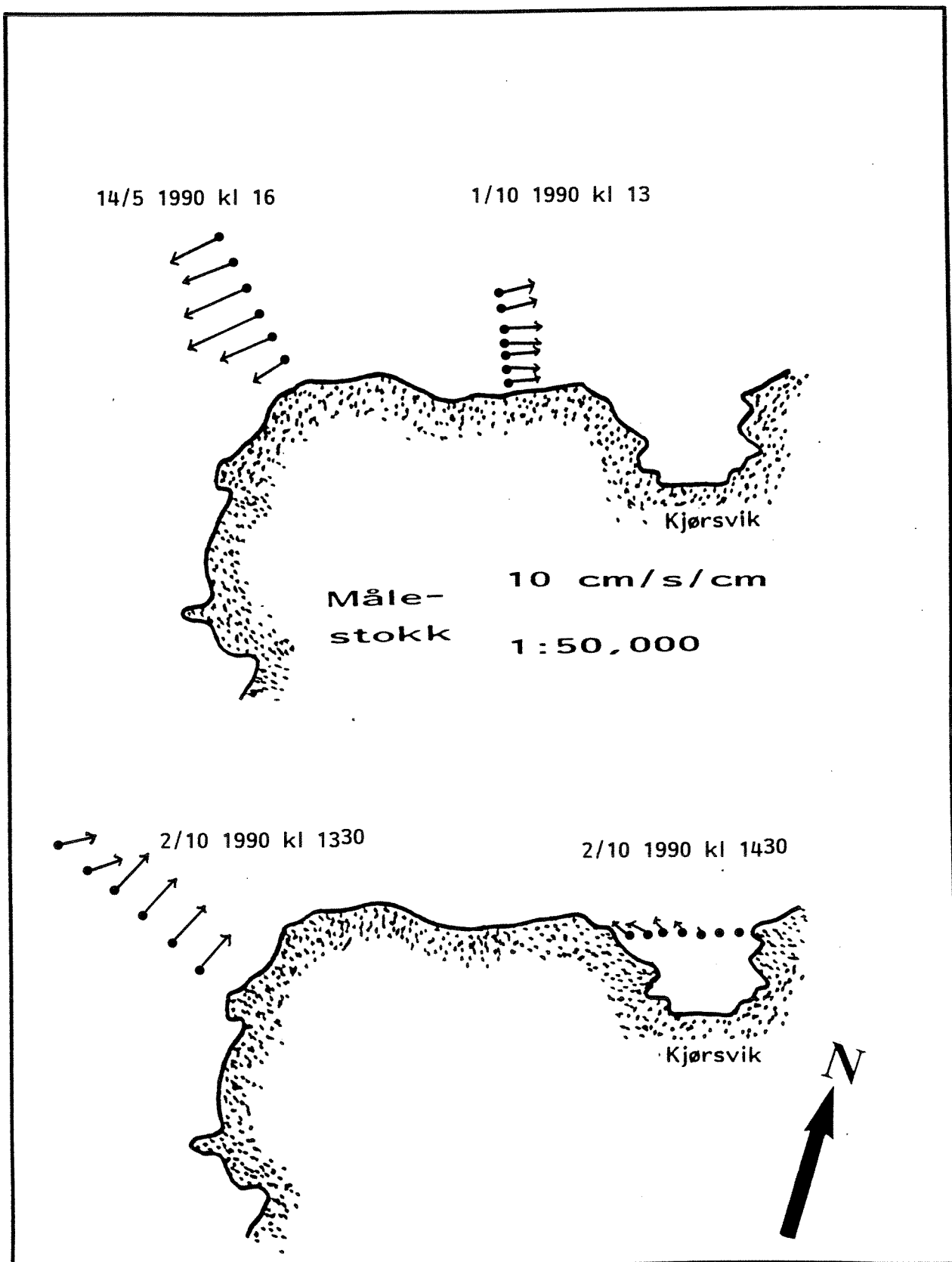
VERTIKAL PROFIL: T. JELDBERG UCM
 STNR 66 ; POS:63.252°N 8.415°E ; DATO:90. 8.17 : 18. 8

VERTIKAL PROFIL: T. JELDBERG UCM
 STNR 66 ; POS:63.252°N 8.415°E ; DATO:90. 8.17 : 18. 8

Figur A15. Tidsserier av målt strømfast (SPD) og retning (DIR), samt tilhørende måledjup (PRS) i posisjon T1 17/8 1990 kl. 18. Det blei profilert med UCM sonde fra overflate til ca. 40 meters djup. Data både fra nedfiring og opphaling.



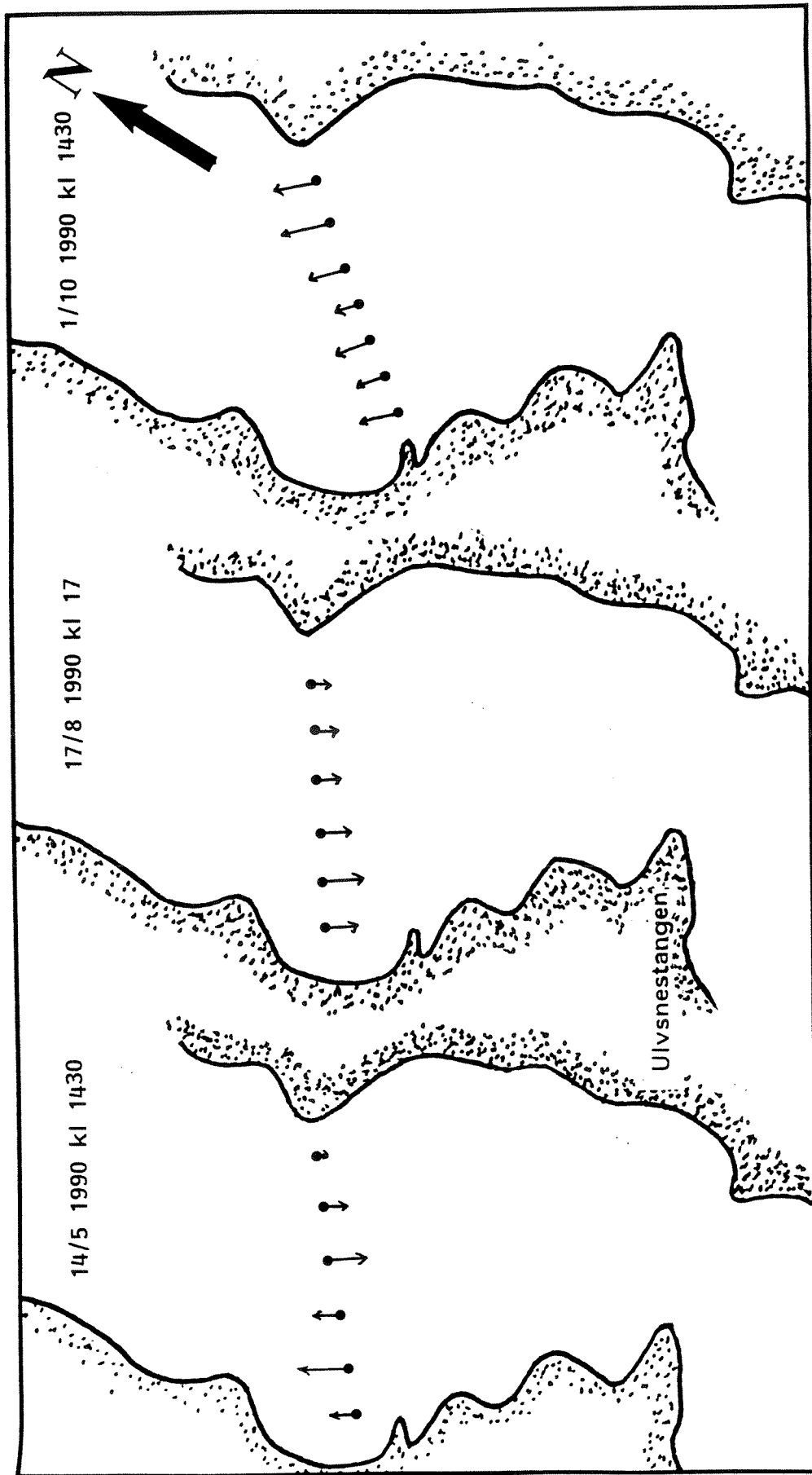
Figur A16. Tidsserier av målt strømfart (SPD) og retning (DIR), samt tilhørende måledjup (PRS) i posisjon R2 (Dromnessundet) den 17/8 1990 kl. 1645. Det blei profilert to ganger med UCM sonde fra overflate til 8-10 meters djup. Data både fra nedfiring og opphaling 1. og 2. gang.



TJELDBERGODDEN AURE

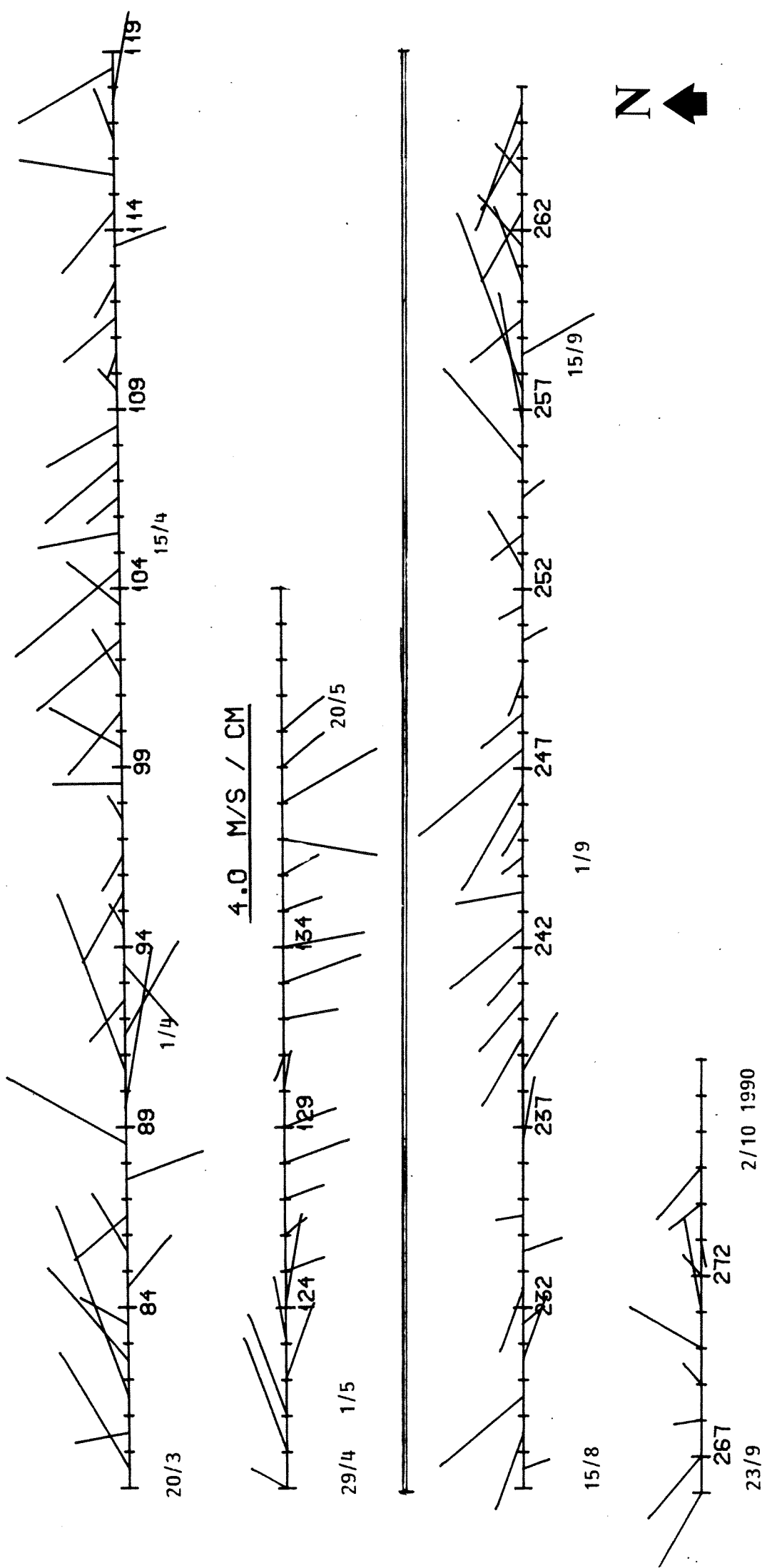
Figur A17. Strømkorsobservasjonar ved Tjeldberodden 14/5, 1/10 og 2/10 1990.

Målestokk: 1 : 25,000, 10 cm/s/cm



DROMNESSUNDET AURE

Figur A18. Strømkorsobservasjonar i Dromnessundet 14/5, 17/8 og 1/10 1990.



Figur A19. Vindobservasjoner fra Ørlandet i perioden 20/3-20/5 (øverst) og 15/8-1/10 1990. Kjelde: Meteorologisk Institutt.

Skalering: 4 m/s pr. cm

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, 0808 Oslo
ISBN 82-577-1967-6