

RAPPORT LNR 3753-97

Oppfølgende
resipientundersøkelse i
Røyklibotn sommeren
1996

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Oppfølgende resipientundersøkelse i Røyklibotn sommeren 1996	Løpenr. (for bestilling) 3753-97	Dato 12.12.97
	Prosjektnr. Undernr. O-96151	Sider Pris 43
Forfatter(e) Torbjørn M. Johnsen Einar Nygaard Eivind Oug	Fagområde Marin eutrofi	Distribusjon
	Geografisk område Nord-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Neptun Settefisk A/S	Oppdragsreferanse Per Devik
--	--------------------------------

Sammendrag

I rapporten beskrives bunndyrfauna, sedimentkjemi og vannkvalitet i Røyklibotn som er resipient for settefiskproduksjonen ved Neptun Settefisk A/S. Undersøkelsen viser at bunndyrfaunaen i Røyklibotns ytre basseng - Kjelheimbassenget - har endret seg lite de siste 12 årene, mens det i dypområdet i Indre Røyklibotn nærmest er livløst, sannsynligvis på grunn av periodevis oksygenmangel. Kjemiske analyser av sedimentet tyder på hovedsaklig belastning av organisk materiale av terrestrisk opprinnelse. Fjordforbedringstiltak i form av neddykket ferskvannsutslipp i Indre Røyklibotn har økt resipientens kapasitet, men manglende miljøovervåkning gjør det vanskelig å bedømme dagens resipientkapasitet.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Akvakultur	1.
2. Settefisk	2.
3. Miljøbelastning	3.
4. Fjordforbedring	4.


Torbjørn M. Johnsen
Prosjektleder

ISBN 82-577-3323-7


Bjørn Braaten
Forskningsjef

OPPFØLGENDE
RESIPIENTUNDERSØKELSE
I
RØYKLIBOTN
SOMMEREN 1996

Prosjektleder: Torbjørn M. Johnsen
Medarbeidere: Einar Nygaard
Eivind Oug

Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) på oppdrag fra Neptun Settefisk A/S med Per Devik som kontaktperson. Rapporten er en videreføring av tidligere undersøkelser i Røyklibotn.

Oksygen er analysert ved NIVA-Vestlandsavdelingen, Bergen, mens de resterende kjemiske analysene er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo.

I arbeidet har følgende personer vært involvert: Feltarbeid, tillagning av bunntopografisk kart og rapportering av strømmålinger og hydrografiske data er utført av Einar Nygaard, mens Eivind Oug har hatt ansvaret for identifisering, kvantifisering og rapportering av bunndyrfauna. Torbjørn M. Johnsen har vært ansvarlig for den resterende delen av rapporten og har også vært prosjektleder.

Bergen, 12. desember 1997

Torbjørn M. Johnsen

Innhold

Sammendrag	5
1. INNLEDNING	6
2. UNDERSØKELSESONOMRÅDET	7
2.1 Områdebeskrivelse	7
2.2 Tidligere undersøkelser	9
3. FELTARBEID OG METODER	11
3.1 Stasjoner	11
3.2 Hydrografi og strømmålinger	11
3.2.1 Hydrografimålinger, oksygenprøver og siktedyp	11
3.2.2 Strømmåling	12
3.2.3 Måleposisjoner (forankring)	13
3.3 Bunnprøver	15
3.3.1 Stasjoner og prøvetaking	15
3.3.2 Analyser	15
4. RESULTATER OG DISKUSJON	16
4.1 Hydrografi	16
4.2 Strømmålinger	23
4.2.1 Middelerdier	23
4.2.2 Beskrivelse av strømdata	23
4.3 Diskusjon av bunnvannsutveksling mellom de forskjellige bassengene.	28
4.3.1 Bakgrunn	28
4.3.2 Det neddykkede utslippets påvirkning av bunnvannskvaliteten i Indre Røyklibotn	29
4.4 Sediment	31
4.4.1 Sedimentkarakteristikk og sedimentets kjemiske sammensetning	31
4.4.2 Bunnfauna	33
4.5 Vurderinger av bunnsedimenter og bunnfauna	35
4.6 Samlet vurdering	37
4.7 Forslag til oppfølgende undersøkelser og overvåkning	40
4.7.1 Overvåkning av fjordforbedringstiltak	40
4.7.2 Overvåkning av resipienten	41
5. REFERANSER	42

Sammendrag

I 1994 gjennomførte Neptun Settefisk A/S fjordforbedringstiltak i form av neddykket utslipp av ferskvann i Indre Røyklibotn. Denne undersøkelsen har hatt som formål å vurdere effekten av fjordforbedringstiltaket og samtidig klarlegge utviklingen av resipientens miljøtilstand sett i relasjon til settefiskanleggets urensede utslipp av avløpsvann som har pågått siden 1985.

Hydrografi- og strømmålinger i juni-juli 1996 viste at det neddykkede ferskvannsutslippet gir lav stabilitet i vannmassene under terskeldyp i Indre Røyklibotn. Dette resulterer i relativt hyppige innstrømminger av oksygenrikt dypvann gjennom en dyprene fra Kjelheimbassenget til Indre Røyklibotn. Dermed fornyes bunnvannet stadig slik at oksygensvikt ved bunnen forhindres. Det kan dermed konkluderes med at det igangsatte fjordforbedringstiltaket sannsynligvis fungerer etter intensjonene.

Undersøkelsene av bunndyrfauna viser at det i Kjelheimbassenget ikke har skjedd vesentlige endringer de siste 12 årene. Artssammensetningen viser en fauna normal for fjordområder selv om artsmangfoldet er noe redusert. Sedimentets kjemiske sammensetning viste litt forhøyd fosforinnhold nær utslippsstedet for avløpsvann, men miljøforholdene i dette bassenget må likevel betraktes som stabile og gode.

I Indre Røyklibotn var sedimentet nærmest livløst, men sedimentet luktet ikke hydrogensulfid (H_2S), og bunnvannet hadde et tilfredsstillende oksygeninnhold (90% metning). Målingene av karbon, nitrogen og fosfor i sedimentet viste en kjemisk sammensetning svært lik forholdene i Kjelheimbassenget.

Totalt sett tyder resultatene fra denne undersøkelsen på at utslippene fra settefiskproduksjonen i liten grad kan spores i miljøforholdene i Røyklibotn. Mangel på data gjør det imidlertid vanskelig å trekke helt klare konklusjoner.

Fjordforbedringstiltaket igangsatt av Neptun Settefisk A/S har økt resipientens naturlige kapasitet. En fordobling av dagens settefiskproduksjon kombinert med effektiv rensing av avløpsvannet og et fungerende neddykket ferskvannsutslipp vil ikke forventes å ha noen negativ effekt på miljøforholdene i resipienten.

1. INNLEDNING

I Røyklibotn har det siden 1985 vært drevet settefiskproduksjon med konsesjonsgrense på 200.000 settefisk pr. år. Ved en resipientundersøkelse i 1988 ble sjøtannen *Siphonodentalium lobatum* funnet (Stokland & Berge 1988). Arten som er en kaldtvannsart, er utbredt i de nordlige deler av Norge. Trolig har arten en isolert bestand i Røyklibotn. Det finnes en rekke eksempler på kaldtvannsarter med nordlig utbredelse som har isolerte bestander i delvis innelukkede fjorder og bassenger langs kysten av Trøndelag og Vestlandet. Disse artene har etablert seg under siste istid, og har kunnet overleve opp til våre dager i innelukkede fjorder som har stabilt kaldt dypvann og samtidig tilfredsstillende oksygenforhold. På grunn av liten vannutskiftning er fjordene sårbare overfor tilførsler av organiske komponenter og forurensninger.

En negativ utvikling av oksygenforholdene i dypvannet i Indre Røyklibotn, som ble tilskrevet utslipp fra Neptun Settefisk A/S, skapte frykt for at *S. lobatum* skulle dø ut på denne lokaliteten. I 1993 ble det derfor gjennomført en resipientundersøkelse for å få kunnskap om miljøforholdenes utvikling i resipienten. Rapporten konkluderte med at belastningen fra Neptun Settefisk A/S på Indre Røyklibotn måtte betraktes som liten i forhold til den naturlige belastningen (Johnsen & Hektoen 1993). Området har fra naturens side liten vannutskiftning og for å bedre resipientkapasiteten i indre Røyklibotn ble det anbefalt at fjordforbedringstiltak i form av neddykket ferskvannsutslipp ble satt i verk. Dette tiltaket ble iverksatt av Neptun Settefisk A/S sommeren 1994.

Neptun Settefisk A/S ønsker nå å få vurdert effekten av fjordforbedringstiltaket og resipientens utvikling etter at tiltaket ble igangsatt. Samtidig ønsker en å undersøke hele resipientens miljøstatus og kapasitet sammen med en vurdering av hvilken effekt en økning av settefiskproduksjonen vil ha på resipienten.

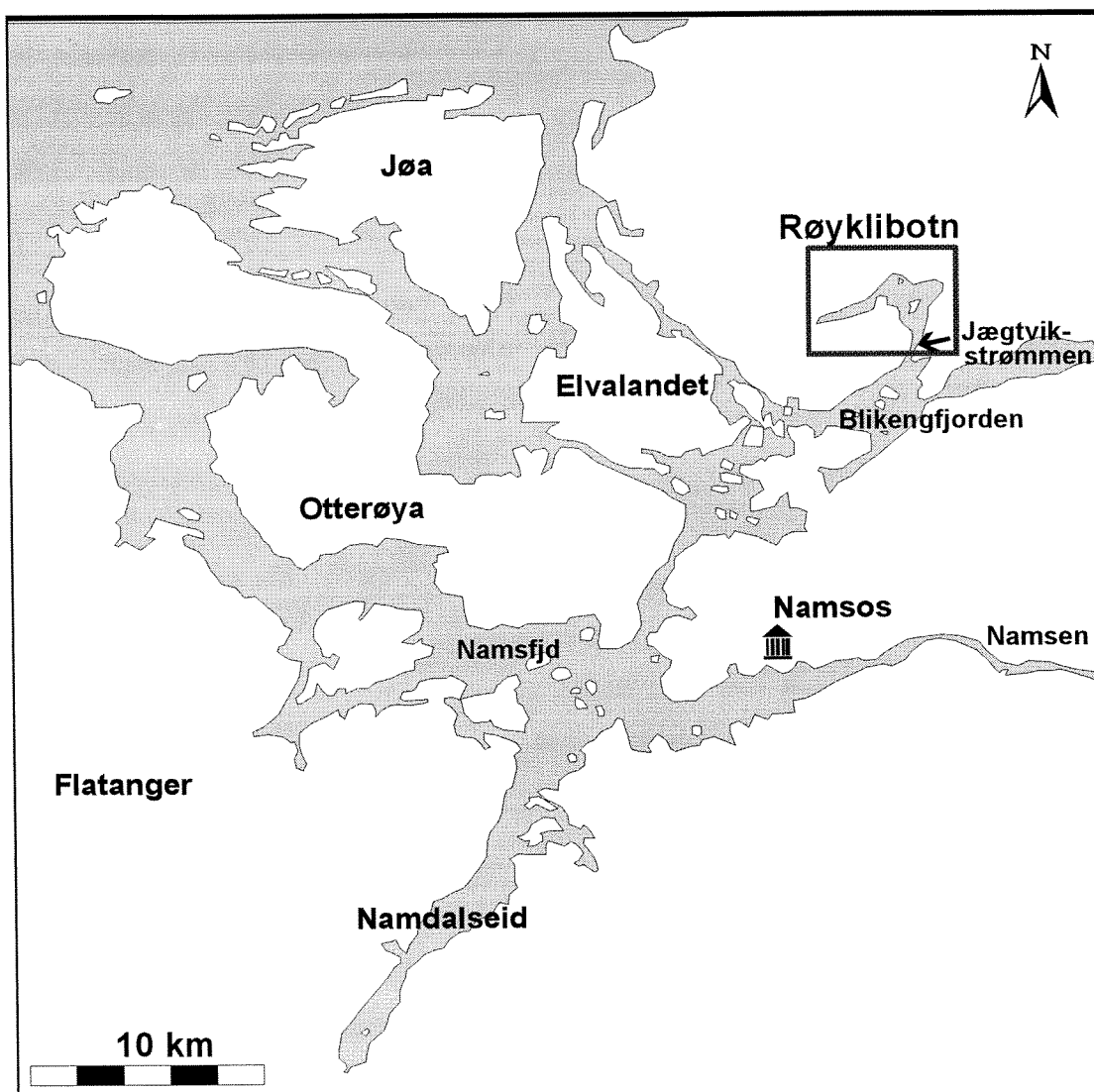
Formålet med denne undersøkelsen har derfor vært å:

1. Kartlegge miljøtilstand i hele Røyklibotn (Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget) 2 år etter at fjordforbedringstiltak er iverksatt.
2. Finne ut om vannutvekslingen mellom Kjelheimbassenget og Indre Røyklibotn er tilstrekkelig til å opprettholde en god vannkvalitet i det indre bassengets dypvann.
3. Vurdere resipientens kapasitet og tålegrense for en økt belastning fra settefiskproduksjonen.

2. UNDERSØKELSESOMRÅDET

2.1 Områdebeskrivelse

Neptun Settfisk A/S ligger i Røyklibotn som er et innelukket fjordområde ca. 15 km nord for Namsos (fig. 2.1). Jægtvikstrømmen med en terskeldybde på ca. 10 meter forbinder Røyklibotn med Blikengfjorden. Også Blikengfjorden er et lukket fjordområde som gjennom lange, smale og relativt grunne sund står i forbindelse med mer åpne fjordområder.

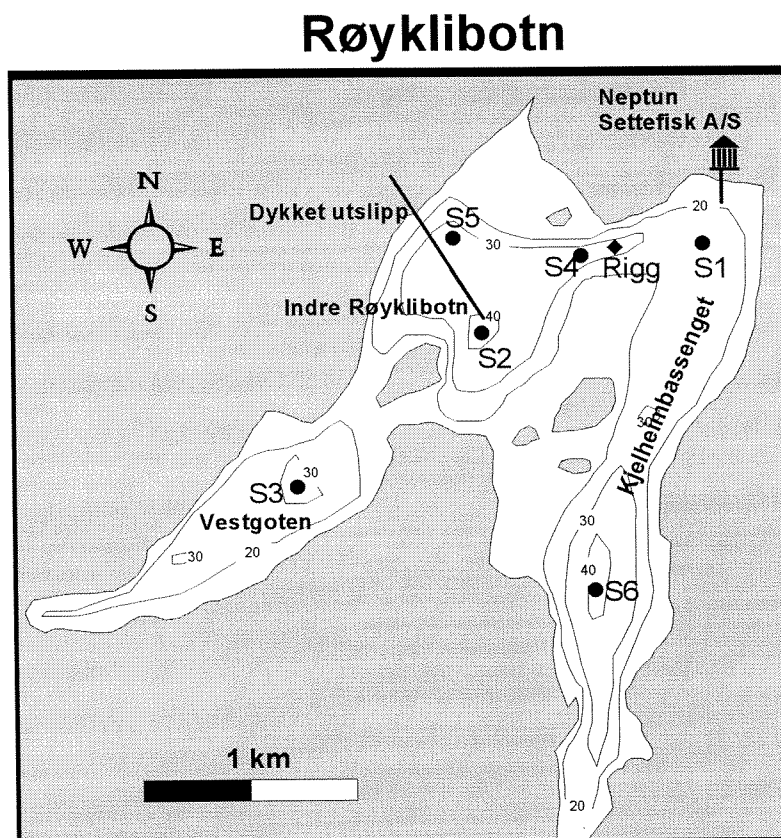


Figur 2.1. Oversiktskart over Namsosområdet.

Røyklibotn er delt i to basseng - Kjelheimbassenget og Indre Røyklibotn (fig. 2.2) hvor maksimaldybdene er henholdsvis 40 og 51 meter. I følge sjøkartet går det på ca. 15-20 meters dyp en terskel mellom disse to bassengene. Innerst i Røyklibotn ligger i sørvestlig retning Vestgøten som gjennom to trange sund står i forbindelse med Indre Røyklibotn. Vestgøten's maksimaldyp er ca. 40 meter, mens terskeldybden ut mot Indre Røyklibotn er 15 meter.

Produksjonsanlegget til Neptun Settefisk A/S ligger i nordenden av Røyklibotn (jfr. figur 2.2). Produksjonsvannet fra anlegget som har konsesjon på produksjon av 200.000 settefisk pr. år, føres urensset ut på 10 meters dyp i Kjelheimbassenget. Det maksimale utslipp av produksjonsvann er oppgitt til 7 m³/minutt.

For å forbedre dypvannsutskiftningen i Indre Røyklibotn ble det sommeren 1994 laget et dykket utslipp til bassengets dypområde. I Tverrelva ble det laget en liten demning og herfra føres vannet gjennom en ledning med diameter på 200 mm ned til ca. 48 meters dyp i Indre Røyklibotn (jfr. figur 2.2). Data for vannføring i Tverrelva foreligger ikke, men elva er vannførende unntatt i tørkeperioder. Det vil si at ferskvannsmengden som føres ned i Indre Røyklibotn, er varierende.



Figur 2.2. Kart over Røylibotn. Strøm- og hydrografistasjoner er avmerket. Skisserte dybdekoter er dels basert på egne ekkoloddsnitt og dels på sjøkart.

2.2 Tidligere undersøkelser

I forbindelse med oppstart av settefiskproduksjon i Røyklibotn ble det i november 1985 gjennomført en forundersøkelse som skulle gi en beskrivelse av miljøsituasjonen i resipienten før utslipp av avløpsvann startet, og vurdere resipientens naturlige resipientkapasitet med hensyn på organisk materiale (Holte et al. 1986). Sedimentprøver ble samlet inn i Kjelheimbassenget, og bunndyrssamfunnet syntes ikke etter semikvantitative analyser å være utsatt for organisk belastning. Hydrografiske målinger ble utført både i Kjelheimbassenget og i Indre Røyklibotn. I Indre Røyklibotn ble det målt 7,2 mg O₂/liter vann på 25 meters dyp, mens tilsvarende måling i Kjelheimbassenget viste 8,1 mg O₂/liter. På bakgrunn av en totalvurdering av resipienten ble det konkludert med at resipienten sannsynligvis ville tåle den belastningen som et urensset utslipp fra produksjonen av 350.000 settefisk på 50 gram ville gi. Beregningen var basert på at oksygenkonsentrasjonen i dypvannet ikke skulle komme under en minimumsverdi på 5 mg O₂/liter.

I august 1986 ble det foretatt nye hydrografiske målinger i Røyklibotn, og nye beregninger av resipientens kapasitet ble foretatt (Holte 1986). Oksygenmålingene i Indre Røyklibotn viste 7,1 mg O₂/liter (63% O₂-metning) på 40 meters dyp. En temperaturreduksjon på 7,2°C fra 20 til 40 meter ble antatt å ha sammenheng med dårlig vannutveksling under 20 meter. På grunnlag av kapasitetsberegninger hvor vannmassene i Kjelheimbassenget ble antatt å utveksles fullstendig en gang årlig, ble resipientens tålegrense satt til urensset utslipp fra produksjon av 410.000 settefisk på 50 gram. Oksygenets minimumsverdi ble også i disse beregningene satt til 5 mg O₂/liter. I rapporten heter det at det er usikkerhet om utslippsstoffer fra settefiskproduksjonen vil spres inn til Indre Røyklibotn, og det ble derfor anbefalt at Kjelheimbassenget og nærliggende sjøområder ble underlagt årlige miljøkontroller.

Året etter ble det gjennomført en ny resipientundersøkelse som denne gangen omfattet både Kjelheimbassenget og Indre Røyklibotn. Ved denne undersøkelsen ble sjøtannen *Siphonodentalium lobatum* funnet (Stokland & Berge 1988), og artens sørgrense i Norge ble dermed flyttet fra Sørsalten til Røyklibotn.

Målinger av oksygenforholdene i dypvannet i Indre Røyklibotn foretatt for miljøvern avdelingen hos Fylkesmannen i Nord-Trøndelag i 1991-92 viste for 1992 svært lave verdier (0,1-0,9 mg O₂/liter) på 45 meters dyp fra februar til september. De lave verdiene ble satt i sammenheng med utslippene fra settefiskanlegget til Neptun Settefisk A/S. Derfor ble en ny begrenset resipientundersøkelse gjennomført i mars 1993 (Johnsen & Hektoen 1993) hvor hensikten var å gi en tilstandsbeskrivelse av miljøforholdene i resipienten. I tillegg skulle det gis forslag som forhindret belastningen på resipienten og forbedret miljøforholdene, dvs. økte dypvannsutskiftningen i Indre Røyklibotn. Hverken næringssaltmålinger i vannmassene eller målinger av karbon og nitrogen i sedimentet viste forhøyede verdier som tydet på sterk belastning. Sediment fra dypområdet i Indre Røyklibotn luktet imidlertid hydrogensulfid, og på 50 meters dyp ble det målt 3,3 mg O₂/liter.

Beregninger av innlagringsdyp for avløpsvann fra Neptun Settefisk A/S viste at vannet raskt ble bragt opp til overflaten og fraktet med overflatestrømmen videre sørover i Kjelheimbassenget. Ved ugunstige vær- og strømforhold kunne det imidlertid ikke utelukkes at

partikulært materiale ble ført inn til Indre Røyklibotn. Belastningen fra settefiskanlegget ble likevel ansett som liten i forhold til den naturlige belastningen.

For å begrense utslippene fra Neptun Settefisk A/S ble montering av filtreringsanlegg ansett som eneste effektive tiltak. En økning i hyppigheten av dypvannsutskiftningen i Indre Røyklibotn ville imidlertid gi en adskillig større miljømessig gevinst. Et fjordforbedringstiltak i form av dykket ferskvannsutslipp til dypområdet i Indre Røyklibotn ble derfor foreslått. Det hydrografiske datagrunnlaget for Røyklibotn ble imidlertid ansett som mangelfullt, og anbefalningen var derfor at hvis et fjordforbedringstiltak skulle iverksettes, måtte dette følges av et hydrografisk måleprogram som kunne dokumentere tiltakets effektivitet. Fjordforbedringstiltak i form av neddykket ferskvannsutslipp er igangsatt, men et tilfredsstillende måleprogram mangler. Data for dokumentasjon av tiltakets effekt på bunnvannet er derfor mangelfull, og det foreligger heller ikke beregninger som viser ferskvannsutslippets innlagringsdyp.

I 1994 fikk miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Nord-Trøndelag utført en begrenset resipientundersøkelse i Indre Røyklibotn for å få en vurdering av resipientforholdene. Bunn-dyrsundersøkelsen viste et artsfattig samfunn og *S. lobatum* ble ikke registrert (Johannessen & Tvedten 1995).

3. FELTARBEID OG METODER

3.1 Stasjoner

Undersøkelsen i 1993 omfattet 2 stasjoner hvorav den ene var lokalisert til dypeste punkt i Indre Røyklibotn, mens den andre stasjonen ble lagt til området like utenfor settefiskanlegget til Neptun Settefisk A/S (Johnsen & Hektoen 1993). I 1996 ble det utført målinger og prøvetakninger på totalt 6 stasjoner (jfr. figur 2.2) som inkluderer begge de tidligere undersøkte stasjonene (S1 og S2). To stasjoner ble lagt i Kjelheimbassenget, tre i Indre Røyklibotn og en i Vestgøten som er det indre bassenget i Røyklibotn. Stasjonsantallet ble økt i forhold til forrige undersøkelse for å få bedre grunnlag til bedømmelse av effekten av fjordforbedringstiltaket gjennomført i Indre Røyklibotn. Samtlige stasjoners posisjoner er gitt i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Posisjoner for stasjoner fra innsamling 14. juni 1996.

Stasjon	Posisjon
S1	N64°36,65' E11°37,50'
S2	N64°36,51' E11°35,80'
S3	N64°36,37' E11°34,54'
S4	N64°36,80' E11°36,70'
S5	N64°36,91' E11°35,25'
S6	N64°36,10' E11°36,81'

På grunn av usikkerhet om topografien mellom Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget ble det tatt noen snitt med ekkolodd på terskelen mellom de to bassengene. Opploddingen av bunnen viste at det går en dypål mellom de to bassengene i øst-vestlig retning. Dypålen ligger inn mot den nordlige delen av fastlandet og starter med en dybde på ca. 24 meter i Kjelheimbassengets indre del og øker på inn mot Indre Røyklibotn hvor maksimaldybden er ca. 50 meter. Bunnkonturene skissert i figur 2.2 er laget på grunnlag av de gjennomførte ekkoloddsnittene og sjøkart fra området.

3.2 Hydrografi og strømmålinger

3.2.1 Hydrografimålinger, oksygenprøver og siktedyp

Til hydrografiske målinger gjennomført 14. juni 1996 ble det benyttet en Sea-Bird Electronics STD-sonde (salinitet, temperatur og dyp). Denne registrerer måleparameterene 2 ganger i

sekundet og lagrer internt. Det ble gjort hydrografimålinger ved stasjonene S1 til S6 (tabell 3.2).

For sikker bestemmelse av oksygen i dypvannet ble det tatt vannprøver med Niskin vannhenter på de dypeste stedene i Kjelheimbassenget (S6), i Indre Røyklibotn (S2) og i Vestgøten (S3). Disse prøvene ble analysert for oksygen etter standard Winkler metode (Intern metode). Analysene ble utført ved NIVAs Vestlandsavdeling.

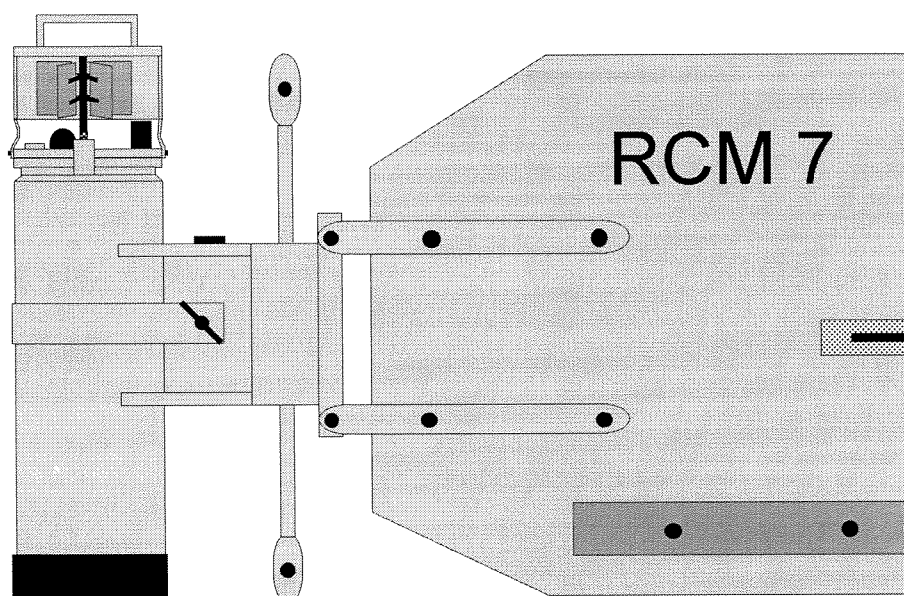
Målinger av siktedyp med angivelse av vannfarge ble også foretatt på samtlige 6 stasjoner.

Tabell 3.2. Oversikt over stasjoner med angivelse av bunndyp, STD-profiler (temperatur og salinitet) og dyp for vannprøve for oksygenbestemmelse etter Winklermetoden.

Stasjon	Dyp (m)	STD-profil	Oksygenprøve (dyp i m)
S1	24	x	
S2	52	x	50
S3	40	x	38
S4	28	x	
S5	18	x	
S6	47	x	45

3.2.2 Strømmåling

Strømmålingene ble gjort med instrument av type Aanderaa Instruments RCM7. Figur 3.1



Figur 3.1. Skisse av Aanderaa Instruments strømmåler.

viser skisse av et slikt instrument. Strømfarten (strømstyrken) registreres ved hjelp av en rotor på toppen av instrumentet, mens strømrretningen registreres ved hjelp av roret og et innebygget kompass som avleses elektronisk. Målerene registrerer også sjøvannets temperatur og salinitet. Alle målinger lagres i målernes interne minne.

Målenøyaktighetene for de enkelte sensorene på Aanderaa Instruments RCM7 strømmålere er oppgitt til (Aanderaa Instruments, 1983):

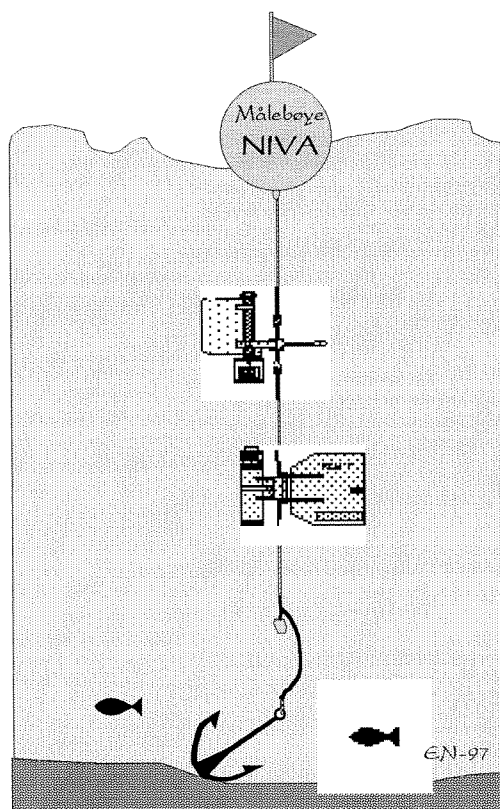
Konduktivitet:	$\pm 0,1$ mmho/cm
Temperatur:	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$
Strømrretning:	$\pm 7,5^{\circ}$ når farten er 2,5-5 cm/s $\pm 5^{\circ}$ når farten er 5-100 cm/s
Strømfart:	± 1 cm/s eller $\pm 2\%$ av farten.

Farten vektormidles over måleintervallet ved å registrere antall rotoromdreininger og rorets kompassretning flere ganger i et måleintervall. Temperaturen og saliniteten er øyeblikksverdier målt på slutten av måleintervallet som ble satt til 10 minutter.

Aanderaa Instruments strømmålere har en terskelverdi på 1,1 cm/s for strømfart. Det vil si at strøm svakere enn dette ikke klarer å sette rotoren i bevegelse. Aanderaa Instruments målere setter strømstyrken lik 1,1 cm/s for observasjoner hvor rotoren ikke er satt i bevegelse. Det vil si at midlere strømstyrke for en tidsserie med ingen rotorregistreringer vil bli 1,1 cm/s. Dette gir helt klart et overestimat av strømstyrken ved lave strømhastigheter.

3.2.3 Måleposisjoner (forankring)

Strømmålerene ble satt ut i en såkalt strømrigg. Rikken ble forankret og holdt i vertikal posisjon ved hjelp av en stor overflatebøye. Figur 3.2 viser ei skisse av en strømrigg. Strømriggen ble plassert ut i dypområdet mellom Kjelheimbassenget og Indre Røyklibotn (jfr. fig. 2.2) med måleinstrumentene i 3 og 29 meters dyp.



Figur 3.2. Prinsippskisse av en strømrigg.

Tabell 3.3 gir en oversikt over strømmålingene. Tabellen inneholder opplysninger om posisjon, sted, bunndyp, forankringsdyp, instrument, dato fra- til, periode med tilfredsstillende data og en kort kommentar.

Det var avtalt å måle strøm i en periode av 4 ukers varighet. En 4 ukers måleperiode strekker seg i beste fall over to vanlig spring/nipp tidevannsperioder. En skulle derfor få med seg det meste av korttidsvariasjoner i strømmen forårsaket av tidevannet. Eventuelle langperiodiske variasjoner eller episodiske fenomen vil en imidlertid ikke nødvendigvis kunne oppdage med såpass kortvarige målinger.

Tabell 3.3. Informasjon om strømmålingene (måleposisjon angitt i Europeisk Datum, fra sjøkart).

Posisjon	Bunndyp (m)	Måledyp (m)	Måler nummer	Måleperiode
N64° 36.80' E11° 36.70'	32	3	RCM7# 8362	14/6-9/7 1996
		29	RCM7# 9704	"

3.3 Bunnprøver

3.3.1 Stasjoner og prøvetaking

Det ble tatt bunnprøver på to stasjoner i Kjelheimbassenget (S1, S6) og på en stasjon i Indre Røyklibotn (S2) (jfr. fig. 2.2). På stasjonene S2 og S6 ble det tatt prøver for analyse av sedimentkomponenter (partikkelsammensetning, organisk materiale) og bunnfauna, mens det på stasjon S1 bare ble tatt prøver for sedimentanalyser. Stasjonene S2 og S6 representerer største dyp i hvert av fjordbassengene.

Prøvene ble tatt med en 15 x 15 cm Ekman bunngrabb. Det ble tatt henholdsvis to (st. S1) eller fire (st. S2, S6) prøver på hver stasjon. Til analyse av sedimentkomponenter ble en delprøve av overflatesedimentet innsamlet. Prøvene for fauna ble slått sammen og bearbeidet som en prøve. Denne prøven representerer totalt et bunnareal på ca. 0,1 m².

3.3.2 Analyser

Sedimentprøvene ble analysert for innhold av finmateriale (partikler < 0,063 mm) (Intern metode), tørrstoff (TTS) (Norsk Standard 4764), karbon (TC) (Intern metode), nitrogen (TN) (Intern metode) og fosfor (totP) (Intern metode). Finmaterialet ble bestemt ved våtsikting. Tørrstoffet ble bestemt ved tørking på 105°C, mens TC, TN og totP ble analysert ved en elementanalysator. Analysene er utført ved NIVAs laboratorier i Oslo. Dessuten ble sedimentet fra hver grabbprøve besiktiget og karakterisert på grunnlag av farge, lukt (H₂S), forekomst av levende eller døde dyr osv.

Faunaprøvene ble siktet på 1 mm sikt og konservert i 4 % formaldehydløsning. I laboratoriet ble alle dyrene sortert fra siktematerialet, identifisert og talt. Prøvene er bearbeidet og identifisert ved NIVAs Sørlandsavdeling, Grimstad.

Faunaen er karakterisert ved å beregne indekser for artsmangfold (= diversitet) og jevnhet. Artsmangfoldet er uttrykt ved *Shannon-Wiener indeksen (H')* og jevnheten ved *Pielou's jevnhet (J)*. Indeksene er veiledende for karakterisering av miljøtilstanden. Shannon-Wiener indeksen (log 2) har et verdiområde som varierer fra null til ca. 5. Tallverdien øker ved økende antall arter og når individene er jevnt fordelt mellom artene. Lave verdier markerer dårlige forhold, mens verdiområdet 3-5 indikerer normale til gode forhold. I SFTs veiledning for klassifisering av miljøkvalitet er 'god tilstand' representert ved verdier > 3,1 (SFT 1993). Indeksen for jevnhet tar verdien 1 for maksimal jevnhet, dvs. når alle arter finnes med samme individtall i prøven, og verdier ned mot null når enkelte arter er sterkt dominerende.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1 Hydrografi

Resultatene fra saltholdighets- og temperaturprofilene er gitt i figur 4.1-4.6. Figurene viser at det salteste (salinitet 31,8), kaldeste (3,3°C) og dermed det tyngste bunnvannet var å finne i Vestgøten (figur 2.2).

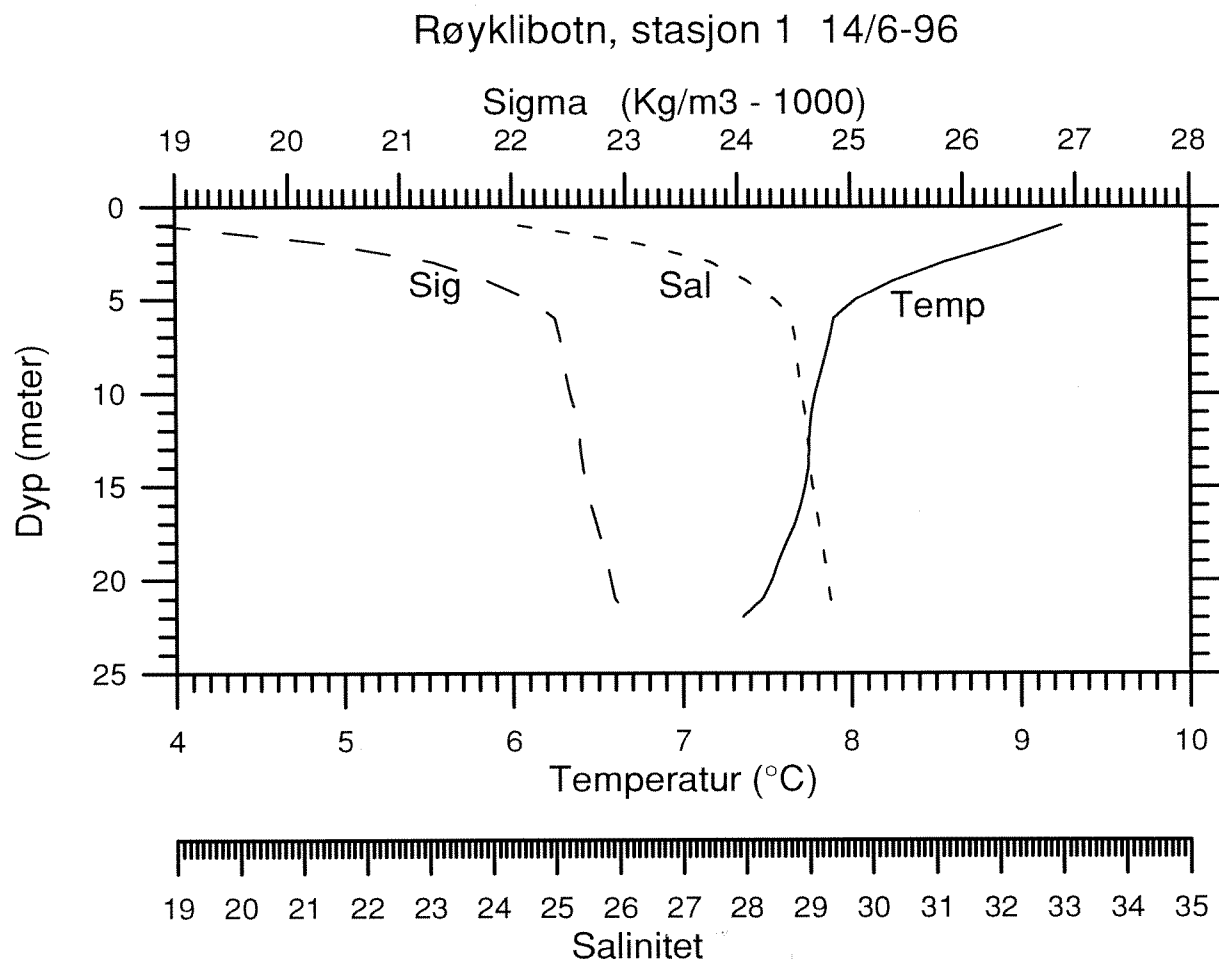
I Kjelheimbassenget var bunnvannet varmere (ca. 6°C) med lavere salinitet (salinitet ca. 30,5). I Indre Røyklibotn var temperaturen noe lavere og saliniteten noe høyere enn i Kjelheimbassenget. Det var relativt lav stabilitet i vannmassene fra 23 til 48 m dyp i Indre Røyklibotn. Dette kan tyde på at vannet fra det dykkete utslippet hadde steget opp til ca. 23 m dyp før det ble innlagret. Lav stabilitet kan også skyldes en nylig fullstendig dypvannsfornyelse.

Tabell 4.1 viser resultater fra oksygenprøver tatt 14. juni 1996. Tabellen viser at vannet nær bunnen ved stasjon S3 (Vestgøten) hadde relativt lav oksygenmetning (55%). Nær bunnen i Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget var det høy oksygenmetning (90-100%).

Siktedypmålingene viser at det var liten forskjell i vannets gjennomskinnelighet (4,1-4,6 meter) i de tre bassengene i Røyklibotn (jfr. tabell 4.1). Røyklibotn er et innestengt fjordområde hvor siktedypet vil være sterkt påvirket av gjennomskinneligheten til ferskvannet som tilføres fra nedslagsfeltet. Det er derfor grunn til å tro at det er dette forholdet som periodevis gir lite siktedyp i hele Røyklibotn.

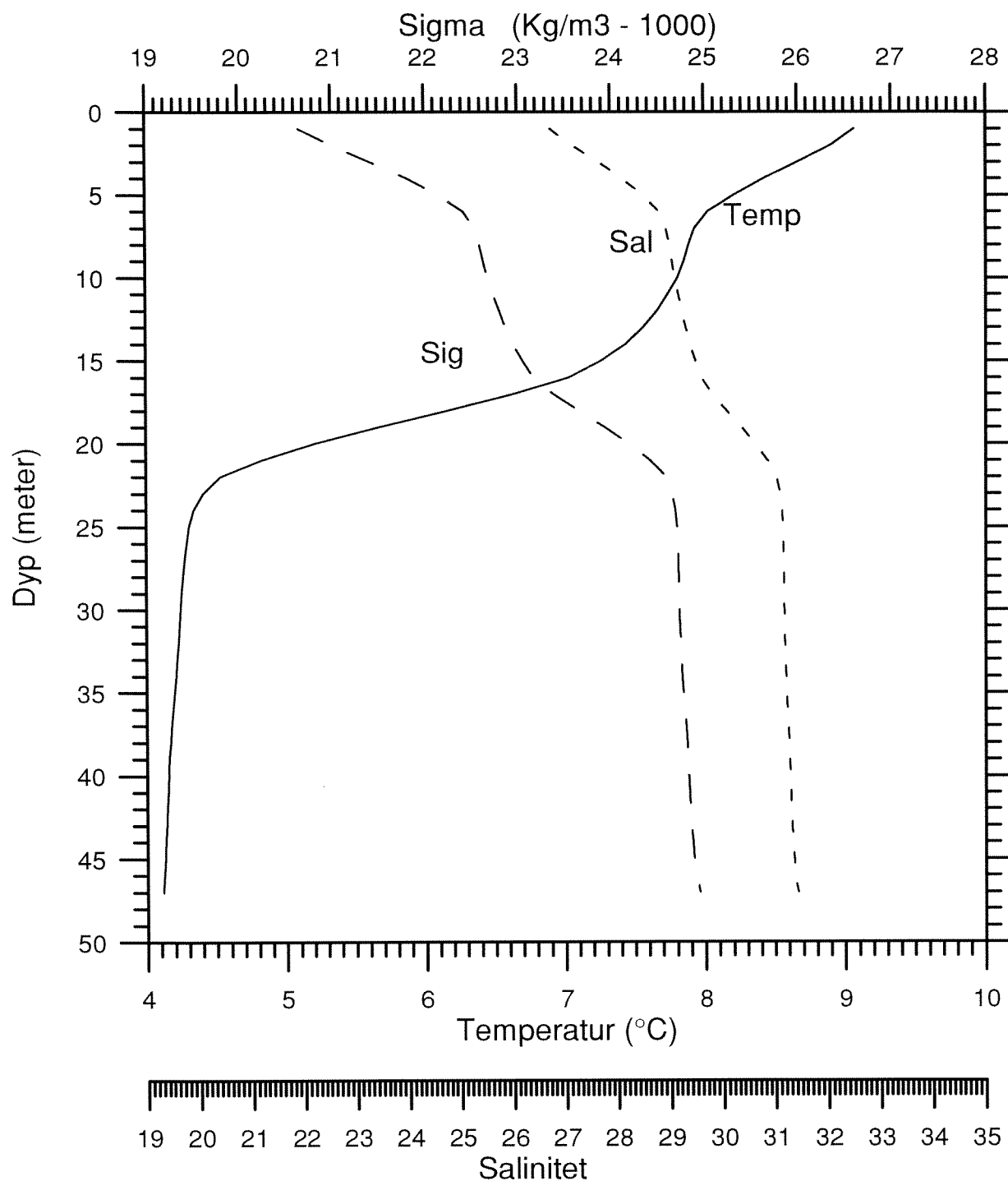
Tabell 4.1. Resultater fra oksygen- og siktedypmålingene.

Stasjon	Sted	Dyp for oksygenprøve (m)	Oksygen (mg/l)	Oksygenmetning (%)	Siktedyp (m)	Vannfarge
S1	Kjelheimbassenget				4,1	Gul/grønn
S2	Indre Røyklibotn	50	9,55	90	4,5	Gul/grønn
S3	Vestgøten	38	5,93	55	4,5	Gul/grønn
S4	Indre Røyklibotn				4,1	Gul/grønn
S5	Indre Røyklibotn				4,6	Gul/grønn
S6	Kjelheimbassenget	45	10,10	99	4,3	Gul/grønn



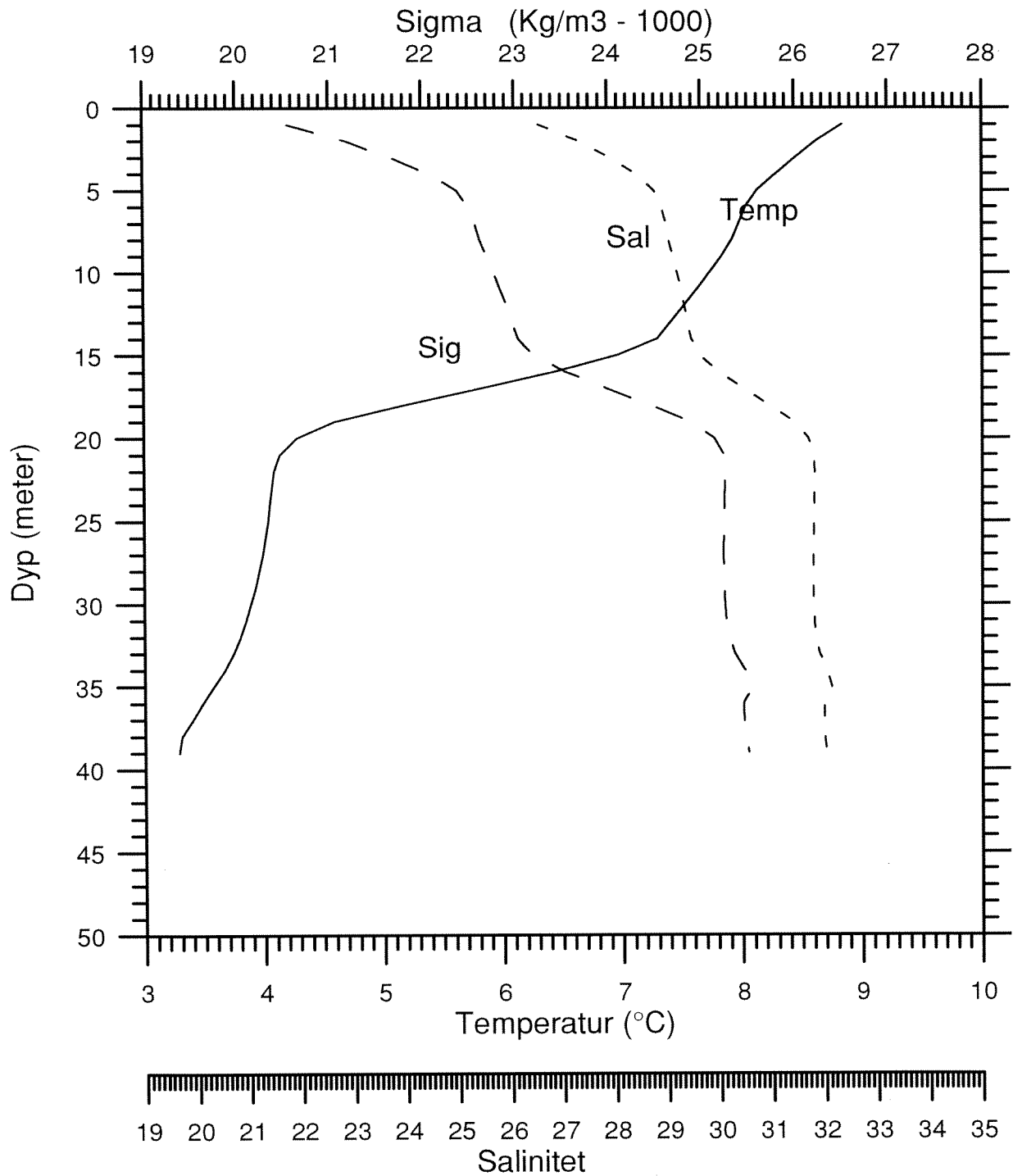
Figur 4.1. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S1 i Kjelheimbassenget nær utslippspunktet for avløpsvann fra Neptun Settefisk a.s.
Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.

Røyklibotn, stasjon 2 14/6-96

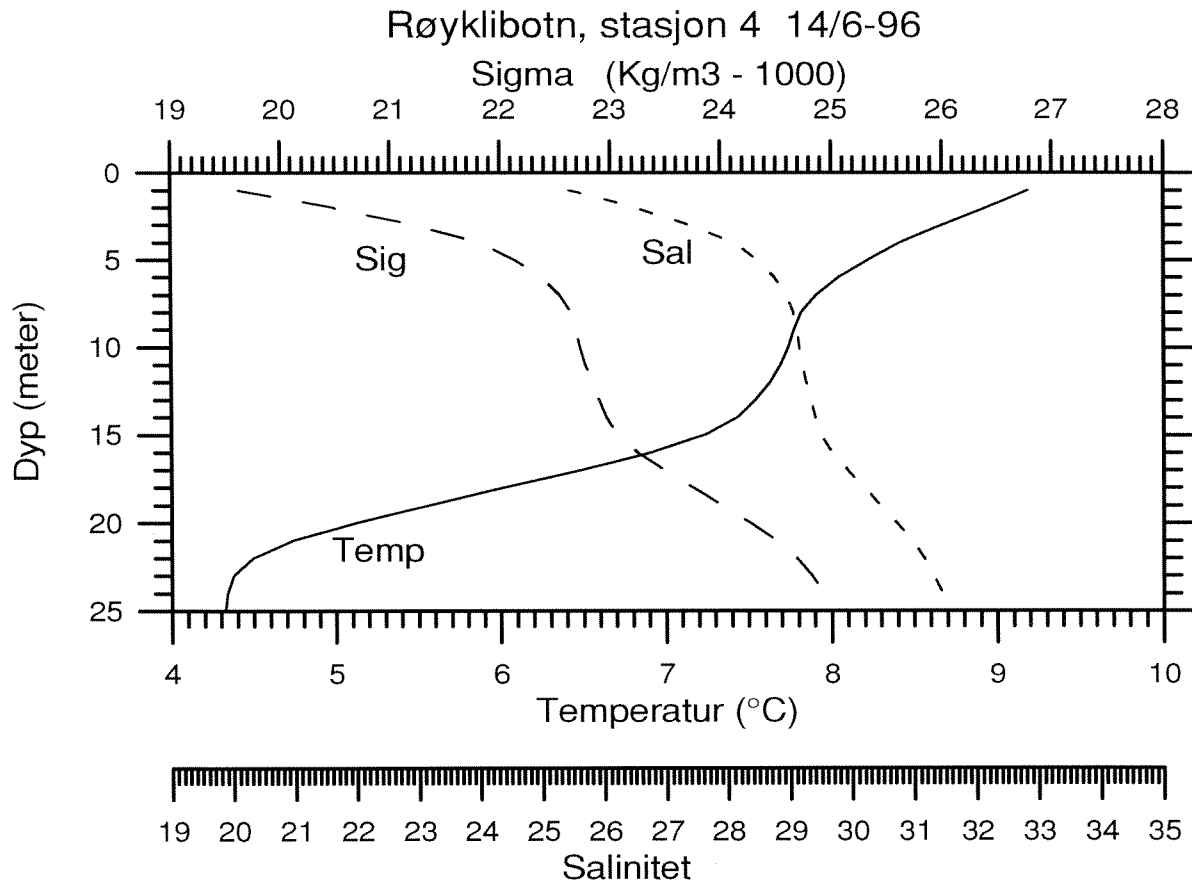


Figur 4.2. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S2 i Indre Røyklibotn. Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.

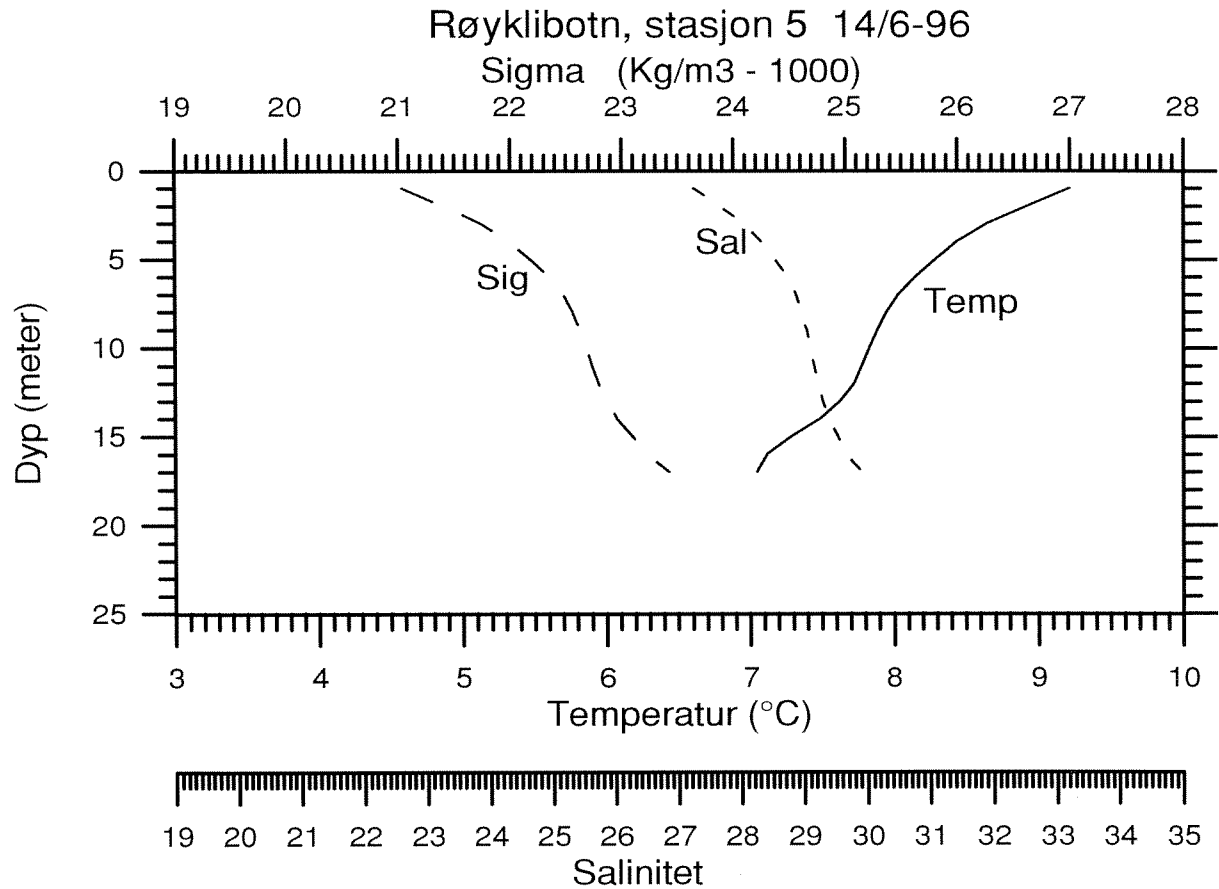
Røyklibotn, stasjon 3 14/6-96



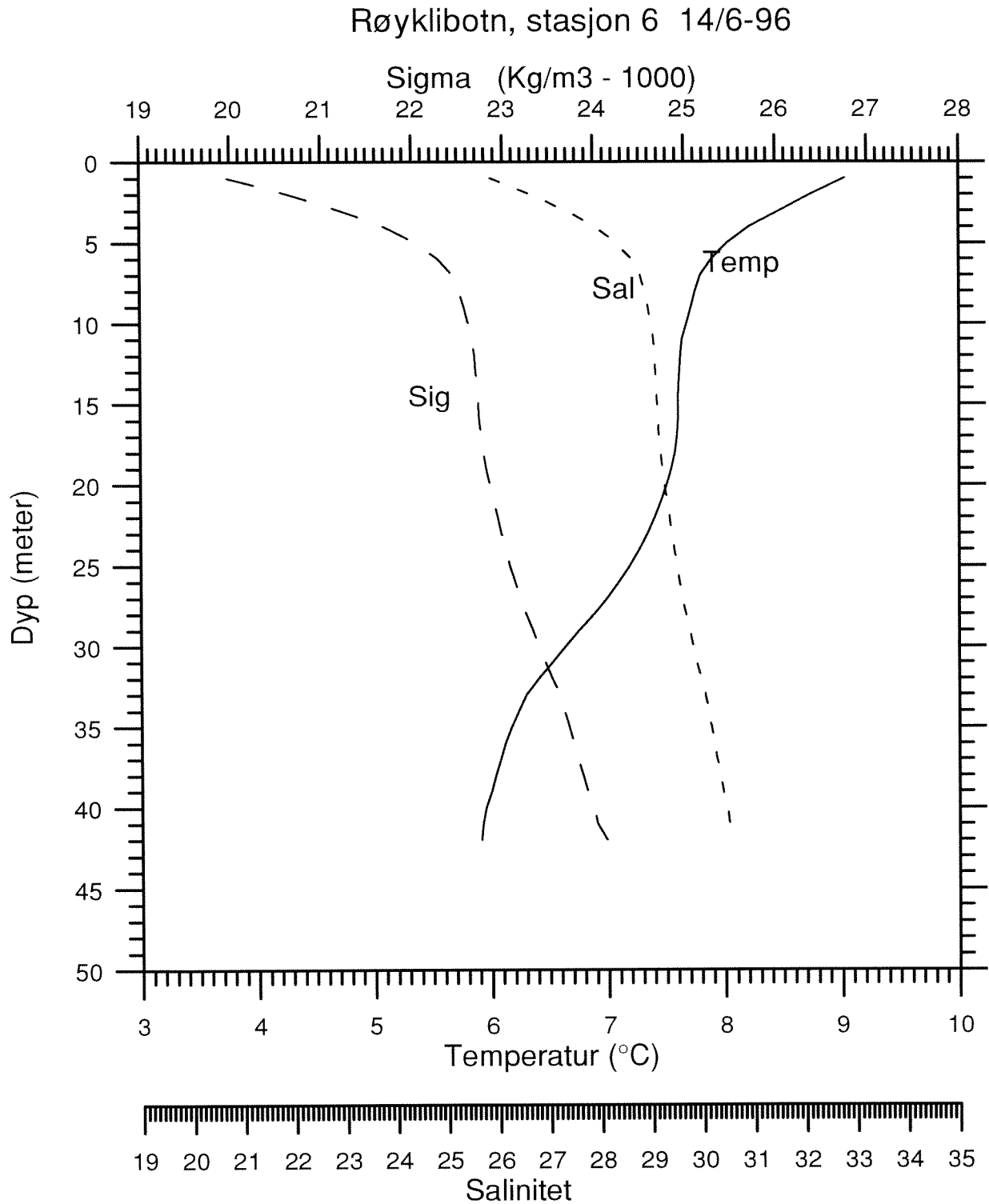
Figur 4.3. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S3 i Vestgøten.
Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.



Figur 4.4. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S4 i Indre Røyklibotn. Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.



Figur 4.5. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S5 i Indre Røyklibotn. Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.



Figur 4.6. Resultater fra hydrografimålinger i Røyklibotn ved stasjon S6 i Kjeheimbassenget. Temp = Temperatur. Sal = Salinitet. Sig = Sigma, dvs. vannets tetthet.

4.2 Strømmålinger

Resultatene for strømmålingene er vist i figur 4.7-4.10. Figurene viser tidsserier av strømhastighet, retning, temperatur og salinitet og strømroser (middelverdier for strømmen fordelt i 15° sektorer).

4.2.1 Middelveidier

Det er blitt beregnet middelverdier for strømstyrke, strømvektor, temperatur, salinitet og strømmens stabilitetsfaktor for begge tidsseriene. Stabilitetsfaktoren er definert som absoluttverdien av middel strømvektor delt på middelverdien for fart i midlingsperioden. Dette gir et tall mellom 0 (tilsvare svært vekslende strøm) og 1 (tilsvare ensrettet strøm). De beregnede verdiene er gitt i tabell 4.2.

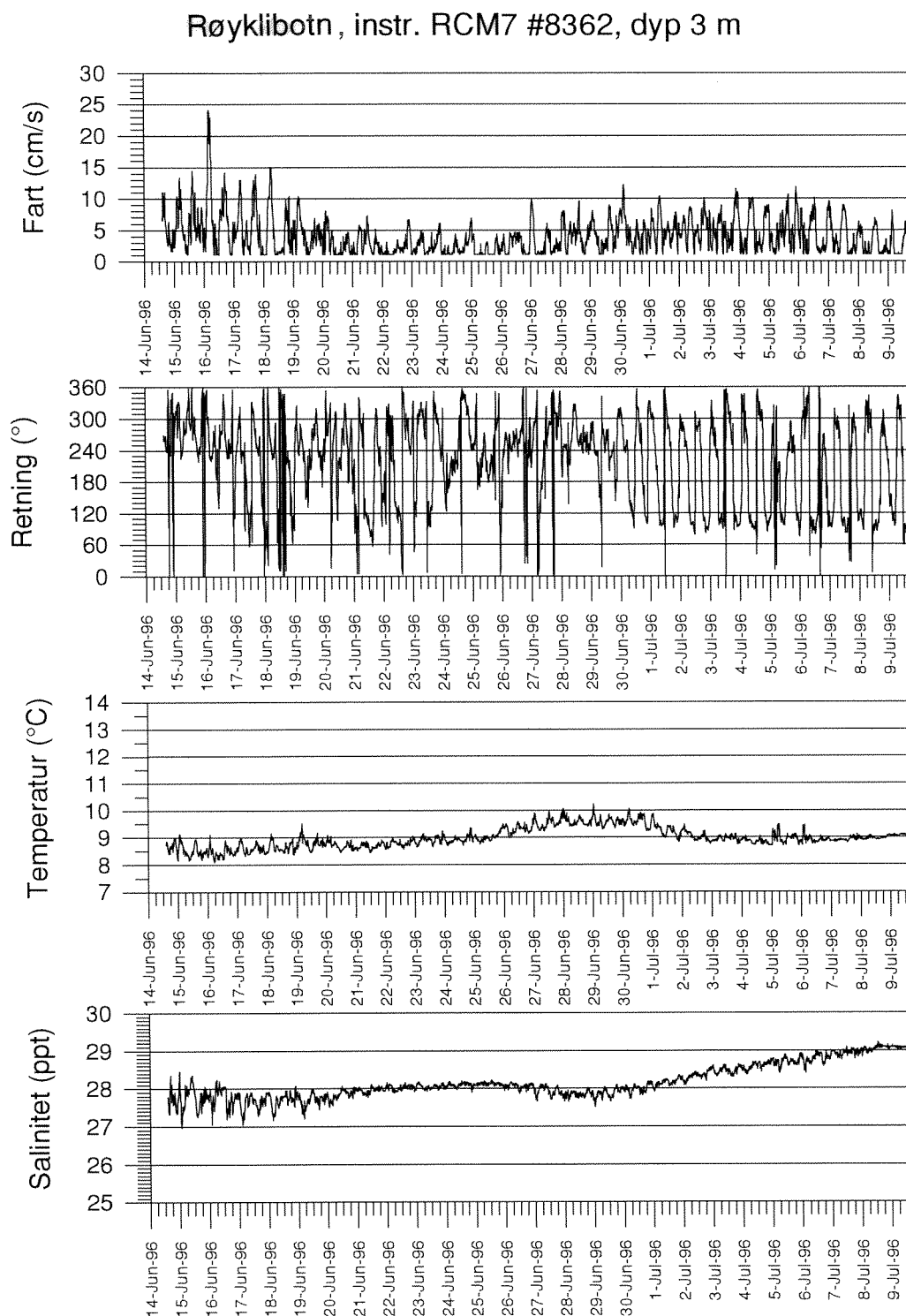
Tabell 4.2. Statistiske resultater fra strømmålinger i perioden fra 14. juni til 9. juli 1996. Gjennomsnittlig strømstyrke er et aritmetisk middel av målt strømstyrke, mens vektormidlet strøm er nettostrøm i en bestemt retning (i vektormidlet strømretning). Stabilitetsfaktor nær 0 tilsvare svært vekslende strømretning, mens en faktor nær 1 angir ensrettet strømretning.

Måledyp (m)	Gjennomsnittlig strømstyrke (cm/s)	Vektormidlet strøm (cm/s)	Vektormidlet strømretning (°)	Gjennomsnittlig temp. (°C)	Gjennomsnittlig salinitet (‰)	Stabilitetsfaktor
3	4,10	1,23	246	8,97	28,15	0,30
29	1,16	0,14	315	4,30	31,15	0,12

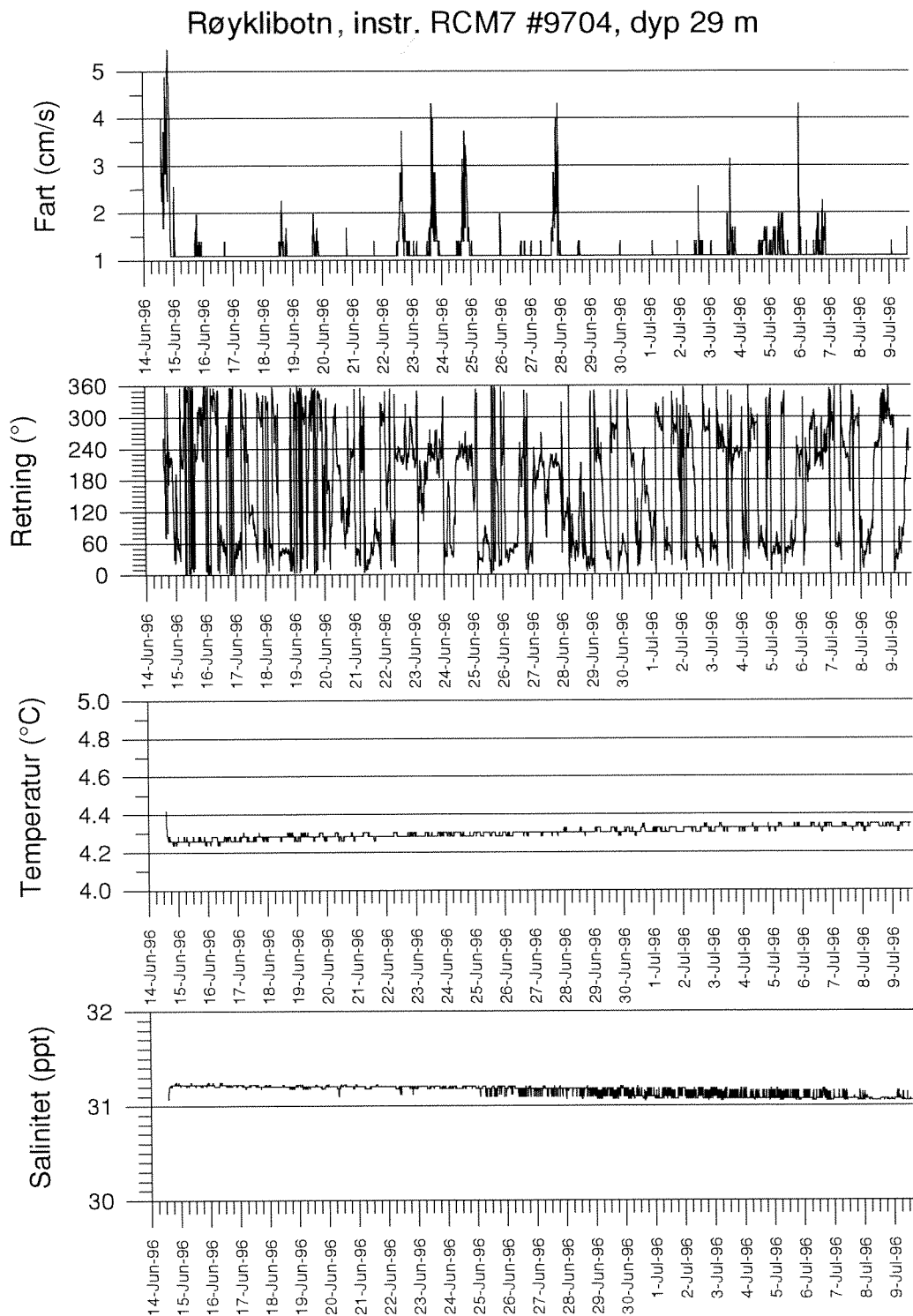
4.2.2 Beskrivelse av strømdata

I 3 m dyp kan tidevannssignalet tydelig sees i strømmålingene. Dette viste seg i dataene som vekselvis innstrømning og utstrømning til Indre Røyklibotn med periode på ca. 12,5 timer.

I 29 m dyp var det kun målbar strøm i perioder og da opp i maksimalt 5 cm/s. Som forventet sees ikke tidevannssignalet her da strømmåleren stod dypere enn terskeldypet på 24 meter. I periodene med målbar strøm var strømretningen alltid vestlig, det vil si innstrømning til Indre Røyklibotn fra Kjelheimbassenget. Det vil si at det må være en kompenserende utstrømning høyere oppe i vannsøylen.

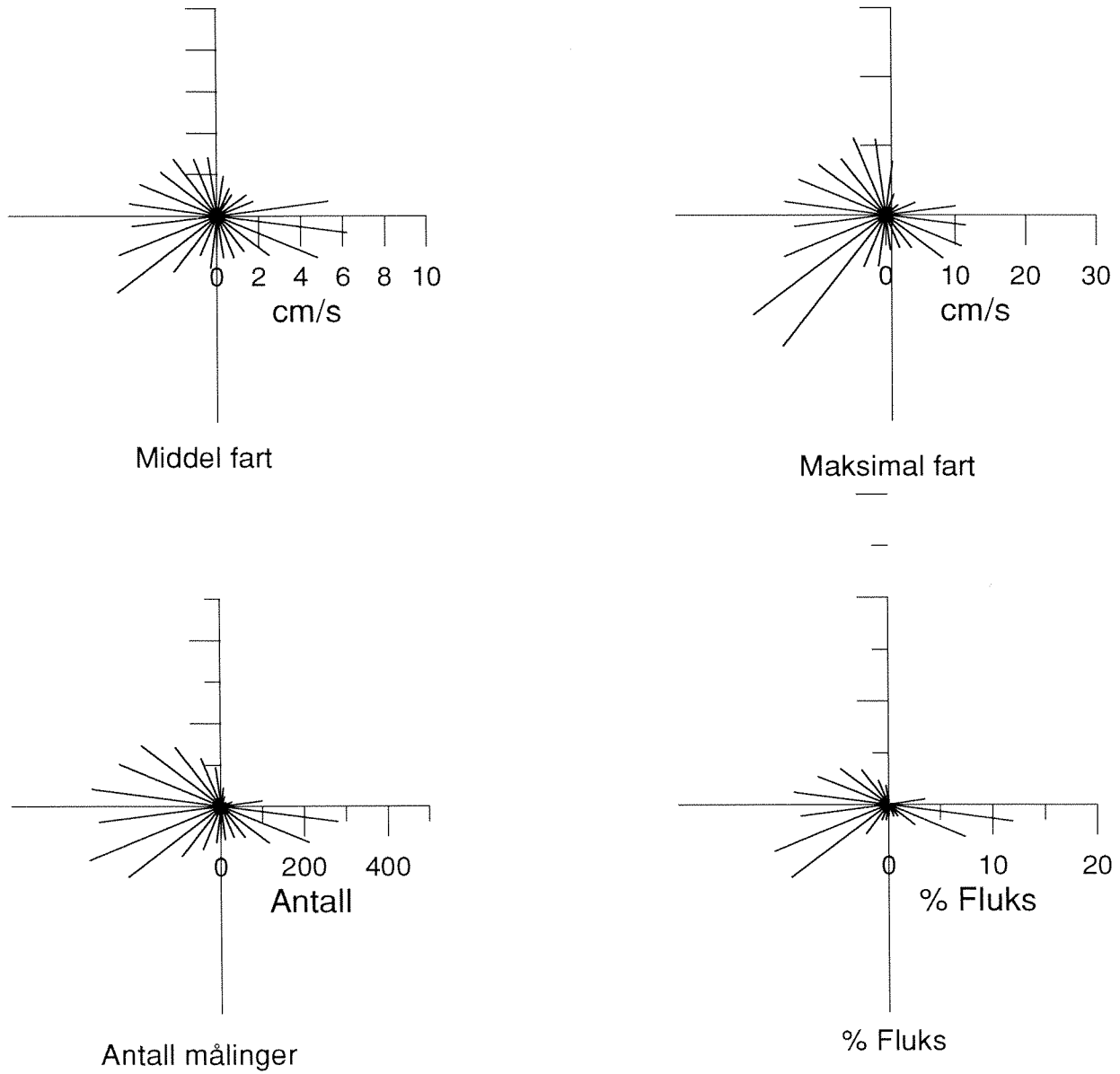


Figur 4.7. Strømmålinger i 3 m dyp ved Røyklibotn.



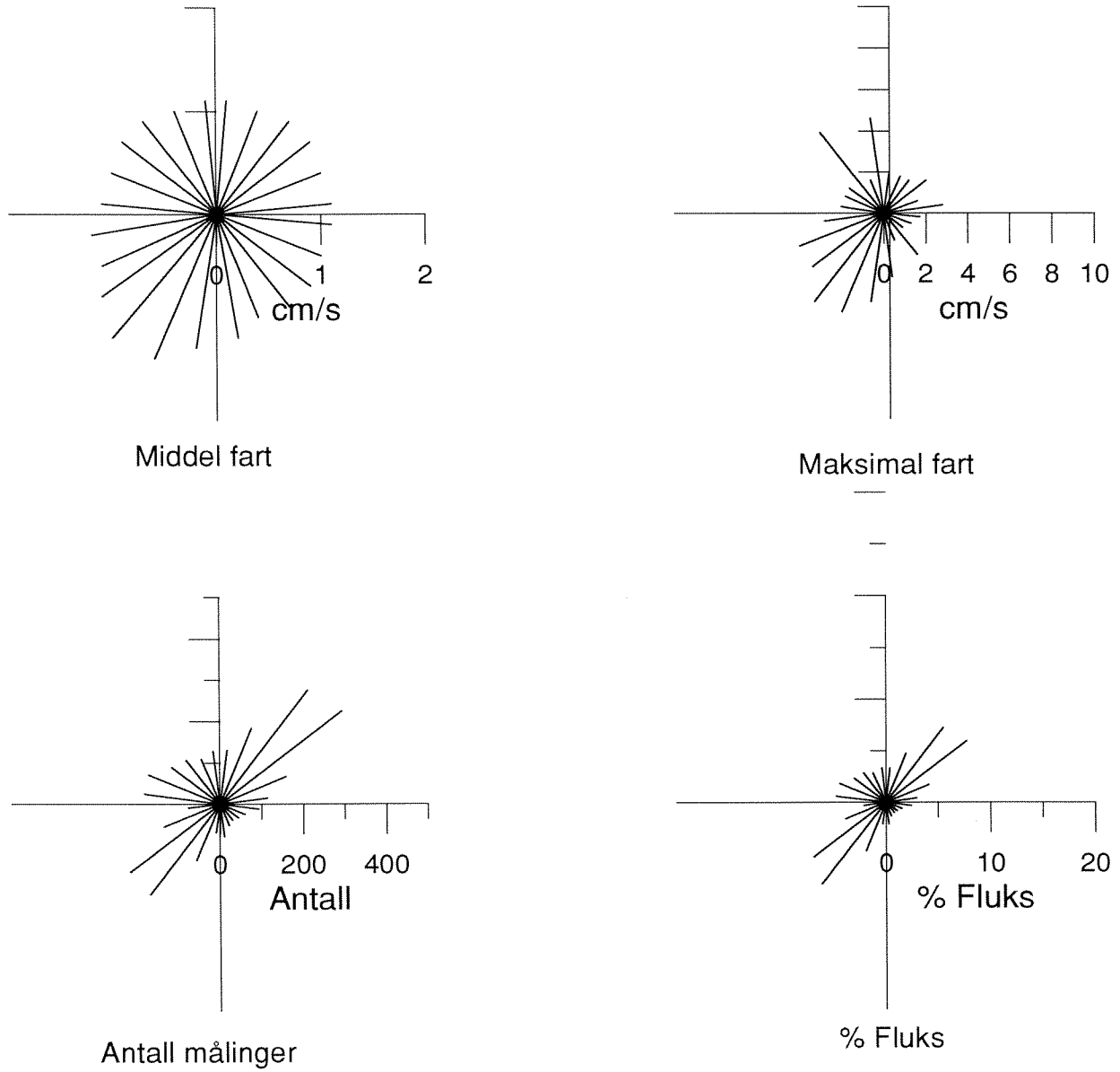
Figur 4.8. Strømmålinger i 29 m dyp ved Røyklibotn.

Røyklibotn (3 m, #8362)



Figur 4.9. Strømmålinger i 3 m dyp ved Røyklibotn.

Røyklibotn (29 m, #9704)



Figur 4.10. Strømmålinger i 29 m dyp ved Røyklibotn.

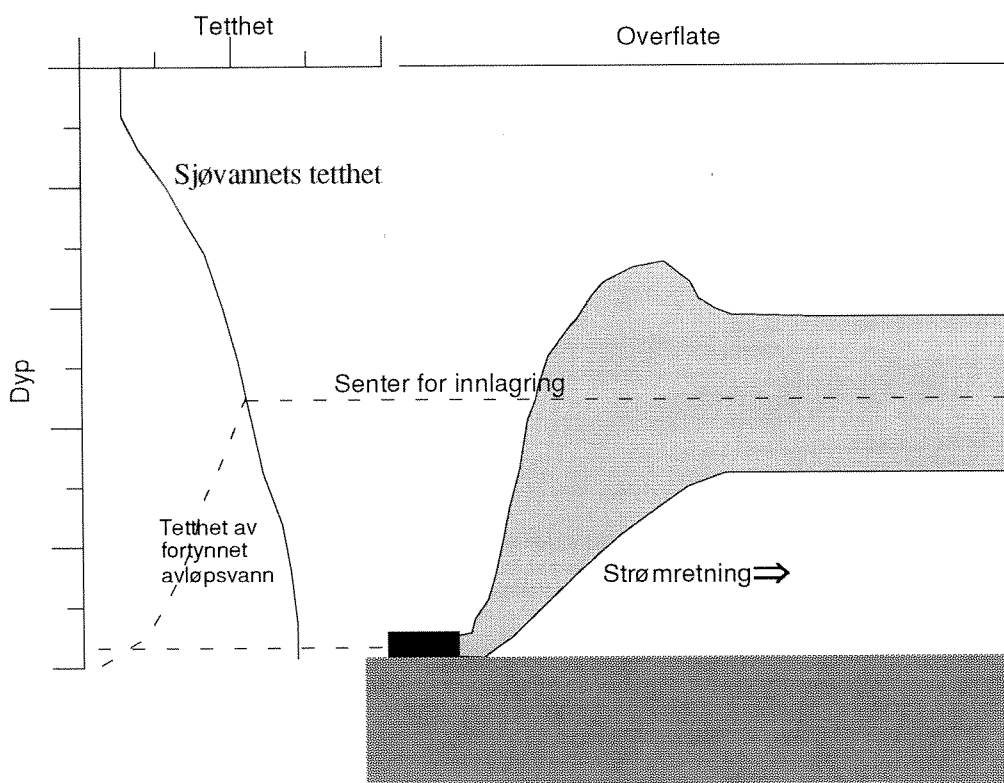
4.3 Diskusjon av bunnvannsutveksling mellom de forskjellige bassengene.

4.3.1 Bakgrunn

Ferskvann som slippes ut er lettere enn sjøvann. Ved utslipp på dypt vann i en fjord vil derfor ferskvannet straks stige opp mot overflaten, mens det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Dermed øker både volumet og egenvekten (tettheten) av denne "blandingsvannmassen", mens den beveger seg oppover i vannsøylen. Hvis fjordvannet er lagdelt, dvs. det er lettere vann over tyngre vann, vil avløpsvannet ikke nå opptil overflaten. Grunnen er at egenvekten til blandingsvannmassen (avløpsvann+sjøvann) etterhvert blir tilnærmet lik egenvekten til det omkringliggende sjøvannet. Da stopper den vertikale bevegelsen, og skyen av fortynnet ferskvann begynner å bre seg horisontalt utover, mens den fortynnes videre. Vi sier at ferskvannet innlagres. Dette er illustrert i figur 4.11.

Fortynningen fram til avløpsvannet er innlagret og har "forbrukt sin energi" omtales oftest som primærfortynningen. Den videre fortynningen bestemmes i alt vesentlig av den turbulente blandingen i resipienten, og omtales som sekundærfortynning.

For det dykkede utslippet i Indre Røyklibotn er det ikke gjennomført beregninger av innlagringsdyp fordi det ikke foreligger data for den tilførte vannmengden.



Figur 4.11. Illustrasjon av hvordan ferskvann innlagres i en lagdelt vannmasse.

4.3.2 Det neddykkede utslippets påvirkning av bunnvannskvaliteten i Indre Røyklibotn

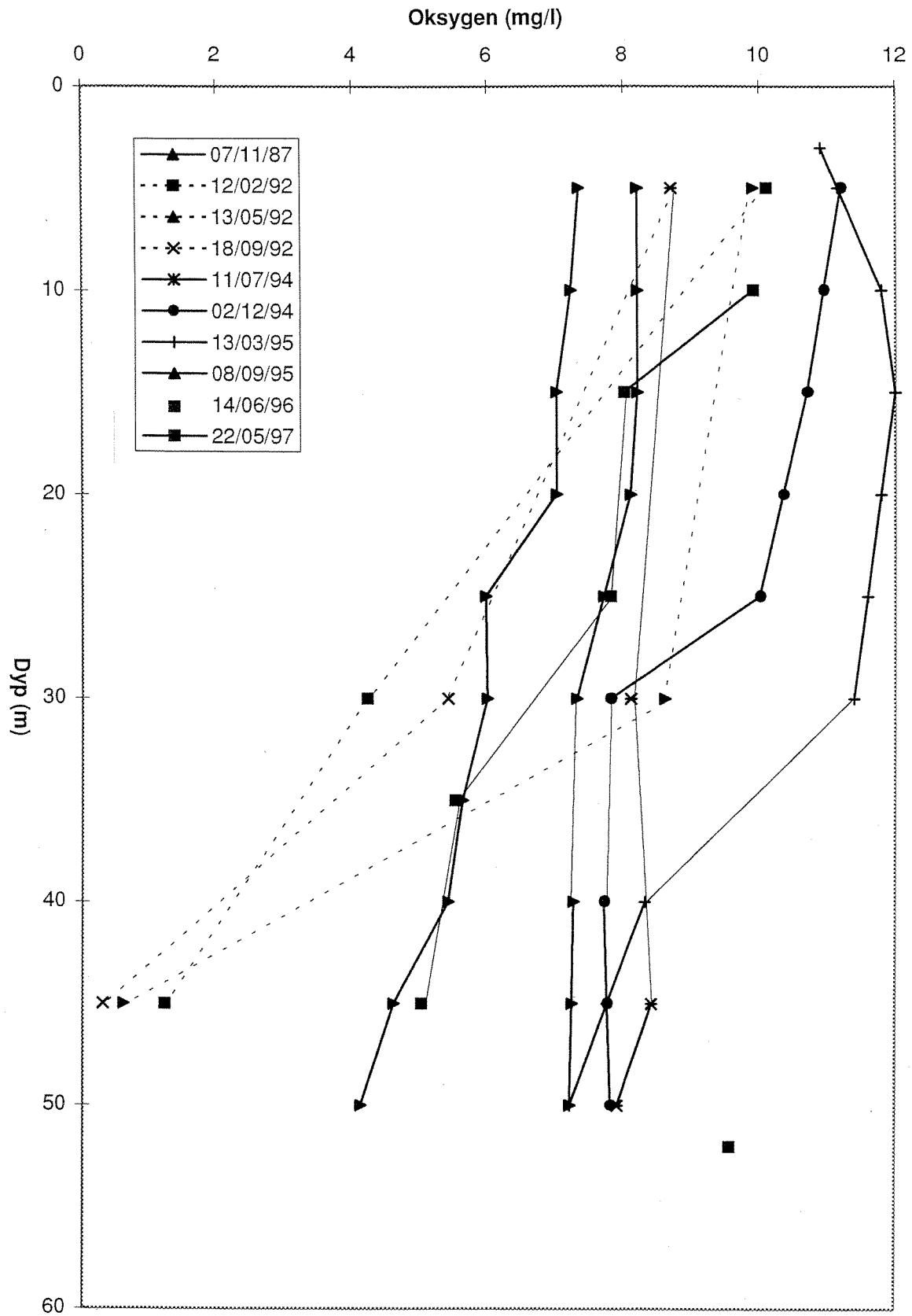
Oksygenmålinger i Indre Røyklibotn i perioden 1986-94 har vist at dypvannet til tider kan inneholde lite oksygen, og med en negativ utvikling de senere årene. I 1992 var det svært lite oksygen i dypvannet over en lang periode. På grunn av den negative oksygenutviklingen som Fylkesmannens miljøvernavdeling har tilskrevet utslippene fra Neptun Settefisk A/S, gjennomførte settefiskprodusenten sommeren 1994 fjordforbedringstiltak i form av dykket ferskvannsutslipp i Indre Røyklibotn.

Målinger ved bruk av oksygensonde både før og etter igangsettelse av fjordforbedring foretatt av oppdrettskonsulten i Flatanger, Fosnes og Namsos på oppdrag fra miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, tyder på at det neddykkede ferskvannsutslippet til dypområdet i Indre Røyklibotn har en positiv innvirkning på bunnvannskvaliteten i resipienten (fig. 4.12). Punktmålingen av oksygen i dypvannet foretatt 14. juni 1996 viste en meget høy oksygenkonsentrasjon (9,55 mg O₂/l). Vinteren 1996 var det dypvannsutskiftning i Lauvsneselven (Molvær 1997), og det høye oksygenivået og den svake stabiliteten i dypvannet i Indre Røyklibotn kan ha sammenheng med en tilsvarende hendelse. Dette kombinert med dykket ferskvannsutslipp kan ha ført til unormalt mye oksygen i dypvannet. Manglende overvåkningsdata gjør det imidlertid umulig å gi en sikker vurdering av årsaksammenhengene.

Som tidligere forklart, vil et dyputslipp med oksygenrikt ferskvann føre til at sjøvann blander seg med utslippsvannet, mens dette stiger mot overflaten. Dette fører til et forbruk av dypvann med høy salinitet og gjerne lavt oksygeninnhold i startperioden. Strømdataene tyder på at dypvannsforbruket kompenseres ved en pulsvis innstrømning av vann fra Kjelheimbassenget. Det innstrømmende vannet har mindre tetthet enn det gamle bunnvannet i Indre Røyklibotn. Det vil si at tungt bunnvann erstattes gradvis av lettere vann. Resultatet blir en instabilitet i vannmassene som resulterer i hyppigere dypvannsutskiftninger.

Strømmålingene og punktmålingene av salinitet og temperatur i Indre Røyklibotn indikerer at fjordforbedringstiltaket virker som antatt. Ferskvannstilførselen til bunnen i resipienten tilfører vannmassene oksygen og destabiliserer samtidig vannsøylen slik at bunnvannet skiftes ut hyppigere enn tidligere. Økt vanntilførsel til Indre Røyklibotn fra Kjelheimbassenget, fører også sannsynligvis til økt vannstrøm inn gjennom Jæktevikstrømmen. Det neddykkede ferskvannsutslippet gir dermed økt vannutskiftning i begge de to omtalte bassengene. Vestgøten synes å være lite påvirket av økt vannstrøm i de to ytre bassengene. Dette gjenspeiles i lav oksygenmetning i dette bassengets dypvann.

Selv om det er gjennomført en del punktmålinger av salinitet, temperatur og oksygen, er det hydrografiske datagrunnlaget for Røyklibotn og det tilstøtende fjordområdet mangelfullt. Røyklibotn er et lukket fjordområde som består av 3 ulike basseng med terskler mellom og må derfor ansees som et relativt sett komplisert hydrografisk system. Da det i 1993 ble anbefalt gjennomføring av fjordforbedringstiltak i Indre Røyklibotn for å bedre oksygenforholdene i bunnvannet, ble det samtidig anbefalt utredning av et overvåkningsprogram (Johnsen & Hektoen 1993). De målinger som er utført etter igangsettingen av fjordforbedringstiltaket, er kun spredte punktmålinger. Mangel på måleserier over tid av salinitet, temperatur og oksygen gjør det vanskelig å få en oversikt over dynamikken i prosessene i Røyklibotn etter at dykket ferskvannsutslipp ble etablert sommeren 1994.



Figur 4.12. Oksygenkonsentrasjonene i Indre Røyklibotn før og etter gjennomføring av fjordforbedringstiltak i 1994.

4.4 Sediment

4.4.1 Sedimentkarakteristikk og sedimentets kjemiske sammensetning

På stasjonene var det finkornet bunnsediment med noe innslag av bladrester, plantefibre og mose tilført fra land (Tabell 4.3). Det var også noe skallrester fra børstemark og muslinger. Sedimentet var av normal grå farge på begge stasjonene i Kjelheimbassenget, mens det var mørkt i indre Røyklibotn. Det var ingen lukt av sedimentet på noen av stasjonene.

Begge de dype stasjonene (St. S2, S6) hadde et vannholdig sediment med høyt innhold av finmateriale (Tabell 4.4). På stasjon S1 var det lavere vanninnhold og noe grovere materiale i sedimentet.

Sedimentene hadde et moderat innhold av organisk materiale. I henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet faller verdiene for karbon og nitrogen innenfor tilstandsklasse I 'god tilstand' på alle stasjonene. Grenseverdiene for klasse I er satt til henholdsvis 30 mg/g for organisk karbon (TOC) og 2,7 mg/g for nitrogen (TN) (SFT 1993). Grensene for karbon er gitt med hensyn på organisk karbon (TOC), men verdiene for TOC vil normalt være noe lavere enn for totalt karbon (TC) som dermed kan overskride grenseverdiene noe.

De relative mengdene av karbon, nitrogen og fosfor i organisk materiale vil variere ettersom hva materialet består av. Forholdstall mellom karbon, nitrogen og fosfor kan derfor indikere noe om materialets art og opprinnelse. I sedimenter hvor det organiske materialet hovedsakelig stammer fra naturlig produksjon i sjøen (f.eks. dødt plankton), vil forholdstallet mellom karbon og nitrogen (C/N) være 6-8. Tilsvarende vil normale forholdstall for P/C og N/P være henholdsvis ca. 0,025 og ca. 7. I områder hvor det tilføres mye nitrogenfattig plantemateriale fra land, vil C/N-forholdet stige over 10. Ved utslipp av nitrogenrikt eller fosforholdig materiale vil C/N-forholdet falle og P/C-forholdet øke.

Ved oppdrettsanlegg og smoltanlegg har det vært påvist svært høye P/C-forhold og svært lave C/N-forhold i sedimentene (Nilsen et al. 1987, Lømsland & Oug 1995). Dette har sammenheng med at fisk inneholder normalt 0,4% fosfor, mens i fiskefôr er fosforinnholdet 1,0-1,4% (Ervik & Aure 1990). Dette innebærer at fisken ikke kan nyttiggjøre seg alt fosforet i maten den spiser. Ca. 85% av fosforet tilføres miljøet i form av spillfôr og fekalier, og dette er materiale som faller til bunns og anriker sedimentet. Mesteparten av nitrogenutslippet vil skje over fiskens gjeller, dvs. som oppløst nitrogen. Fôrspill og fekalier vil også øke innholdet av nitrogen i sedimentet, men i mindre grad enn for fosfor. Resultatet blir at i et sediment forurenset fra fiskeoppdrett vil P/C-forholdet øke, C/N-forholdet avta og N/P-forholdet avta.

Resultatene viser C/N-forhold over 10 på samtlige stasjoner. Dette indikerer stor tilførsel av plantemateriale fra land, og de visuelle observasjonene av både blad, barnåler, pinner, plantefibrer og mose under prøvetakningen stadfester at en slik tilførsel finner sted både til Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget (Tabell 3.3). Stor tilførsel av nitrogenholdig materiale fra settefiskproduksjonen ville ha gitt C/N-forhold lavere enn 6-8. Når forholdstallet ligger godt over 10, må dette skyldes at tilførselen av plantemateriale fra land er langt større enn tilførselen av fôrrester og fekalier fra settefiskproduksjonen.

Tabell 4.3. Bunnprøvetaking i Røyklibotn 14. juni 1996: Stasjoner, dyp, visuelle observasjoner og karakteristikk av grovmaterialet i prøvene. Oksygeninnhold i bunnvannet målt 2 m over bunnen er også vist.

St.	Dyp (m)	Bunnprøver Ekmangrabb	Visuelle observasjoner	Karakteristikk av sikterest	Oksygen (mg/l)
S1	24	2 prøver for sedimenter	Grått finkornet sediment. Ingen lukt. Ingen dyr synlig på overflaten	-	-
S2	52	4 prøver for sedimenter og bunndyr	Sort finkornet sediment. Ingen lukt. Ingen dyr synlig på sedimentoverflaten.	Rester av blad, barnåler, småpinner og mose. Noen få fiskeben. Litt smågrus og sandkorn. Noen få skall av blåskjell og rester av rørbyggende mark (<i>Pectinaria</i>).	9,55
S6	47	4 prøver for sedimenter og bunndyr	Grått finkornet sediment. Ingen lukt. Ingen dyr synlig på overflaten.	Mye faste mudder-rør av børstemark. Skallrester av muslinger (<i>Corbula</i> , <i>Leda</i> , <i>Yoldiella</i> , <i>Astarte</i>), litt skall av kråkeboller. Noe rester av blad, pinner, barnåler og plantefibre.	10,10

Tabell 4.4. Bunnssedimenter i Røyklibotn 14. juni 1996: totalt tørrstoff (TTS), innhold av finpartikulært materiale (% < 0,063 mm) og innhold av karbon (TC), nitrogen (TN) og fosfor (TotP). Forholdstall mellom karbon, nitrogen og fosfor er også vist.

Stasjon	TTS (g/kg)	Finmateriale (%)	TC (mg/g)	TN (mg/g)	TotP (mg/g)	C/N	P/C	N/P
S1	429	84,5	17,6	1,4	0,84	12,6	0,048	1,67
S2	233	99,3	30,3	2,4	0,77	12,6	0,025	3,12
S6	357	98,2	23,6	2,1	0,67	11,2	0,028	3,13

På stasjon S1 like ved utslippspunktet for avløpsvann fra Neptun Settefisk A/S var P/C-forholdet noe forhøyd, og N/P-forholdet nedsatt. Dette tyder på at det i nærheten av utslippspunktet sedimenterer materiale fra settefiskproduksjonen som anriker sedimentet noe med fosfor. I dypområdene i Kjelheimbassenget (stasjon S6) og i Indre Røyklibotn (stasjon S2) var P/C-forholdene normale, mens N/P-forholdene var noe nedsatte. Nedsatt N/P-forhold synes å være forårsaket av den store tilførselen av nitrogenfattig plantemateriale fra land som samler seg i dypområdene, og har ikke sammenheng med økt fosforbelastning. Relativt likt fosforinnhold på de tre stasjonene støtter en slik forklaring.

4.4.2 Bunnfauna

På stasjon S2 i Indre Røyklibotn var bunnprøvene så godt som livløse. Prøvene inneholdt bare to individer av børstemarken *Chaetozone setosa* (Tabell 4.5).

På stasjon S6 i Kjelheimbassenget var det en noe artsfattig, men normalt individrik fauna. Artsmangfoldet var nedsatt, men ikke spesielt lavt. I henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet faller artsmangfoldet (Shannon-Wiener H') i klasse III 'nokså dårlig tilstand' (SFT 1993). Det nedsatte artsmangfoldet skyldes markert dominans av børstemarkene *Maldane sarsi* og *Myriochele oculata*. Dette er arter som opptrer vanlig i bløte fjordsedimenter. Begge artene er tolerante for forurensninger (Rygg 1995), men er ikke spesielt vanlige å finne i organisk forurensede områder.

Tabell 4.5. Bunnfauna i Røyklibotn 14. juni 1996. På hver stasjon ble det innsamlet 4 prøver med Ekman bunngrabb, tilsvarende en bunnflate på 0,09 m².

Stasjon	S2	S6
POLYCHAETA (mangebørstemark)		
<i>Goniada maculata</i>	-	2
<i>Nephtys ciliata</i>	-	3
<i>Lumbrineris cf. fragilis</i>	-	2
<i>Phylo norvegica</i>	-	1
<i>Chaetozone setosa</i>	2	-
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	2
<i>Maldane sarsi</i>	-	112
<i>Euclymene</i> sp.	-	1
<i>Myriochele oculata</i>	-	25
<i>Melinna cristata</i>	-	1
<i>Terebellides stroemi</i>	-	3
BIVALVIA (muslinger)		
<i>Nuculoma tenuis</i>	-	2
<i>Yoldiella lenticula</i>	-	2
<i>Yoldiella lucida</i>	-	1
<i>Leda permula</i>	-	1
<i>Astarte montagui</i>	-	1
<i>Arctica islandica</i> , juv.	-	2
<i>Corbula gibba</i>	-	7
<i>Thyasira</i> sp.	-	1
ECHINODERMATA (pigghuder)		
<i>Ctenodiscus crispatus</i> , juv.	-	1
Samlet artstall	1	19
Samlet individtall	2	170
Artsmangfold, Shannon-Wiener H' (log 2)	-	2,00
Jevnhet, Pielou J	-	0,47

4.5 Vurderinger av bunnsedimenter og bunnfauna

I Kjelheimbassenget var bunnsedimentene friske og nær normale, men det var påvirkning av fosforholdig materiale i nærområdet til utslippsstedet for avløpsvann fra Neptun Settefisk A/S. Bunnfaunaen i dypområdet må betraktes som en normal fjordfauna, men hadde noe nedsatt artsmangfold. Det var ikke noe spesielt innslag av arter som erfaringsmessig øker i mengde ved forhøyde organiske tilførsler. Artssammensetningen og resultatene fra sedimentanalysene tyder derfor ikke på noen vesentlig påvirkning av organiske tilførsler til dypområdene i Kjelheimbassenget.

I Indre Røyklibotn var bunnområdene så godt som livløse, men bunnsedimentene var friske og hadde normale verdier for de målte sedimentkomponentene. Dette tyder på at det tidligere har vært perioder med oksygensvikt i området som har utslettet bunnfaunaen, men som ikke har vært så alvorlige at det har utviklet seg hydrogensulfid i sedimentene. Oksygenprøvene som ble tatt samtidig med bunnprøvene, viste at det var tilfredsstillende oksygenkonsentrasjoner i dypvannet på det tidspunktet da prøvene ble tatt. Det har tidligere blitt påvist periodevis dårlige oksygenforhold og hydrogensulfid i bunnsedimentene i Indre Røyklibotn (Johnsen & Hektoen 1993). Også ved undersøkelsene i 1994 ble det funnet en meget artsfattig fauna i Indre Røyklibotn (Johannessen & Tvedten 1995). Dette ble tilskrevet periodevis dårlige oksygenforhold.

Sjøtannen *Siphonodentalium lobatum* ble ikke funnet i prøvene. Arten som er en vanlig kaldtvannsart, har hovedsaklig en mer nordlig utbredelse, men er funnet så langt sør som i Portugal (Muus 1959). Funnet i Indre Røyklibotn i 1988 er den hittil sørligste registreringen i Norge (Stokland & Berge 1988, Brattegard & Holthe 1997). At arten ble funnet på denne lokaliteten, har trolig sammenheng med at dette har vært et område hvor temperaturen i dypvannet har holdt seg stabil lav. Hvis arten ikke lenger finnes på denne lokaliteten, kan det ha sammenheng med periodevis oksygensvikt i dypvannet. En annen forklaring kan være at det neddykkede ferskvannsutslippet har ført til for sjøtannen uakseptabelt store temperatursvingninger i dypvannet. Det må imidlertid understrekes at det bare er tatt et lite antall bunnprøver i området, og at disse ikke gir grunnlag for å avgjøre om arten fortsatt er tilstede.

I 1993 ble det målt karbon og nitrogen i bunnsedimentene utenfor Neptun Settefisk (stasjon S1) og i dypbassenget i Indre Røyklibotn (stasjon S2) (Johnsen & Hektoen 1993). Disse prøvene viste litt lavere verdier for karbon, men omtrent like verdier for nitrogen, sammenlignet med foreliggende undersøkelse. C/N-forholdene var lavere. Forskjellene var størst på stasjon S1, noe som kan indikere en økt avsetning av organisk materiale på denne stasjonen, men forskjellene var ikke tydelige. I 1985 ble det målt organisk innhold som glødetap på fire stasjoner i Kjelheimbassenget (Holte et al. 1986). Verdiene varierte fra 3,0 til 5,8 % (30-58 mg/g), noe som teoretisk vil tilsvare karbonverdier på 12 til 23 mg/g (organisk karbon vil tilsvare ca. 40 % av organisk materiale). Dette kan tyde på at det ikke har vært noen vesentlige forandringer i sedimentenes innhold av organisk materiale etter at settefiskanlegget kom i drift. I Indre Røyklibotn ble det i 1994 målt et glødetap på 8,6 % (Johannessen & Tvedten 1995), som vil tilsvare en karbonverdi på 34 mg/g. Det er nær samme verdi som i denne undersøkelsen (stasjon S2). Omregninger fra glødetap til organisk karbon er imidlertid usikre, og i flere tilfeller har det blitt funnet at karbonverdiene skal settes lavere enn

de teoretiske verdiene (Moy et al. 1996). Legges dette til grunn, blir resultatet at det organiske innholdet i Kjelheimbassenget har økt.

I 1985 ble det også undersøkt bunnfauna i Kjelheimbassenget (Holte et al. 1986). Faunaen var da normalt sammensatt og forholdsvis artsrik. En av stasjonene ble tatt i dypområdet nær ved stasjon S6. Denne stasjonen var sterkt dominert av børstemarken *Maldane sarsi*, som altså var tilsvarende dominerende i 1996. Flere av de samme artene ble gjenfunnet, men det ble funnet færre muslinger i 1985.

Generelt gir prøvene inntrykk av at faunaen i Kjelheimbassenget har endret seg forholdsvis lite, noe som må tolkes som at miljøtilstanden har holdt seg stabil. De hydrografiske undersøkelsene har vist at vannutskiftningen i Kjelheimbassenget er god. Tidevannsstrømmen inn til Røyklibotn setter opp vertikal diffusjon som medfører at bunnvannet skiftes ut relativt raskt (Johnsen & Hektoen 1993). Sedimentprøvene viser at svært finpartikulært materiale avsettes i det dypeste området, men det synes ikke som dypområdet fanger opp spesielt mye organisk materiale.

4.6 Samlet vurdering

Hydrografimålingene i juni 1996 viste at vannmassene fra 23 til 48 meter (dvs. under terskeldyp mot Kjelheimbassenget) i Indre Røyklibotn hadde relativt lav stabilitet. Oksygenforholdene i bunnvannet var gode (90% metning).

Strømmålingene på 3 meters dyp viste tidevannsstrøm inn og ut av Indre Røyklibotn med perioder på 12,5 timer. På 29 meters dyp ble det kun målt innstrømmende vannmasser (vestlig strømretning).

Formålet med fjordforbedringstiltaket i Indre Røyklibotn var å forhindre stagnasjon av dypvannet med påfølgende oksygensvikt og gjennom hyppigere bunnvannsutskiftninger forbedre dypvannets vannkvalitet. De hydrografiske punktmålinger som er gjennomført i perioden 1994-96, og strømmålingene sommeren 1996 tyder på at det neddykkede ferskvannsutslippet har økt vannutvekslingen mellom Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget. Hvorvidt den høye oksygenkonsentrasjonen i dypvannet i Indre Røyklibotn sommeren 1996 skyldes det igangsatte fjordforbedringstiltaket eller en fullstendig dypvannsutskiftning er dog uklart. Sannsynligvis må de gode oksygenforholdene tilskrives en samlet effekt av de to forholdene.

I tillegg til at bunnvannet i Indre Røyklibotn stadig fornyes, vil tapping av dypvann fra Kjelheimbassenget føre til oftere fornying av dypvannet også i dette bassenget. Forholdene i Vestgøten synes imidlertid å bli mindre påvirket av det gjennomførte fjordforbedringstiltaket. Datagrunnlaget er imidlertid svært begrenset slik at det er vanskelig å få oversikt over dynamikken i prosessene som følge av etableringen av det dykkede ferskvannsutslippet.

Bunndyrsfaunaen i Kjelheimbassenget har ikke endret seg vesentlig fra 1985 til 1996. Artssammensetningen viser en normal fjordfauna, men dog med noe redusert artsmangfold. Ingen arter som normalt indikerer høy organisk belastning, ble funnet. I Indre Røyklibotn var bunnområdene nesten uten dyreliv både i 1994 og 1996. Forholdene i 1994 ble karakterisert som klart dårligere enn i 1987 da sjøtannen *Siphonodentalium lobatum* ble registrert (Johannessen & Tvedten 1995). Forholdene var nokså like i 1994 og 1996. I sedimentene var C/N-forholdet høyere enn 10 både i Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget. Dette indikerer stor tilførsel av plantemateriale fra land. Normale P/C-forhold og reduserte N/P-forhold i begge bassengenes dypområder viser at sedimentet var dominert av nitrogenfattig materiale av terrestrisk (fra land) opprinnelse. Et noe forhøyd P/C-forhold og nedsatt N/P-forhold nær settefiskanleggets utslippssted for avløpsvann tyder imidlertid på at det lokalt sedimenterer noe materiale fra settefiskproduksjonen. Totalt sett må likevel miljøforholdene i Kjelheimbassenget betraktes både som gode og stabile. Dagens belastningsnivå fra Neptun Settefisk A/S synes ikke å overstige denne resipientens kapasitet.

I Indre Røyklibotn har nedføring av ferskvann til bassengets dypområde ført til betydelig forbedring av dypvannets vannkvalitet og har økt resipientens kapasitet. I lange tørkeperioder kan imidlertid Tverrelva være så godt som tørrlagt og da fungerer ikke det neddykkede ferskvannsutslippet. Konsekvensen blir da at det oppstår stagnerende bunnvann hvor oksygenkonsentrasjonen avtar over tid. Det kan derfor stilles spørsmål ved om oksygenmålingen i juni 1996 var representativ for resten av året.

Bunndyrundersøkelsen viste at det i dypområdet var svært få levende organismer å finne selv om oksygenforholdene i bunnvannet var tilfredsstillende på måletidspunktet. Sedimentet var svart, men luktet ikke hydrogen sulfid (H_2S). At det ikke ble funnet mer levende dyr i sedimentet 2-3 år etter at fjordforbedringstiltak er gjennomført, kan ha sammenheng med at det har tatt så lang tid å fjerne H_2S -gassen fra sedimentet. Dermed kan de levende børstemarkene som ble funnet, være et tegn på at organismene nettopp har startet rekolonisering av bunnen etter lengre tids H_2S -eksponering. En like sannsynlig forklaring på manglende rekolonisering av bunnsedimentene kan imidlertid være at det fremdeles kan forekomme perioder med oksygensvikt i dypvannet og at etablert bunnfauna går tapt i disse periodene. Manglende overvåking av vannføringen i det dykkede utslippet og data for utviklingen av salinitet, temperatur og oksygen gjør det imidlertid svært vanskelig å vurdere i hvilken grad tiltaket er tilstrekkelig for å opprettholde en vedvarende gitt minimumskonsentrasjon for oksygen i dypvannet.

Utviklingen av oksygenforholdene i dypvannsområdene i Indre Røyklibotn fram til 1994 var bekymringsfull, men hverken denne eller tidligere undersøkelser har kunnet påvise at den negative trenden i dette fjordområdet har vært knyttet til settefiskproduksjonen ved Neptun Settefisk A/S. Et urensset utslipp av avløpsvann fra settefiskproduksjon vil inneholde både partikulært organisk materiale (fórrester og fekalier) og oppløste næringsstoffer (næringsstoffer) som teoretisk sett kan transporteres inn til Indre Røyklibotn. Nedbrytning av partikulært organisk materiale i Indre Røyklibotn vil føre til økt forbruk av dypvannets oksygen. Økt tilførsel av næringsstoffer via avløpsvannet vil kunne øke den lokale algeproduksjonen, og hvis algene får anledning til å sedimentere inne i Indre Røyklibotn, vil også nedbrytningen av dette organiske materialet kreve oksygen. De kjemiske analysene av sedimentet fra Indre Røyklibotn tyder imidlertid på at den organiske belastningen i resipienten i det alt vesentligste stammer fra terrestrisk produsert plantemateriale. Det bør derfor undersøkes om andre aktiviteter eller hendelser i resipienten eller dens nedslagsfelt kan ha forårsaket økt organisk belastning som har medført overskridelse av resipientens kapasitet.

Røyklibotn og spesielt Indre Røyklibotn er resipienter som fra naturens side tåler relativt liten ekstrabelastning. En fordobling av settefiskproduksjonen vil føre til en tilsvarende økning av utslipp av organisk materiale og næringsstoffer hvis ikke rensiltak iverksettes. Forsøk med bruk av to roterende hjulfiltere med lysåpning på 350/150 μm og 60 μm har vist at renseeffektiviteten er ~60% for suspendert tørrstoff og totalt fosfor og ~10% for totalt nitrogen (Bergheim 1997). For partikulært fosfor har en for stor laks (1-2 kg) funnet nesten total renseeffektivitet (98%), mens renseeffekten for oppløst fosfat var 35% (Bergheim 1991). Ammonium, som normalt er den dominerende nitrogenfraksjonen, gikk upåvirket gjennom filterne.

Kravet til settefiskens størrelse har endret seg de senere årene. Nå krever markedet en adskillig større fisk en tidligere slik at en normal størrelse nå er 100 g, mens 50 g var vanlig tidligere. Ut fra tallene for renseeffektivitet og en økning av settefiskens størrelse vil en økning av settefiskproduksjonen fra 200.000 til 400.000 settefisk ved Neptun Settefisk A/S kombinert med rensing av avløpsvannet medføre en belastningsøkning på 60% for suspendert og totalt fosfor, 160% for fosfat, 260% for totalt nitrogen og 300% for ammonium i forhold til 1993.

I 1993 ble det gjennomført belastningsberegninger for produksjon av 200.000 settefisk på 50 g (jfr. Johnsen & Hektoen 1993). At settefisk i dag er 100 g betyr at miljøbelastningen for produksjon av samme antall settefisk øker til omtrent det doble hvis førfaktoren holdes konstant. En økning av settefiskproduksjonen til det doble kombinert med rensing av avløpsvannet vil føre til en økning i tilførselen av totalt fosfor fra ca. 65 kg til ca. 105 kg, mens den totale nitrogentilførselen øker fra ca. 140 kg til ca. 560 kg - alt i forhold til den beregnede belastningen i 1993. Mestparten av økningen av totalt nitrogen skyldes at ammonium ikke påvirkes av rensing slik at ammoniumutslippet øker proporsjonalt med økningen av settefiskproduksjonen.

For suspendert tørrstoff vil endringene i utslippet føre til en belastningsøkning på ca. 60% i forhold til den beregnede belastningen for 1993. Rensing av avløpsvannet vil imidlertid føre til at nesten alle partikler <100 µm fjernes slik at partiklene som føres ut i resipienten, vil være relativt små. Partiklene i avløpsvannet vil dermed fraktes lenger bort fra utslippsstedet før de sedimenterer. Det betyr at belastningen vil bli fordelt over et større areal enn tidligere, og belastningen nær utslippspunktet for avløpsvannet vil bli betydelig redusert.

Overflatevannet i Røyklibotn er brakt. Det medfører at algenes produksjon er fosforbegrenset, dvs. at en økning i fosfortilgangen øker potensialet for algevekst. Et utslipp på ca. 100 kg fosfor hvor ca. 20% er biotilgjengelig, er likevel lite i forhold til fosfortilførselen via avrenning til fjordområdet.

Som tidligere nevnt har kravet til settefiskens størrelse økt til det doble. Ved Neptun Settefisk A/S har det de siste år vært produsert settefisk på 80 g. Det betyr at en økning av settefiskproduksjonen fra 200.000 til 400.000 kombinert med rensing vil gi følgende endringer i utslippsmengdene i forhold til dagens utslipp:

Suspendert tørrstoff:	Ingen endring
Totalt fosfor:	Ingen endring
Fosfat:	+ 60%
Totalt nitrogen:	+125%
Ammonium:	+150%

Med bakgrunn i disse resultatene og opplysninger fra Neptun Settefisk A/S om at førfaktoren er redusert fra 1 til 0,9 skulle montering av roterende hjulfiltere med minste lysåpning på 60 µm ved Neptun Settefisk A/S føre til at settefiskproduksjonen skulle kunne fordobles uten å øke dagens belastningen fra organiske partikler på resipienten. Forutsetningen for at resipienten ikke skal få økt belastning, er imidlertid at slamvannet først avvannes og så stabiliseres for sedimentering i tank. Utslippet av oppløste næringsstoffer vil likevel øke og gi grunnlag for økt primærproduksjon selv om denne er av begrenset karakter.

4.7 Forslag til oppfølgende undersøkelser og overvåkning

4.7.1 Overvåkning av fjordforbedringstiltak

Røyklibotn er et hydrografisk sett relativt komplisert system bestående av flere basseng med terskler imellom og hvor det ytre bassenget (Kjelheimbassenget) står i forbindelse med Blikengfjorden gjennom en trang strøm (Jægtvikstrømmen). Når det gjennomføres fjordforbedringstiltak inne i et slikt system, kan det være vanskelig å forutse den reelle effekten av tiltaket selv om det teoretiske grunnlaget er kjent. Dette er kommet klart fram ved denne undersøkelsen hvor en etter gjennomførelsen av fjordforbedringstiltaket sitter igjen med flere spørsmål enn svar på grunn av manglende overvåkningsdata.

Selv om det foreligger en del punktmålinger fra Indre Røyklibotn, er dette ikke tilstrekkelig for å oppnå kunnskap om dynamikken i systemet etter etableringen av dypvannsutslippet. Essensielle spørsmål i forbindelse med etablering av nødvendig kunnskapsbasis vil være:

1. Hvordan innvirker det dykkede ferskvannsutslippet på vannkvaliteten i dypvannet ved tilførsel av ulike ferskvannsmengder og hva skjer under tørkeperioder?
2. Når skjer de naturlige bunnvannsutskiftninger i Røyklibotn?

For å besvare disse spørsmålene er det for det første nødvendig å etablere måling av vannføring i ledningen som fører ferskvann ned til dypområdet i Indre Røyklibotn. Dermed vil en få kunnskap om den totale vannmengden ledningen transporterer, årsvariasjon i vanntransporten og når tørkeperioder inntreffer og hvor lenge disse varer. Dette er nødvendige basiskunnskaper når tiltakets effektivitet skal vurderes.

I tillegg må det gjennomføres periodevise målinger av temperatur og salinitet i vannsøylen med kontroller av oksygennivået i dypvannet. Måleperiodene bør legges slik at registreringer foretas under ulike vannføringsnivå i Tverrelva, og spesielt viktig er det å gjennomføre tilstrekkelig hyppige oksygenmålinger i perioder hvor oksygennivået måtte synke mot kritiske nivå. Viktig er det også at oksygenmålingene foregår etter anerkjente vitenskapelige metoder slik at en tilfredsstillende målenøyaktighet oppnås. For å oppnå maksimal informasjon fra målingene bør stasjonsplasseringen vurderes nøye.

Det hydrografiske datagrunnlaget både for Røyklibotn og det tilstøtende fjordområdet må ansees som mangelfullt. Derfor bør det etableres målestasjoner både i Vestgøten, i Kjelheimbassenget og i Blikengfjorden i tillegg Indre Røyklibotn. Gjennom slike målinger vil det etableres kunnskap om vannkvalitetsutviklingen i dypvannet i løpet av året både i og utenfor Røyklibotn. Dermed vil viten både om tidspunkt for og hyppighet av dypvannsfornyelse framkomme.

4.7.2 Overvåkning av resipienten

Selv om en eventuell økning av settefiskproduksjonen ved Neptun Settefisk A/S kobles til krav om rensing av avløpsvannet slik at belastningen fra partikulært materiale ikke økes, vil utslippene av næringssalter, og da spesielt nitrogen, bli større. Effektene av økt næringssalttilførsel er vanskelig å forutsi, og en økning av konsesjonen for settefiskproduksjonen bør derfor følges av et overvåkningsprogram som kan fange opp eventuelle miljøendringer i resipienten.

Programmet bør utformes slik at årsaken til eventuelle endringer kan fastlegges. Viktige elementer her vil være overvåkning av næringssalter, algebiomasse, vannets innhold av oksygen, sedimentets kjemiske sammensetning og bunnfauna. Overvåkingen bør omfatte både Indre Røyklibotn og Kjelheimbassenget. I Vestgøten bør iallfall næringssalter og algebiomasse overvåkes.

Det bør også undersøkes om fjordforbedringstiltaket kan ha noen negative følger i forbindelse med økte utslipp fra settefiskproduksjonen. Det kan tenkes at belastningen på Indre Røyklibotn faktisk øker dersom den økte vannutskiftningen mellom Kjelheimbassenget og Indre Røyklibotn fører til at innlagret avløpsvann i større grad enn tidligere bringes innover i fjordsystemet. Dette kan bare klargjøres ved å sammenholde kunnskap om dynamikken i systemet (jfr. pkt. 4.7.1) med prosesser knyttet til næringssalter, oksygen og partikler i vannmassene.

5. REFERANSER

- Aanderaa Instruments. 1983. RCM 7 & 8 Recording Current Meter. Operating Manual. Aanderaa Instruments, Bergen, Norway.
- Bergheim, A. 1991. Stoffberegning og renseeffekt - avløpsvann fra landbaserte matfiskanlegg. Rapport RF-209/91. 38 s.
- Bergheim, A. 1997. Utslippstillatelse Stolt Sea Farm, Fjon. I. Rensedel. Rapport RF-97/230.
- Brattegard, T., & T. Holte. 1997. Distribution of marine, benthic macro-organisms. A tabulated catalog. Preliminary edition. Utredning for DN. Nr. 1997-1.
- Ervik, A. & J. Aure. 1990. Pp. 32-39 i: T.T. Poppe (Red.). Fiskehelse. Sykdommer, behandling, forebygging. John Grieg Forlag AS. ISBN 82-533-0254-1. 422 pp.
- Holte, B. 1986. Hydrografi og resipientkapasitet i Røyklibotn, Namsos kommune, Nord-Trøndelag. Rapport fra Akvaplan, Tromsø. 18 s.
- Holte, B., W. Skaufel, R. Nilsen & J. Køgeler. 1986. Resipientundersøkelse i forbindelse med planlagt settefiskproduksjon i Røyklibotn, Namsos kommune, Nord-Trøndelag fylke. Rapport fra Akvaplan, Tromsø. 30 s.
- Johannessen, P., & Ø. Tvedten. 1995. Resipientundersøkelse i Røyklibotn, Nord-Trøndelag fylke. Institutt for fiskeri- og marinbiologi, Universitetet i Bergen. 7 sider.
- Johnsen, T.M. & H. Hektoen. 1993. Resipientundersøkelse i Røyklibotn og forslag til gjennomføring av miljøltiltak ved Neptun Settefisk A/S. NIVA-rapport l.nr. 2902. 24 s.
- Lømsland, E.R. & E. Oug 1995. Resipientundersøkelse i Ytre Melvørsund. NIVA-rapport l.nr. 3274. Bergen/Oslo. 19 s.
- Molvær, J. 1997. Lauvsneselven. Undersøkelse av oksygenforhold april-desember 1996. NIVA-rapport l.nr. 3717-97. 15 s.
- Moy, F.E., S. Fredriksen, J. Gjøsæter, S. Hjohlman, T. Jacobsen, T. Johannessen, T.E. Lein, E. Oug & Ø.F. Tvedten 1996. Utredning om benthossamfunn på kyststrekningen Fulehukstad. NIVA-rapport l.nr. 3551. 84 s.
- Muus, B.J. 1959. Danmarks fauna. Skallus, søtænder, blæksprutter. G.E.C.Gads Forlag, København.
- Nilsen, J., K. Næs & J. Molvær 1987. Miljøundersøkelser i sjøanlegget til Bakkasund Lakseoppdrett A/S. NIVA-rapport l.nr. 1967. Oslo. 67 s.

- Rygg, B. 1995. Indikatorarter for miljøtilstand på marin bløtbunn. Klassifisering av 73 arter/taksa. En ny indeks for miljøtilstand, basert på innslag av tolerante og ømfintlige arter på lokaliteten. NIVA-rapport l.nr. 3347. 68 s.
- SFT 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkninger av organiske stoffer. SFT Veiledning 93:05. SFT. Oslo. 16 s.
- Stokland, Ø., & F.S. Berge. 1988. Resipientundersøkelse i Røyklibotnområdet - Namsos. Rapport fra Oceanor. Trondheim. 22 s. + vedlegg.

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,
oppgi løpenummer 3753-97

ISBN 82-577-3323-7