

**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**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  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 32 88 33

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel <b>Fjernmåling av vannressursene i Rogaland - Satellittjernmåling av vannkvaliteten i Boknafjordområdet.</b>	Løpenr. (for bestilling) 3893-98	Dato 25. juni 1998
	Prosjektnr. Undernr. O 96271  E 86609	Sider Pris 46
Forfatter(e) Kai Sørensen Gunnar Severinsen Torbjørn M. Johnsen Lars Golmen Tone-Jøran Oredalen	Fagområde Analyse/Fjernmåling	Distribusjon Fri
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Rogaland Norsk Rømsenter (JOP. 8.3.3.18.96.3)	Oppdragsreferanse Morten Nicholls Guro Dahle Strøm
---	--

**Sammendrag**

Det er gjennomført et prosjekt for å studere vannressursene i Rogaland med bruk av satellittjernmåling. Hovedmålsettingen har vært å kartlegge overflatevannmassenes kvalitet i Boknafjordområdet og tilstøtende fjorder. Prosjektet tok sikte på å måle termiske og optiske egenskaper ved vannmassene. Det har vært benyttet data fra jordressurssatellitten Landsat-5 fra tre tidspunkter i 1995. Erfaringen kan oppsummeres i at det er begrensninger med bruk av satellittdata som ikke er beregnet for målinger i vann og hvor man ikke har mulighet for å foreta atmosfæriske korreksjoner. De atmosfæriske forstyrrelsene var ofte store nær kysten og vanskeliggjorde tolkningen av dataene. Tross disse problemene er det fremkommet nyttig miljøinformasjon om ferskvannsførekomstenes influensområder og transportveier. Videre er det påvist enkeltområder med stor partikkelbelastning og muligens også områder med lokale utslipp og algeoppblomstringer. Dataene og de bildene som er fremstilt bør sammen med lokale kunnskaper om området gi nyttig miljøinformasjon for miljøforvaltningen. Det anbefales for fremtidig bruk av slike data at man koordinerer bruken av felldata og satellittdata i størst mulig grad for å få fullt utbytte av den informasjonen som satellittdataene representerer.

Fire norske emneord 1. Satellittjernmåling 2. Vannkvalitet 3. Landsat 4. Rogaland	Fire engelske emneord 1. Satellite Remote Sensing 2. Water Quality 3. Landsat 4. Rogaland
---	---

*Kai Sørensen*  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3479-9

*Reiner J. Løkken*  
Forskningsjef

## Forord

Prosjektet "Fjernmåling av vannressursene i Rogaland" kom i stand etter en søknad fra Fylkesmannen i Rogaland til Miljøverndepartementets "Referansegruppen for satellittovervåking av miljøforhold". Norsk Romsenter (NRS) har på vegne av Referansegruppen ansvaret for gjennomføring og oppfølging av prosjektet. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er bedt av NRS og Fylkesmannen i Rogaland om å gjennomføre prosjektet. Prosjektansvarlig har vært Morten Nicholls ved Fylkesmannens Miljøvernavdeling og Kai Sørensen ved NIVA har vært prosjektleder. Prosjektet er finansiert av Referansegruppen og Fylkesmannen i Rogaland. NIVA har støttet prosjektet med en egenfinansiering via interne forskningsmidler.

Prosjektet har vært gjennomført i sin helhet ved NIVA og andre NIVA-medarbeidere har vært Gunnar Severinsen og Tone-Jøran Oredalen ved NIVA-Oslo, Torbjørn M. Johnsen og Lars Golmen ved NIVAs Vestlandsavdeling.

Oslo, 25. juni 1998

*Kai Sørensen*

---

# Innhold

Sammendrag .....	5
<b>1. INNLEDNING.....</b>	<b>6</b>
1.1 BAKGRUNN .....	6
1.2 MÅLSETTING .....	6
1.3 DATAGRUNNLAG OG GJENNOMFØRING .....	7
<b>2. VALG AV SATELLITTDATA.....</b>	<b>8</b>
2.1 BEGRENSNINGER I UTVALGET .....	8
2.2 BRUK AV DIGITALE QUICK-LOOK BILDER .....	8
2.3 GEOGRAFISK DEKNINGSOMRÅDE .....	8
2.4 AKTUELLE SATELLITTDATA .....	9
<b>3. BEARBEIDING OG KONTROLL AV SATELLITTDATAENE.....</b>	<b>11</b>
3.1 BEREGNING AV TEMPERATUR, REFLEKTANS OG SIKTEDYP .....	11
3.2 VÆRFORHOLDENE UNDER SATELLITTPASSERINGENE .....	12
3.3 FELTDATA FRA OMRÅDET .....	12
3.4 KVALITETSVURDERING AV SATELLITTDATAENE .....	15
3.4.1 Data fra 22. mai 1995 .....	16
3.4.2 Data fra 23. juni 1995.....	19
3.4.3 Data fra 11. september 1995.....	22
<b>4. VURDERING AV VANNKVALITETEN.....</b>	<b>26</b>
4.1 HYLSEFJORDEN, SAUDAFJORDEN OG LOVRAFJORDEN .....	27
4.2 VINDAFJORDEN, YRKEFJORDEN OG SANDEIDFJORDEN .....	29
4.3 ERFJORDEN OG JØSENFJORDEN .....	31
4.4 BOKNAFJORDEN OG FJORDENE OMKRING OMBO, FINNØY OG RENNESØY .....	32
4.5 HØGSFJORDEN OG IDSEFJORDEN .....	35
4.6 LYSEFJORDEN .....	37
4.7 HÅSTEINSFJORDEN, ÅMØYFJORDEN OG HAFRSFJORD .....	39
4.8 ÅLEFJORDEN OG SKJOLDAFJORDEN .....	41
<b>5. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.....</b>	<b>43</b>
<b>6. REFERANSER.....</b>	<b>45</b>

## Sammendrag

Prosjektet "Fjernmåling av vannressursene i Rogaland" er gjennomført ved NIVA på oppdrag fra Fylkesmannen i Rogaland og Norsk Romsenter på vegne av Miljøverndepartementets "Referansegruppen for satellittovervåkning av miljøforhold".

Hovedmålsettingen med prosjektet var å kartlegge overflatevannmassenes kvalitet i Boknafjordområdet og tilstøtende fjordsystemer. Prosjektet tok sikte på å måle termiske og optiske egenskaper ved vannmassene, og satellittdataene var forventet å gi en bedre forståelse av fjordsystemene. Det har vært benyttet data fra jordressurssatellitten Landsat-5 fra 22. mai, 23. juni og 11. september 1995.

Jordressurssatellittene har noen klare begrensninger ved bruk til vannformål ved at de ikke har tilstrekkelig følsomhet og ikke har mulighet for å foreta atmosfæriske korreksjoner. Dette har vært et større problem i dette området enn f.eks. Østlandsområdet hvor det ikke er så sterke gradienter mellom atmosfæren ved kysten og inne i fjordene. Bidraget fra atmosfæren var spesielt stort ved flere av satellittsituasjonene. Kvalitetskontrollsystemet med bruk av digitale Quick-look fanget ikke godt nok opp at det var tynne skyer i området som senere skapte problemer for datakvaliteten og tolkningen. De "begrensninger" man fikk ved at man brukte data fra samme år gjorde at mengden tilgjengelige gode satellittscener ble lavere enn om man hadde brukt de beste satellittdata fra flere år.

Tross disse begrensningene er det fremkommet ny miljøinformasjon om området som f.eks. ferskvannforekomstenes influensområder og transportveier i Boknafjordområdet. Videre er det vist at enkelte områder har store variasjoner i både termiske og optiske egenskaper. Slike områder med varierende partikkelbelastning og blanding av vannmasser med ulike fysisk/kjemiske egenskaper kan gi gunstige vekstforhold for å starte uønskede algeoppblomstringer. Det er også vist at enkeltområder til tider kan være utsatt for stor partikkelbelastning (Hylsfjorden, Lysefjorden) og muligens også lokale utslipp (Ålefjorden).

Data og satellittbilder som er fremstilt vil sammen med lokale kunnskaper og andre målinger fra området gi ny informasjon og innsikt om området. Satellittdataene kan bidra til å tolke og forstå bedre de fysisk/kjemiske målinger som er foretatt i ulike punkter i området. Det anbefales for fremtid bruk av slike data at man koordinerer bruken av felldata og satellittdata for å få full utbytte av den miljøinformasjonen som satellittdata representerer.

Flere forvaltningsetater vil kunne trekke ut informasjon som er til nytte innen forvaltningen av vannressursene i området.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Fjernmåling fra satellitt har i flere sammenhenger vist seg å gi verdifull miljøinformasjon om overflatevannmassenes kvalitet (Sørensen m. fl. 1993). Metoden er spesielt godt egnet til kartlegging av optiske og termiske forskjeller forårsaket av ulik påvirkning av partikler fra ferskvanntilførsler eller ekstreme algeoppblomstringer. Spesielt vil denne type data bidra til en bedre forståelse og kartlegging av ulike storskalafenomener i fjord og kystområder. Hvis det foreligger tilstrekkelig med felldata kan man også med tilfredstillende nøyaktighet bestemme ulike vannkvalitetsvariable. Kombinert med PC-baserte bildebehandlingsverktøy kan man foreta arealberegninger og beregne ulike statistiske størrelser som f.eks. sesongmiddler og variasjonen i siktedypet i en resipient (Magnusson og Sørensen, 1996).

Det har i mange år vært begrenset med satellittsensorer tilgjengelige for målinger av vann, og man har vært avhengig av jordressurssatellittene som ikke er tilpasset dette formålet. I de nærmeste årene vil det komme flere satellitter som kan måle de små signalene som kommer fra de ulike optiske komponentene i vann. For målinger i de nære kystområder bør man bruke sensorer med god romlig oppløsning, og derfor er for tiden jordressurssatellitter de eneste anvendelige for målinger i trange fjorder og i innsjøer. Tross dette har bruken av slike data vært benyttet i overvåkingen av f.eks. Hvaler/Singelfjorden med godt resultat (Magnusson og Sørensen, 1993 og 1996).

Bruksmulighetene for denne type data antas derfor å være stigende etterhvert som man utvider bruken i nye sammenhenger og problemstillinger (Sørensen m. fl. 1991). Det er forventet at denne type informasjon vil gi verdifull hjelp i flere oppgaver innen miljøforvaltningen. Satellittdata forventes å være et egnet verktøy til å gi økte kunnskaper om fjord og kystområder og til en bedre forståelse av miljøtilstanden. Utvikling av nye dataprodukter fra de nye satellittsensorene som er beregnet for bruk til vannformål er forventet å forbedre overvåkingen (Doerffer m. fl., 1995 og Sørensen m. fl., 1998). Spesielt er forvaltningen interessert i kunnskaper som kan gi bedre beslutningsgrunnlag ved utforming av regionale strategier ved bedre forståelse av f.eks. utbredelsen til ferskvannstilførsler, strømsystemer, fordeling av partikler (turbiditet) i vannmassene og evt. utbredelsen til algeforekomster.

## 1.2 Målsetting

Dagens kunnskaper om forholdene i Boknafjordområdet er i hovedsak basert på punktmålinger av fysisk/kjemiske variable på ulike tidspunkter, og satellittdataene forventes å gi en bedre forståelse av disse feltmålingene og øke den generelle kunnskapen om fjordsystemene. Spesielt kan satellittdatene gi interessante opplysninger om brakkvannsområdenes influensområder. Man har forsøkt å belyse problemstillinger som optimalisering av lokaliteter for oppdrettsanlegg, plassering/optimalisering av tradisjonelle prøvetagningpunkter for fysisk/kjemisk målinger, vurdering av spredningsomfang/arealutbredelser til ulike vannmasser og større utlipp.

Hovedmålsettingen med prosjektet var å kartlegge overflatevannmassenes kvalitet i Boknafjordområdet, og prosjektet tok sikte på å måle termiske og optiske egenskaper ved vannmassene i Boknafjorden og tilstøtende fjordsystemer.

### 1.3 Datagrunnlag og gjennomføring

Det er benyttet optiske satellittdata fra Landsat-5 Thematic Mapper (TM) sensoren. Denne sensoren har 7 optiske kanaler hvorav en kan registrere temperatur. De optiske TM-kanalene (TM1-5, og TM7) har en geometrisk (romlig) oppløsning på 30x30 m, mens den termiske kanalen (TM6) har en oppløsning på 120x120 m. Satellitten går i faste banespor hver 16. dag og dekker et geografisk område på 185x185 km. Spektraloppløsligheten til denne sensoren er bare ca. 80-100 nm og er derfor ikke tilpasset vannformål, men erfaringen fra andre områder har vist at den allikevel gir verdifull informasjon om enkle variable.

Satellittdataene leveres på CD-ROM og et typisk datautsnitt kan leveres som en kvartscene på 90x90 km eller 8100 km<sup>2</sup>. Dette tilsvarer ca 70 Mbyte med alle 7 TM-kanalene inkludert. De digitale data er bearbeidet på et PC-basert bildebehandlingssystem (ERDAS Imaging) på NIVA og overført til standard presentasjonprogrammer (Designer 4.1).

Etter en gjennomgang av bildearkivet for aktuelle perioder ble det i samråd med oppdragsgiver valgt ut noen datoer med satellittdata. Etter en kvalitetsvurdering av skyforhold ble de aktuelle satellittdata og feltopplysninger anskaffet. Deretter ble en nøyere kvalitetskontroll foretatt på de digitale data. På grunn av store atmosfæriske forstyrrelser ved en av datoene måtte man supplere med data fra en ny situasjon. Tre av situasjonene er bearbeidet i denne rapporten og tolkningen er utført i samråd med oppdragsgiver. Satellittbilder er fremstilt i temperatur og en optisk størrelse kalt "reflektans" for å få frem mest mulig interessant informasjon om vannforekomstene.

## 2. Valg av satellittdata

### 2.1 Begrensninger i utvalget

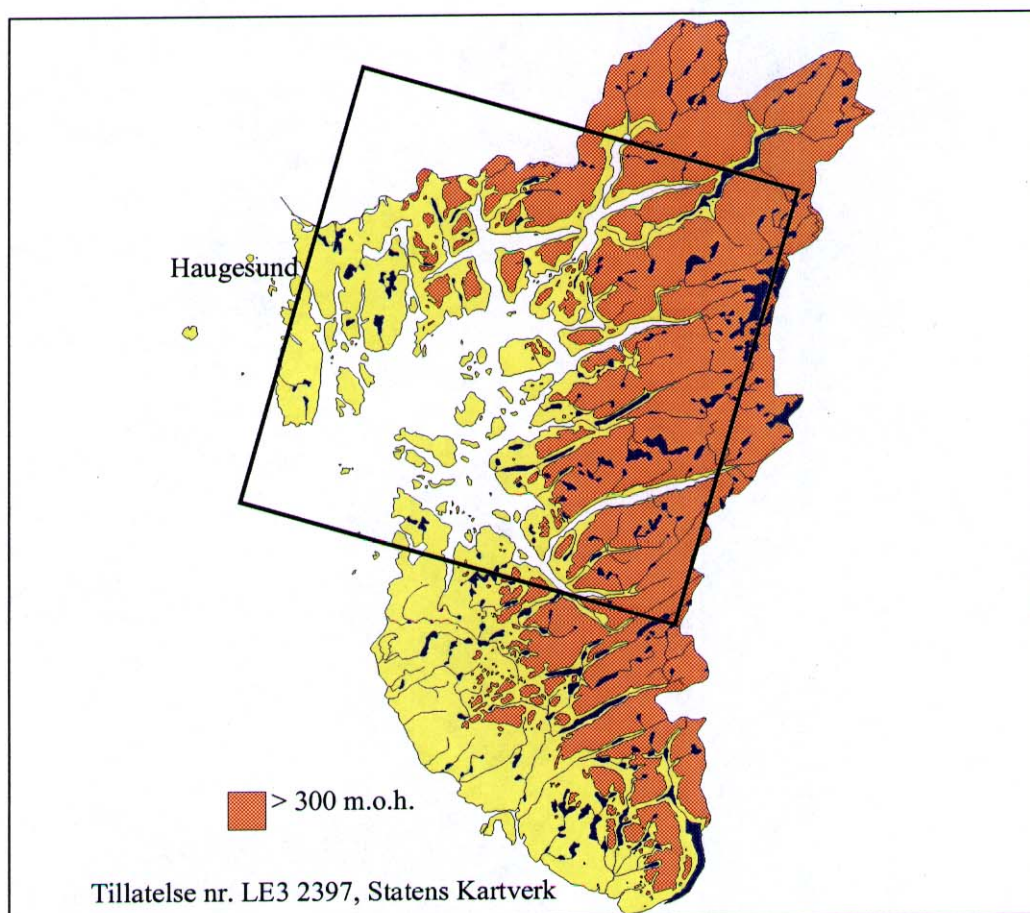
I en slik undersøkelse hvor man skal studere trange fjorder må det brukes satellittdata med god geometrisk oppløsning for å få en tilstrekkelig detaljeringsgrad. Fordi man skal studere variable som f. eks. partikler må man benytte satellittdata som registrerer i den synlige delen av det elektromagnetiske spektrum. Derved blir man avhengig av data som er innhentet under tilnærmet skyfrie forhold. Videre vil man ved studier i kystområder gjerne ha med temperatur som en viktig fysisk størrelse som kan si noe om fordeling av ulike vannmasser. Dette begrenser for tiden valget av satellittsensor til jord-ressurssatellitten Landsat, og utelukker f.eks. bruken av SPOT-satellitten som ikke har en termisk kanal. For å holde datakostnadene lave vil man benytte seg av det dataleverandøren kaller en tidsserie, dvs tre datasett fra samme banespor. Dette gjør at man kun kan benytte satellittpasseringer hver 16. dag, mens alternativet var å benytte alle passeringer som gjør at man kunne benytte data fra passeringer hver uke, men da ikke helt samme dekningsområde. Videre ønsket oppdragsgiver å benytte data fra samme år i stedet for å benytte de beste data fra ulike sesonger uavhengig av hvilket år de representerte. Alle disse faktorene begrenser sterkt utvelgelsen av gode satellittdata og reduserte det totale antall satellittscener.

### 2.2 Bruk av digitale Quick-look bilder

Tidligere var det mulig å bestille fotografiske bildeutsnitt (Quick-look) fra Landsat-satellitten for å foreta en kvalitetsvurdering av dataene før man bestilte rådataene. Man har nå gått over til digitale Quick-look, som man henter fra "Landsat TM European Archive Quick-look" via en web-server. Det har vist seg at de digitale Quik-look-bildene ikke har samme kvalitet for å bedømme om et bilde er uten skypåvirkning eller ikke. En gjennomgang av dette arkivet samt en kontroll av de mer storstilte skymønstre/atmosfæreforholdene ved bruk av Quik-look fra vær-satellittene NOAA ble også gjennomført.

### 2.3 Geografisk dekningsområde

Plasseringen av et kvartsceneutsnitt (90x90 km) i det mest optimale banesporet som dekker de viktigste vannområdet i Rogaland er vist i **Figur 1**. Den dekker hele Boknafjorden og de fleste mindre tilliggende fjorder. Denne kvartscene er en såkalt "floating scene" med en senterposisjon på N 59° 17,50' og E 5° 59,00' og med banesporet "Path 200 Frame 18+19". Satellitten passerer på formiddagen ca. kl 10.00 UTC.



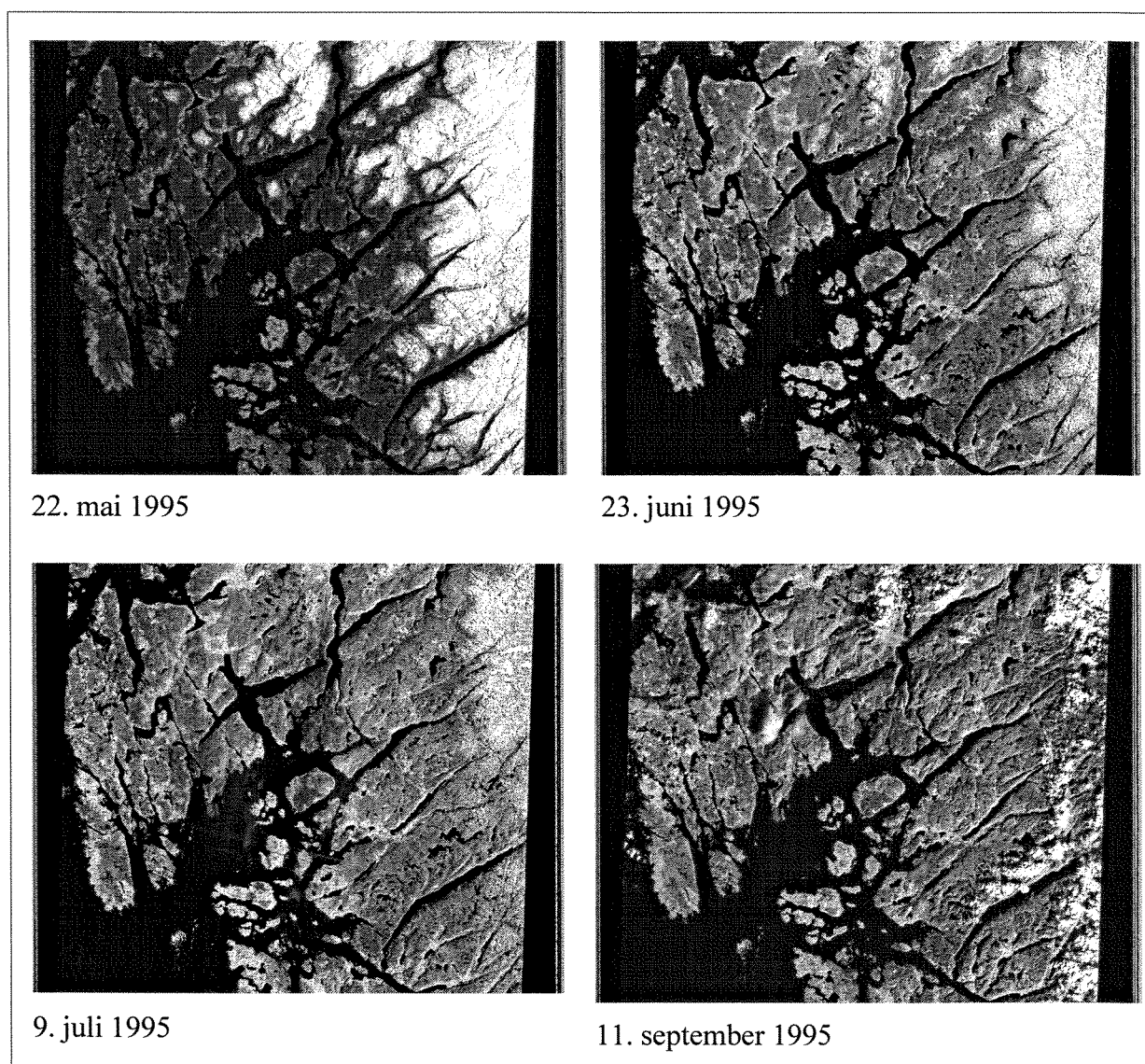
**Figur 1.** Oversikt over dekningsområdet for en kvartscene med Landsat-5 TM-data over Rogaland. Kvartscenens senterposisjon er N 59° 17,50' og E 5° 59,00' og banesporet er "Path 200 Frame 18+19".

## 2.4 Aktuelle satellittdata

Det ble foretatt en gjennomgang av Quik-look arkivet for området i 1995 og 1996. Det foreligger flest gode situasjoner fra 1995 og følgende datoer har tilsynelatende lite skyer i det aktuelle området; 22. mai, 23. juni, 9. juli, 25. juli., 10. aug og 11. sept. Av disse ble 22. mai, 9. juli og 11. september først valgt ut for å få en god sesongspredning med en vår, sommer og høstsituasjon.

Det viste seg at dataene fra den 9. juli var sterkt påvirket av skyer sentralt i Boknafjorden og det ble supplert med en ny scene fra den 23. juni 1995. Dette ble gjort etter at man hadde vurdert et sett av sort/hvit bilder (PRINT fra TM3-kanalen) bestilt spesielt for dette formålet. Dette er uforholdmessige dyre dataprodukter og kan ikke benyttes rutinemessig i stedet for de digitale Quick-look. I **Figur 2** er området for de 4 datoer presentert som sort/hvit bilder fra TM4-kanalen. Denne kanalen skiller best snø/is fra vann og man ser hvordan snø/is og skyer fordeler seg i bildet. Man ser at dataene fra den 9. juli 1995 hadde mye skyer sentralt i Boknafjorden. Dette var ikke mulig å observere i de digitale Quick-look bildene. Ellers var det noe skyer også på dataene fra den 11. september. Legg merke til hvordan snødekket trekker seg tilbake fra å dekke store deler av høyfjellet i mai til å være helt borte i september.





**Figur 2.** Oversiktsbilder fremstilt fra TM4-kanalen hos Landsat-5 for den 22. mai, 23. juni, 9. juli og 11. september 1995. Det hvite i bildet er enten snø/is eller skyer. Satellittopptakene er foretatt ca. kl 10 UTC.

### 3. Bearbeiding og kontroll av satellittdataene

#### 3.1 Beregning av temperatur, reflektans og siktedyp

Landsat-5 TM6-kanalen registrerer i den termiske delen av det elektromagnetiske spektrum og tidligere kalibreringen av denne kanalen fra andre områder kan benyttes fordi denne kanalen ikke påvirkes så mye av atmosfæriske forstyrrelser som de optiske kanalene. Alle satellittdataene er derfor omregnet til absolutte temperaturer basert på tidligere kalibreringer av sensoren (Sørensen, m/fl. 1993). Man oppnår en nøyaktighet på +/- 1-2 °C uten bruk av noen form for feltdata. Kontroll mot feltobservasjoner i både juni og september viser at dette stemmer forholdsmessig bra. Innenfor samme satellittbilde kan man operere med en relativ temperaturforskjell på 0.5 -1.0 °C. Satellittbildene for temperatur for de tre datoene er oppgitt med en skala hvor de relative forskjellene enten er 0.5 eller 1 °C avhengig av gradientene i bildet.

For de optiske data har vi beregnet en optisk størrelse kalt "reflektans" og uttrykt denne i prosent. Reflektansen er korrigert for solhøyde og jord-sol avstanden, og den angir derfor andelen av den nedoverrettede irradiansen (sollyset) som reflekteres tilbake til atmosfæren. De optiske kanalene er mye mer påvirket av atmosfæren og hvis det ikke finnes samtidige feltmålinger så kan omregning til vannkvalitetsverdier være vanskelig. I områder med store variasjoner i de hydrobiologiske forholdene i de øvre vannmassene så kan man heller ikke bruke feltdata til kalibrering hvis disse tidsmessig avviker for mye (> +/- 1 dag) fra selve satellittpasseringen. De optiske kanalene TM2 og TM3 har vist seg å være best korrelert med partikler i vannmassene (Sørensen m. fl., 1993). Disse 2 kanalene ligger hhv i den grønne og røde delen av spekteret, og er enten alene eller i kombinasjon godt korrelert med f. eks. siktedypet. I denne undersøkelsen er middelverdien for TM2 og TM3 benyttet. Når det ikke foreligger samtidige feltmålinger må man velge å uttrykke partikkelfordelingen relativt f.eks. med bruk av reflektansen.

For to av situasjonene foreligger det noen få målinger av bl.a. siktedyp nær opp til satellittpassering og der er det mulig å beregne siktedypet fra reflektansen og sette opp noen tilnærmede verdier for siktedypet (**Tabell 1**). For den 22. mai foreligger det ikke feltobservasjoner, så her er den relative vannkvalitet benyttet. Omregningen fra reflektans til siktedyp for juni og september finner man fra ligningene nedenfor:

$$\text{Juni:} \quad \text{Sikt} = 1/(18 \cdot R/100) - 0.6$$

$$\text{September:} \quad \text{Sikt} = 1/(23 \cdot R/100) - 1.0$$

**Tabell 1.** Oversikt over reflektansverdier ((TM2+TM3)/2) benyttet for de tre satellittscenene og en tilnærming til siktedyp for den 23. juni og 11. september 1995.

22. mai 1995	23. juni 1995		11. september 1995	
Reflektans (%)	Reflektans (%)	Siktedyp (m)	Reflektans (%)	Siktedyp (m)
< 4.0	< 4.0	>8	< 4.6	> 10
4.1-4.3	4.1-4.5	6	4.7-4.9	8
4.4-4.5	4.6-4.7	5	5.0-5.1	6.5
4.6-4.7	4.8-4.9	4	5.2-5.3	5
4.8-4.9	5.0-5.1	3.5	5.4-5.5	4
5.0-5.3	5.2-5.5	3	5.6-5.7	3.5
5.4-6.0	5.6-6.0	2.5	5.8-6.1	3
> 6.1	> 6.1	< 2	> 6.2	< 2

### 3.2 Værforholdene under satellittpasseringene

For å tolke satellittdataene er det nødvendig med informasjon om værforholdene. Noen værobservasjoner målt ved Galta på Rennesøy er sammenstilt i **Tabell 2**. I tabell **Tabell 3** er vannstandsdata for området målt ved Stavanger havn gjengitt.

**Tabell 2.** Værobservasjoner fra Rennesøy (Galta) fra periodene omkring satellittpasseringene. Tider i lokal tid.

Satellitt-observasjon	Observasjonstid		Luft-temp. °C	Rel. fuktighet %	Sky-dekke 8-deler	Vind retning		Vind hastighet		Maksimal vind	
	Dato	Kl				Gr.	Retn.	m/s	Betegnelse	m/s	Betegnelse
22/05/95	21/05/95	07:00	5.0	69	3	330	NNV	6.2	Laber bris	9.3	Frisk bris
	21/05/95	13:00	9.0	50	2	300	VNV	5.7	Laber bris	7.7	Laber bris
	21/05/95	19:00	8.3	47	2	110	ØSØ	5.7	Laber bris	7.7	Laber bris
	22/05/95	07:00	7.0	79	3	90	Ø	2.6	Svak vind	5.7	Laber bris
	22/05/95	13:00	9.8	53	2	200	SSV	6.7	Laber bris	6.7	Laber bris
	22/05/95	19:00	8.6	80	3	170	S	2.6	Svak vind	6.7	Laber bris
23/06/95	22/06/05	07:00	10.3	78	8	350	N	9.8	Frisk bris	12	Liten kuling
	22/06/05	13:00	13.8	56	1	340	NNV	8.2	Frisk bris	13	Liten kuling
	22/06/05	19:00	13.4	67	3	340	NNV	11.3	Liten kuling	12	Liten kuling
	23/06/95	07:00	12.2	82	2	350	N	4.1	Lett bris	11	Liten kuling
	23/06/95	13:00	15.2	72	1	340	NNV	8.7	Frisk bris	8.7	Frisk bris
	23/06/95	19:00	15.1	82	1	330	NNV	9.3	Frisk bris	12	Liten kuling
09/07/95	08/07/95	07:00	12.1	94	8	180	S	3.6	Lett bris	4.1	Lett bris
	08/07/95	13:00	15.5	56	3	230	SV	3.1	Svak vind	5.7	Laber bris
	08/07/95	19:00	13.3	56	2	300	VNV	5.1	Lett bris	6.7	Laber bris
	09/07/95	07:00	11.6	82	4	40	NØ	3.1	Svak vind	5.1	Lett bris
	09/07/95	13:00	16.2	55	2	250	VSV	2.1	Svak vind	3.1	Svak vind
	09/07/95	19:00	16.1	42	2	250	VSV	1.5	Flau vind	3.1	Svak vind
11/09/95	10/09/95	07:00	15.2	63	5	50	NØ	7.7	Laber bris	8.7	Frisk bris
	10/09/95	13:00	16.3	72	7	60	ØNØ	9.3	Frisk bris	9.8	Frisk bris
	10/09/95	19:00	15.2	72	7	90	Ø	4.1	Lett bris	9.3	Frisk bris
	11/09/95	07:00	14.6	84	6	120	ØSØ	2.6	Svak vind	6.7	Laber bris
	11/09/95	13:00	19.6	48	4	160	SSØ	6.7	Laber bris	8.7	Frisk bris
	11/09/95	19:00	16.6	69	5	0	N	0	Stille	6.7	Laber bris

**Tabell 3.** Vannstandsdata for de aktuelle datoer målt ved Stavanger. Lokal tid er benyttet.

Dato	Høyvann	Lavvann
22. mai	03:56	10:32
	16:37	22:52
23. juni	06:31	00:35
	19:09	13:14
09. juli	06:58	00:35
	19:35	13:27
11. september	11:34	05:22
	23:51	17:39

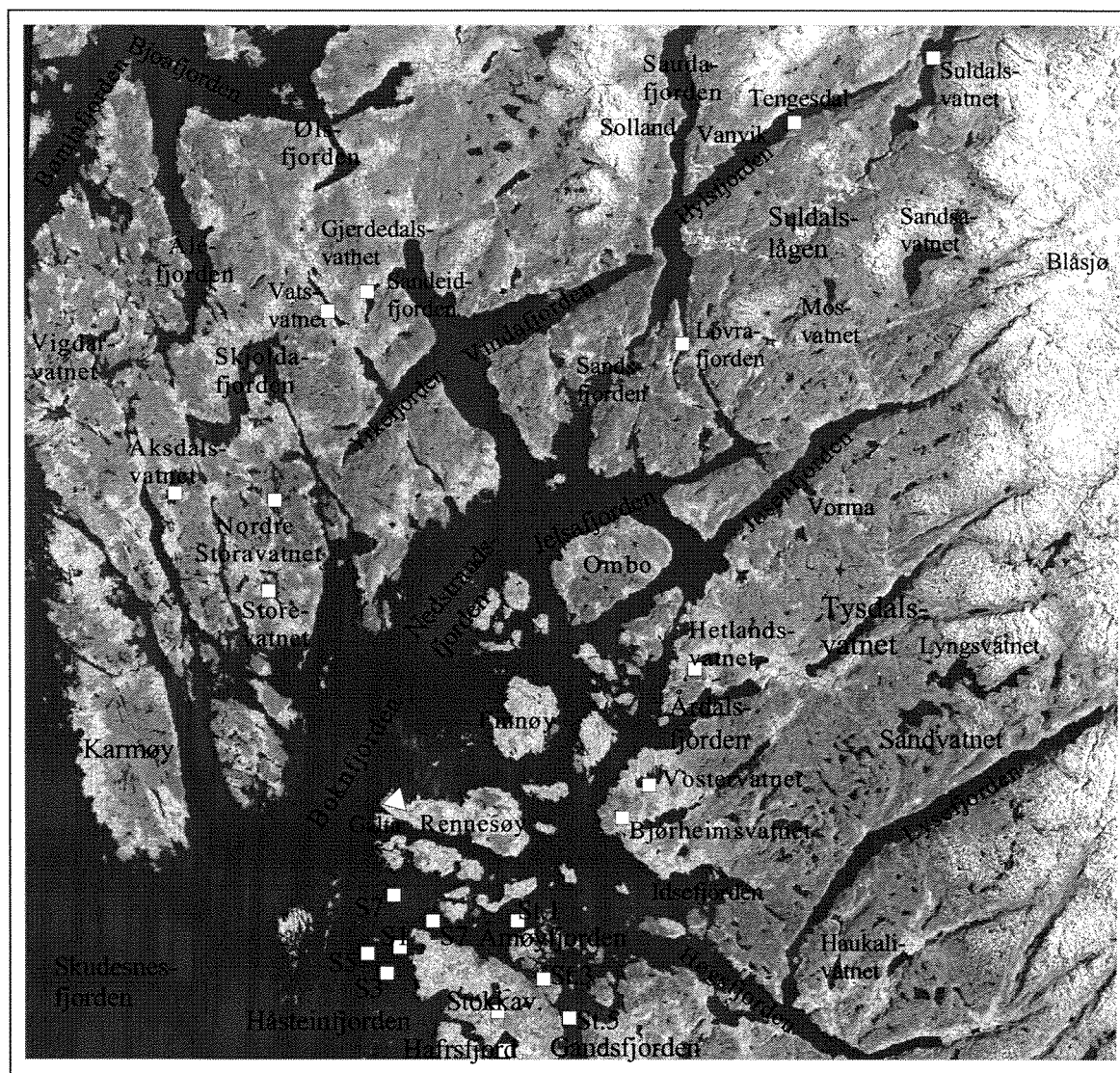
### 3.3 Felldata fra området

Tilgjengelige felldata fra området er benyttet for å kalibrere eller kontrollere at de beregninger som er foretatt i satellittdataene er rimelige. For juni og september kunne det foretas en enkel omregning av reflektansen til siktedyp, da kontrolldata var observert nær opp til satellittpasseringene. Kontrolldataene er tatt fra ulike undersøkelser i området og en oversikt over stasjonsplasseringen til disse observasjonene er vist i **Figur 3**.

En rekke innsjøer i området er undersøkt i forbindelse med flere regionalundersøkelser i området fra 1988-91 og i 1996 (Faafeng, 1990a, 1990b, 1998). Disse data kan benyttes for å bedømme om de kalibrerte satellittbildene synes å gjengi rimelige vannkvalitetsbilder for disse innsjøene.

Observasjonene dekker månedene mai, juni, juli og august/september og en sammenstilling av årsmiddel, minimum, maksimum og variasjonen (standardavviket) er oppsummert i **Tabell 4** for de innsjøer som er aktuelle å benytte.

Aktuelle data fra en resipientundersøkelse foretatt rundt Stavangerhalvøya i 1995 (Bokn m. fl. 1996) og fra overvåking av *Prymnesium* i Sandsfjordsystemet (Martinussen m. fl. 1996) i 1995 er sammenstilt i **Tabell 5**.



**Figur 3.** Oversikt over posisjonene for kontroll- og kalibreringsdata. Posisjon for værobservasjoner ved Galta-Rennesøy er inntegnet. Som kartgrunnlag er benyttet TM-4 kanalen fra den 23. juni 1995.

**Tabell 4.** Kontrolldata fra innsjøer i området basert på fire målinger pr år for mai, juni, juli og august/september 1988-91 og 1996.

Lokalitet	Observasjonsår (4 x pr år)	Beregnet	Siktedyp (m)	Klorofyll-a (µg/l)
Bjørheimsvatnet	1988, 1996	Middel verdi	8.0	1.2
		Min verdi	5.0	0.0
		Maks verdi	10.5	2.9
		Standardavvik	1.9	0.9
Vostervatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	5.7	5.5
		Min verdi	1.5	0.0
		Maks verdi	12.4	24.6
		Standardavvik	2.7	5.6
Hetlandsvatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	9.1	2.0
		Min verdi	7.5	0.0
		Maks verdi	11.9	6.2
		Standardavvik	1.5	1.4
Suldalsvatnet	1988	Middel verdi	12.5	0.9
		Min verdi	11.0	0.4
		Maks verdi	13.5	1.4
		Standardavvik	1.2	0.4
Gjerdalsvatnet	1988	Middel verdi	8.7	5.1
		Min verdi	6.1	1.2
		Maks verdi	12.0	7.8
		Standardavvik	3.0	2.8
Vatsvatn	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	4.6	5.0
		Min verdi	3.5	2.1
		Maks verdi	6.1	8.7
		Standardavvik	0.9	2.2
Nordre Storatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	4.7	2.5
		Min verdi	2.9	0.0
		Maks verdi	7.1	4.4
		Standardavvik	1.3	1.3
Storatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	5.0	5.5
		Min verdi	2.8	0.0
		Maks verdi	8.3	15.4
		Standardavvik	1.7	3.9
Aksdalsvatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	7.6	2.2
		Min verdi	5.0	0.0
		Maks verdi	10.0	5.6
		Standardavvik	1.7	1.2
Stokkavatnet	1988, 1989, 1991, 1996	Middel verdi	5.3	5.8
		Min verdi	1.1	0.0
		Maks verdi	10.0	23.4
		Standardavvik	2.5	6.2

Data fra Faafeng (1990a, 1990b og 1997).

**Tabell 5.** Feltobservasjoner foretatt i fjordområdet i 1995 som er benyttet i kalibrering og vurdering av satellittdataene. Satellittpasseringene faller i uke; 21, 25 og 37.

Lokalitet	Stasjoner	Dato	Uke	Saltholdighet	Temperatur (°C)	Siktedyp (m)	Ref.
Lovrafjorden	-	27.6.95			18.0	5.0	1
Lovrafjorden	-	11.7.95			14.5	5.0	1
Hylsfjorden	-	27.6.95			17.0	5.5	1
Hylsfjorden	-	11.7.95			15.5	5.5	1
Håsteinfjorden	S8		23			3.8	2
Håsteinfjorden	S7		23			3.8	2
Håsteinfjorden	S5		23			4.5	2
Håsteinfjorden	S3	7.6.95	23	29.0	13.0	6.0	2
Håsteinfjorden	S8		27			3.9	2
Håsteinfjorden	S7		27			4.5	2
Håsteinfjorden	S1		27			4.6	2
Håsteinfjorden	S5		27			4.1	2
Håsteinfjorden	S3		27			7.2	2
Håsteinfjorden	S3	19.7.95	29	29.0	16.5	7.2	2
Håsteinfjorden	S3		34			7.1	2
Håsteinfjorden	S8		36			7.0	2
Håsteinfjorden	S7		36			8.0	2
Håsteinfjorden	S5		36			7.0	2
Håsteinfjorden	S3	5.9.95	36	27.0	16.7		2
Håsteinfjorden	S1		37			8.0	2
Håsteinfjorden	S3		41			12.5	2
Hafrsfjord	H15	7.6.95	23	30.2	13.3	1.8	2
Hafrsfjord	H15		26			1.9	2
Hafrsfjord	H15	19.7.95	29	30.6	17.0	3.0	2
Hafrsfjord	H15	13.9.95	37	29.5	15.5	4.5	2
Gandsfjorden	St.5	8.6.95	23	26.4	13.8	3.8	2
Gandsfjorden	St.5	19.7.95	29	30.2	16.3	8.8	2
Gandsfjorden	St.5	5.9.95	36	25.8	16.2	7.1	2
Byfjorden	St.3		24			6.0	2
Byfjorden	St.3		27			4.1	2
Byfjorden	St.3		36			6.9	2
Åmøyfjorden	St.1		23			3.5	2
Åmøyfjorden	St.1	19.7.95	27	29.5	16.3	4.6	2
Åmøyfjorden	St.1		29			13.2	2
Åmøyfjorden	St.1	5.9.95	36	26.3	16.9	8.5	2

1) Martinussen og medarb., (1996).

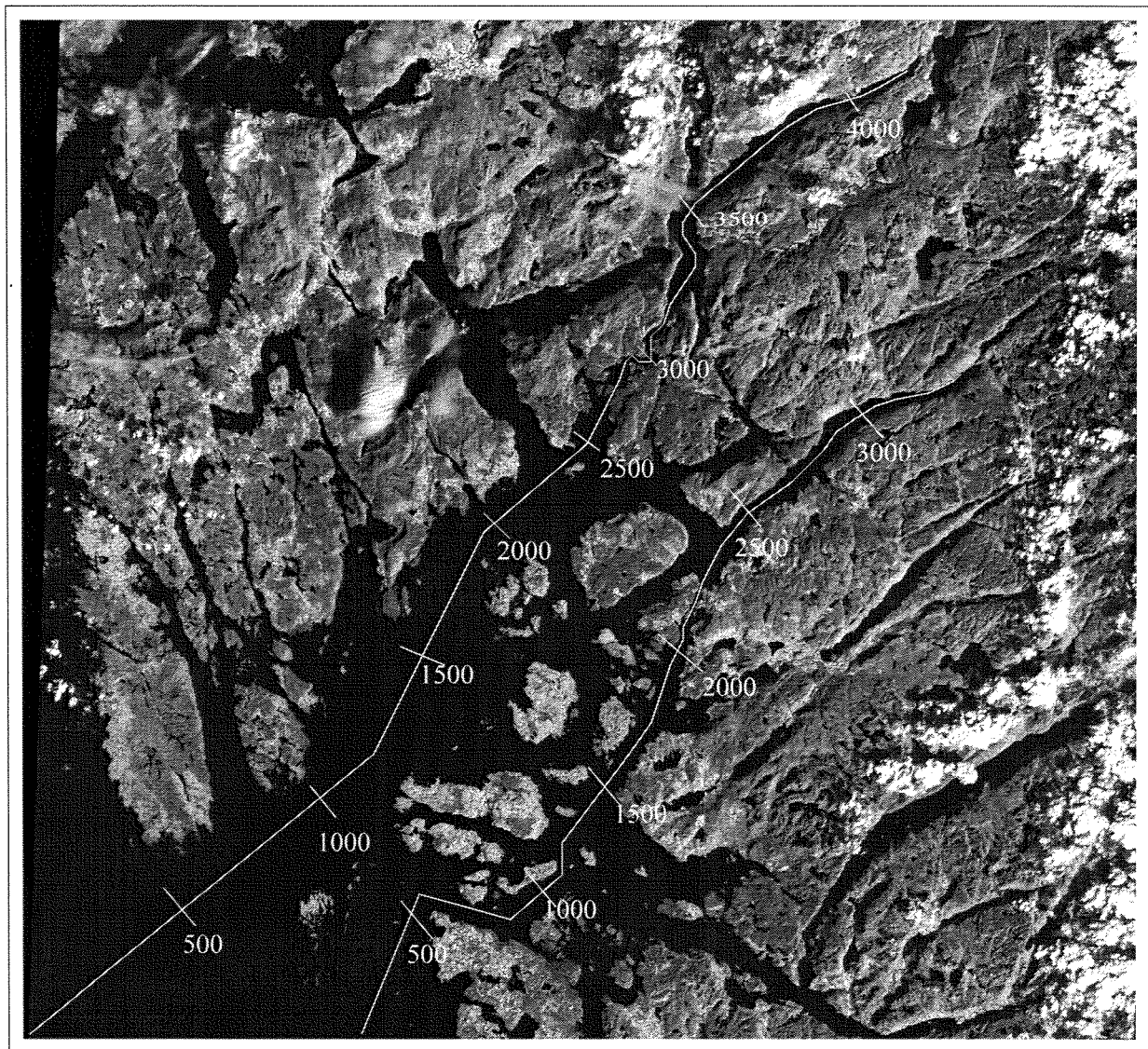
2) Bokn og medarb., (1996).

### 3.4 Kvalitetsvurdering av satellittdataene

Landsat-5 satellitten har vært operativ i mange år og utover den forventede levetiden, men fortsatt leveres brukbare data. Dataene bærer allikevel preg av at satellitten har vært i drift lenge fordi det begynner å bli noe støy i dataene. Dette sees best i scan-linjene hvor et "array" på 16 sensorer scanner jordoverflaten, og her kommer støy frem ganske tydelig. Man kan fjerne mye av dette ved datateknisk å filtrere bildene, men da har vi opplevd at også endel informasjon blir borte og vi har derfor valgt å ikke fjerne for mye av dette. Dette tas derimot i betraktning ved tolkningen av bildene.

TM-sensoren har ikke noen dedikerte kanaler for å foreta avanserte atmosfæriske korreksjoner og det kan være vanskelig å tolke informasjonen hvis slike forhold påvirker dataene. Signalet i det nære infrarøde området som benyttes til atmosfærekorreksjon over vann påvirkes i kystområder også av vannets partikkelinnhold og man kan derfor ikke bruke i en slik korreksjonsteknikk. Det er også vanskelig å vurdere om det er stor variasjon i atmosfæren f.eks. fra kysten og inn over land (inn i fjordene). Det er spesielt de optiske kanalene som påvirkes, mens man ofte ikke får så store effekter på de termiske kanalene medmindre det er synlige skyer i bildet. I denne undersøkelsen har vi derfor tolket dataene også ut fra forhold som f.eks. at de strukturer vi ser i vannet ikke synes å følge en romlig fordeling som vi forventer i vann ut fra kunnskaper om ulike oceanografiske forhold.

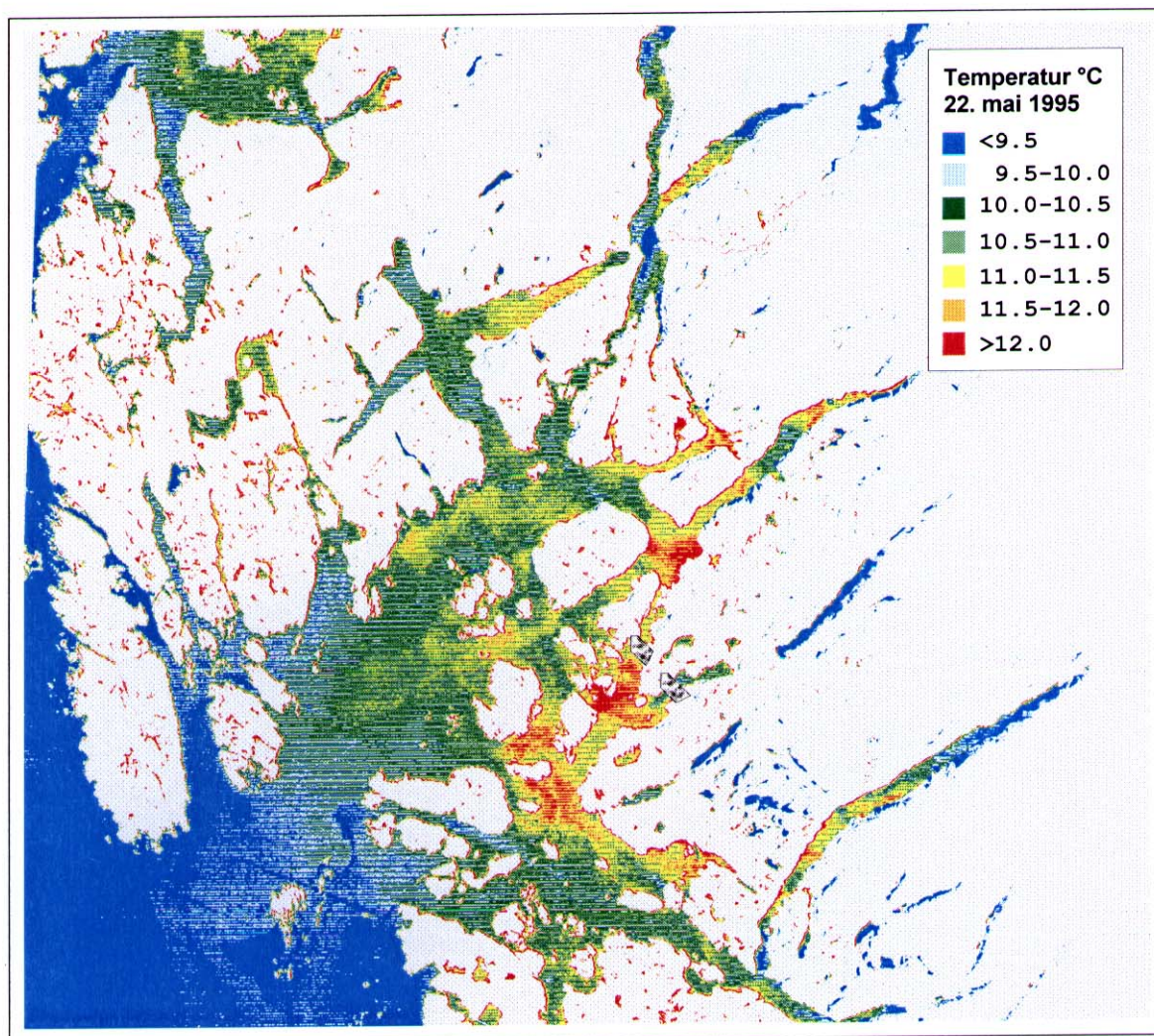
For å se om det er tendenser til atmosfærisk støy i dataene er det lagt to lengdesnitt fra kysten og inn i fjordene hvor det er tatt ut data for nærmere analyse. Et snitt er lagt fra ytterst ved kysten via den sentrale Boknafjorden og inn i Hylsfjorden, og et annet snitt er lagt fra Håsteinfjorden via Åmøyfjorden og inn i Jøsenfjorden (**Figur 4**). Avstanden regnes i antall "pikslar" (30x30 m) fra vest mot øst og dataene finnes gjengitt på senere figurer (Fig. 7, 8, 11, 12, 15, 16).



**Figur 4.** Plasseringen av lengdesnittene for utdrag av data for vurdering av bl.a. atmosfærepåvirkning. Kartgrunnlag er TM4-data fra den 11. september 1995. På snittene er avmerket "piksel"-avstanden.

### 3.4.1 Data fra 22. mai 1995

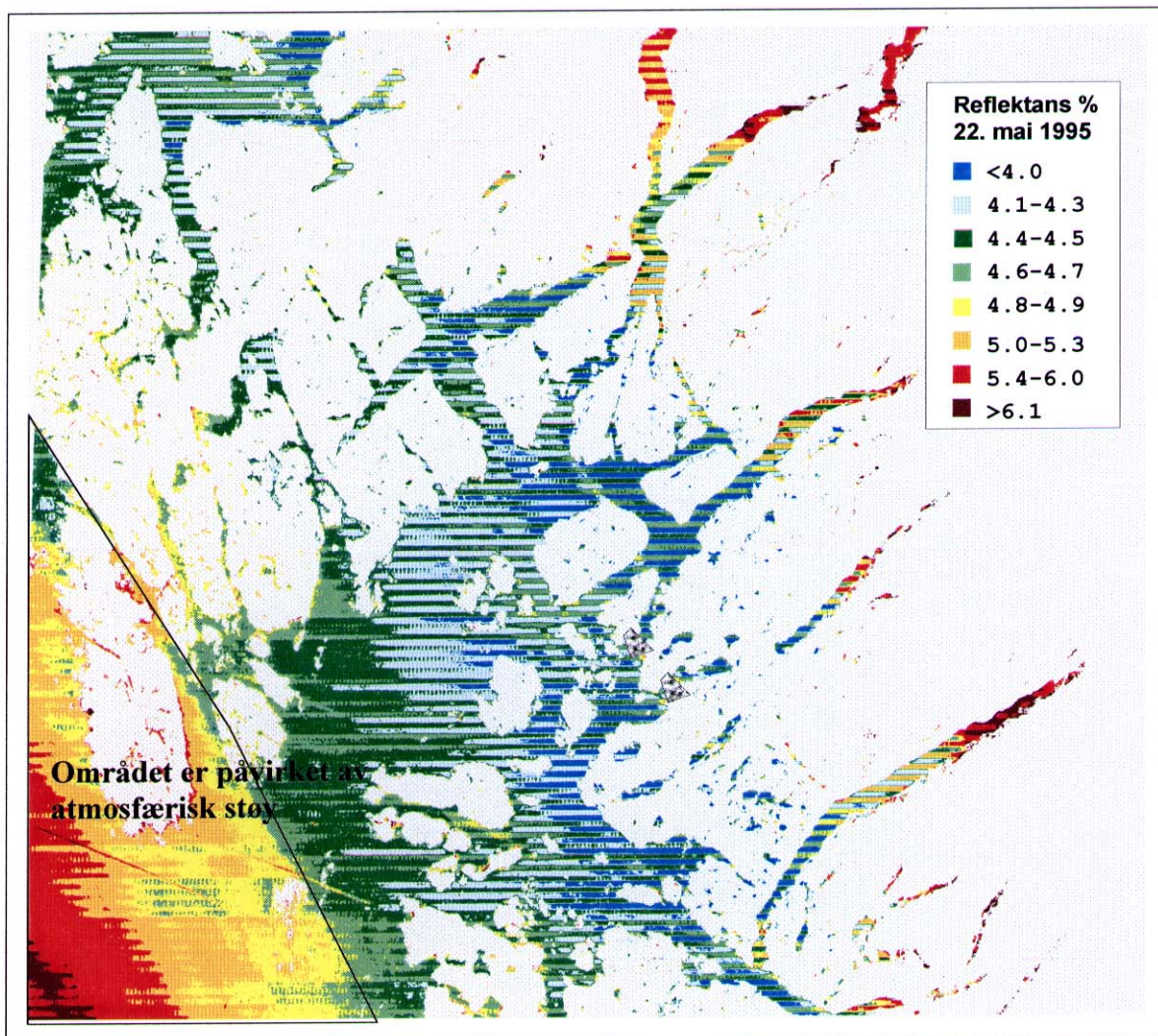
Hvis vi ser på det termiske bildet fra mai (**Figur 5**) for hele området, så spenner temperaturvariasjonen fra 9 til 12 °C. Man kan benytte 0.5 °C intervaller for å få frem tilstrekkelig med strukturer. Det var rolige vindforhold (2-6 m/s) i perioden før satellittpassering, dreierende fra østlig til sydvestlig.



**Figur 5.** Satellittbilde fra 22. mai 1995 som viser temperaturfordelingen for hele satellittscenen.

Det er store temperaturgradienter i vannmassene ved denne situasjonen som kan benyttes i tolkningen av transport og stagnasjon av vannmasser. Områdene innenfor Finnøy og Ombo har høyere overflatetemperatur på vannet, mens i fjordene og ved kysten er det opptil 3 °C lavere temperatur og transportveiene til fjordvannet kan lett spores på vei utover i fjordsystemet.

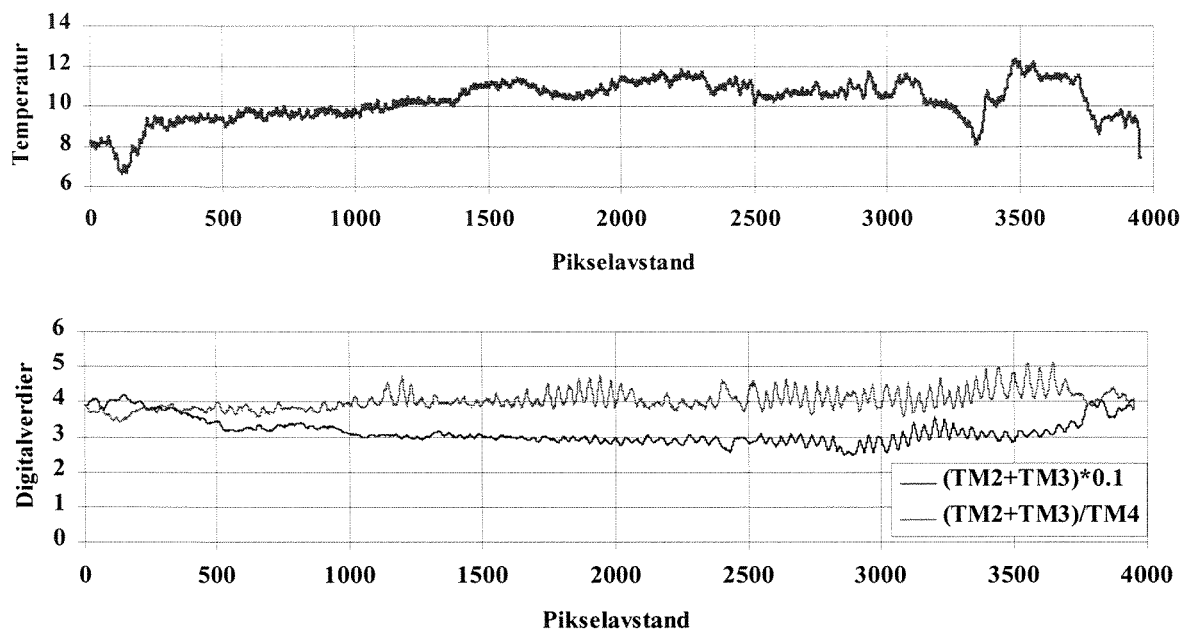




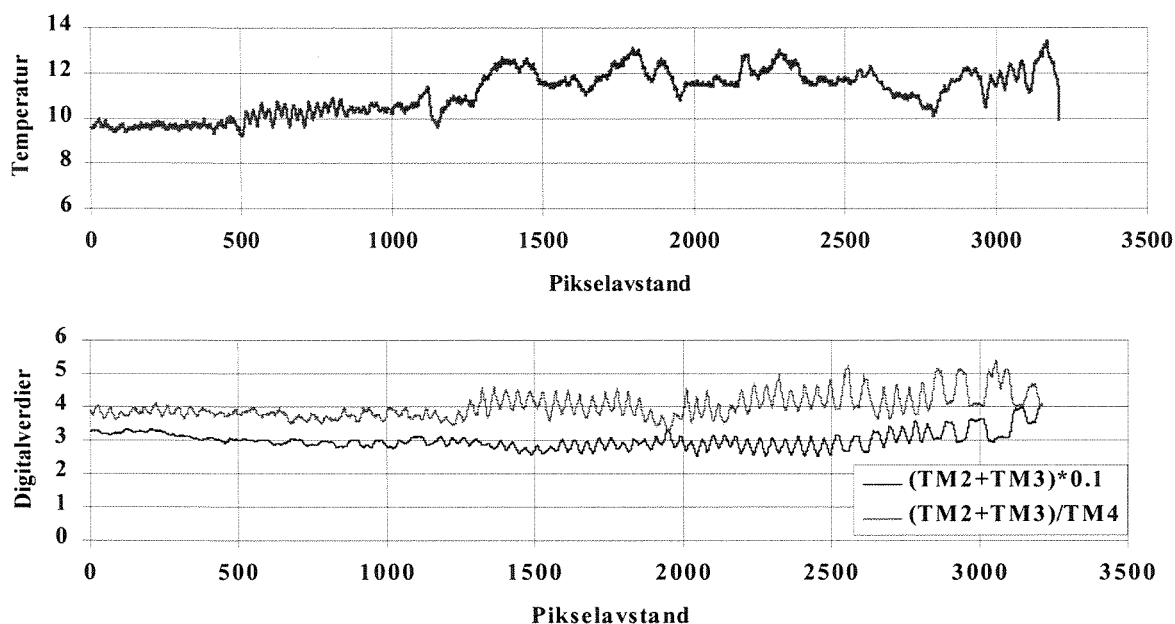
**Figur 6.** Satellittbilde for den 22. mai 1995 som viser fordelingen av reflektans (%).

Studerer vi det optiske bildet (**Figur 6**), så får man frem kraftige gradienter i reflektansen fra vest og østover i bildet. Vi kan ikke se tydelige skyer i bildet, men den spesielt høyere reflektansen i kysten mellom Karmøy og Stavangerhalvøya synes å være lite knyttet til et oseanografisk fenomen. Det synes som at dette skyldes atmosfæriske forstyrrelser i bildet.

I tillegg til satellittbildene så kan vi studere verdiene fra de 2 snittene (Jfr. **Figur 4**) for TM2+TM3 kanalen og forholdstallet mellom TM2, TM3 og TM4 (**Figur 7** og **Figur 8**). Det synes som om vi har å gjøre med en økning i TM2+TM3 som blir borte når man normaliserer med den nære IR kanalen TM4. Dette kan bety at det er atmosfære som utgjør dette fenomenet. Vi ser forøvrigt at det samme skjer inne i Hylsfjorden, men dette samt den spesielle fordelingen og det forholdet at det er nordlig vind så må man tolke dette som en atmosfærisk forstyrrelse. Tidevannet var omtrent på sitt laveste ved satellittpasseringen. På grunn av at vi velger å bruke små intervaller i reflektansen så kommer støyen tydelig frem. Stripene i bildet og de karakteristiske svingningene vi ser i kurvene skyldes de variasjonene vi ser i digitalverdier mellom "scan"-linjene. Legg merke til de stripene som ligger syd for Karmøy og vest av Stavanger. Dette må skyldes kondensstriper fra fly som forlater eller lander på Stavanger flyplass.



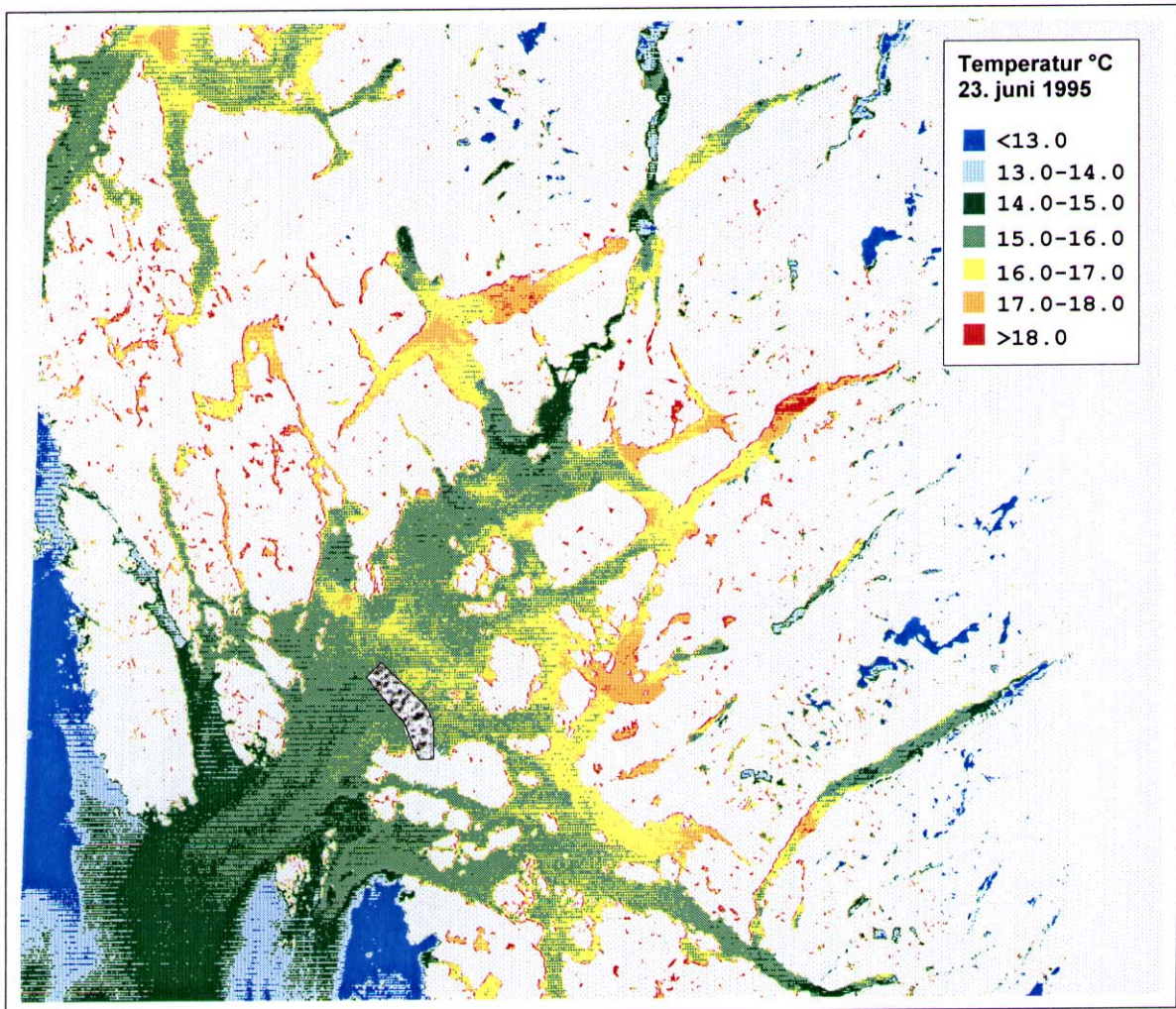
**Figur 7.** Nordligste snitt (Boknafjorden - Hylsfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 22. mai 1995.



**Figur 8.** Sydligste snitt (Boknafjorden - Jøsenfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 22. mai 1995.

### 3.4.2 Data fra 23. juni 1995.

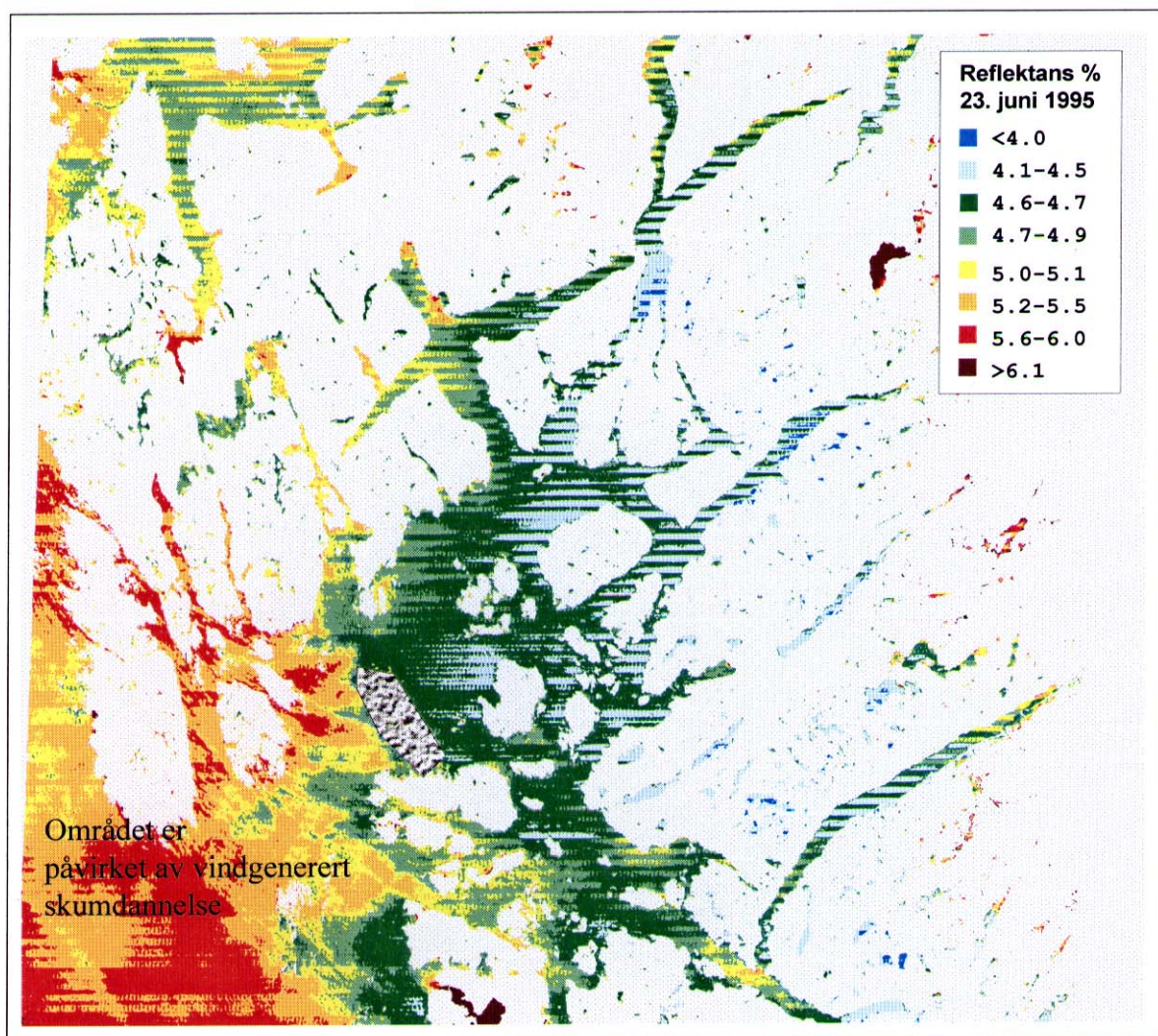
Vi ser av det termiske satellittbildet (**Figur 9**) en meget karakteristisk utstømming av vann fra Boknafjorden. Vindforholdene før passering var fra nordlig til nordvestlig med opp til liten kuling



**Figur 9.** Satellittbilde fra den 23. juni 1995 som viser temperaturfordelingen for hele området.

(12-13 m/s) på sitt meste og det var synkende tidevann ved satellittpasseringen som forsterker utstrømningen. Den kraftige utstrømningen kan være vindgenerert. Med en temperaturvariasjon mellom 13 - 18 °C var det tilstrekkelig med 1 °C oppløslighet for å få frem de termiske strukturer i bildet.

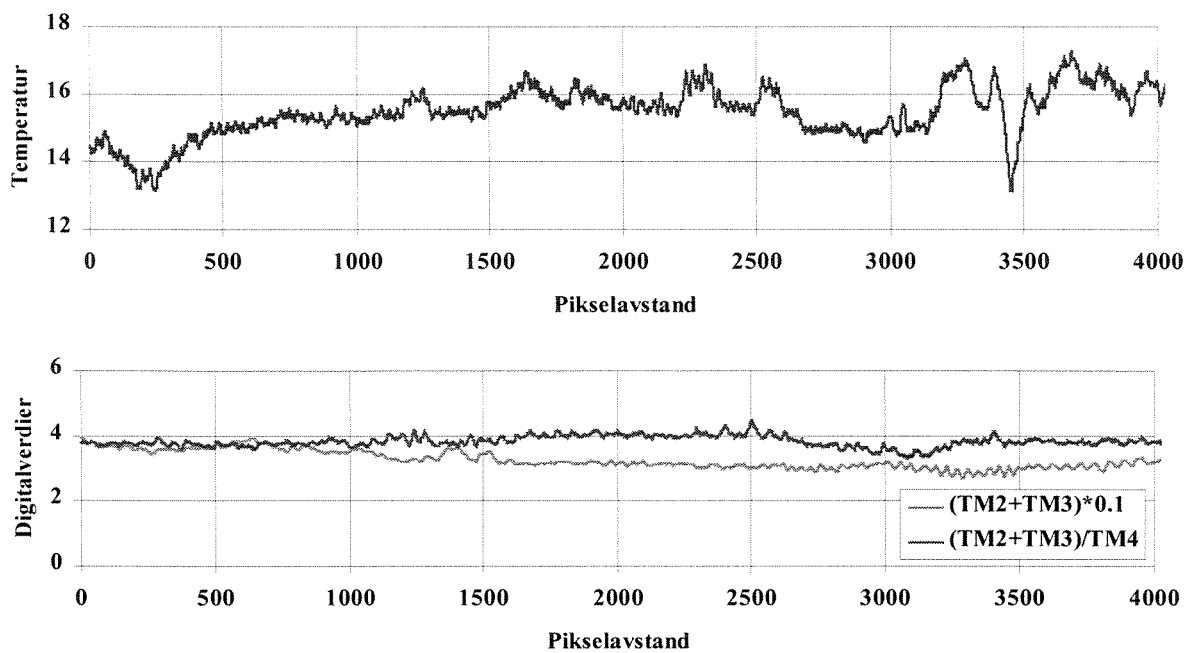
Det er noe skyer nord for Rennesøy i bildet som er maskert vekk. Det meget karakteristiske optiske bildet (**Figur 10**) med flekkvis fordeling av "pakker" med høy reflektans og derved tilsynelatende mer partikler ble studert nærmere.



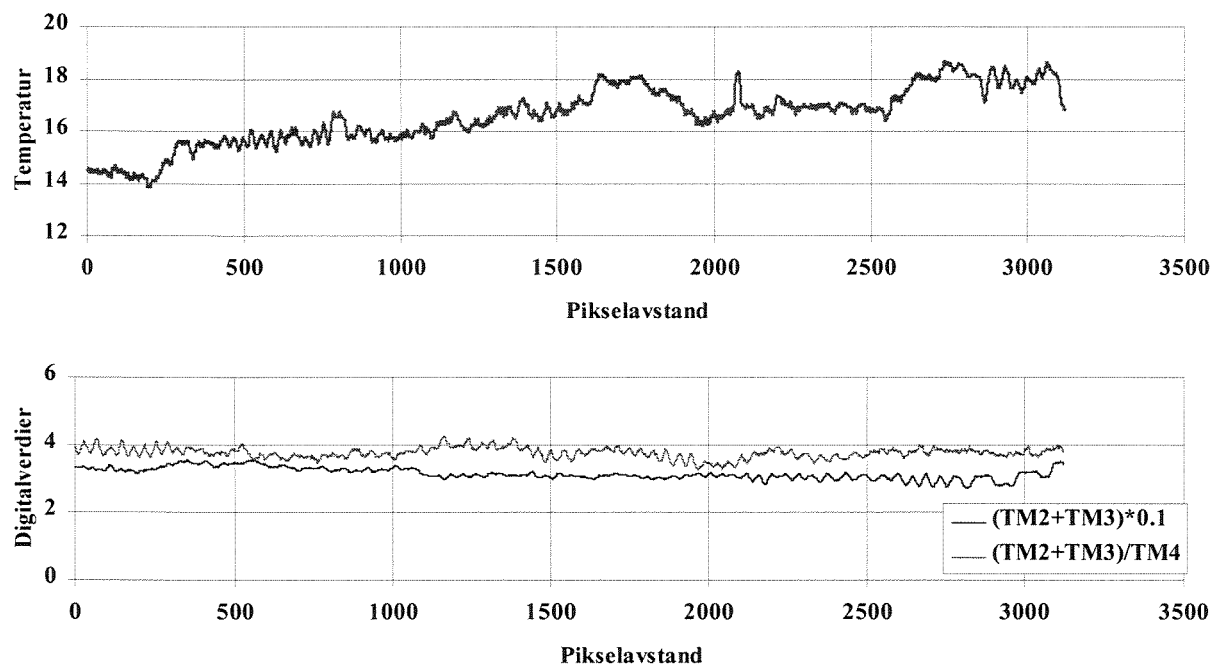
**Figur 10.** Satellittbilde for den 23. juni 1995 som viser fordelingen av reflektans (%).

Det ser ut til at det ikke finnes noe i atmosfæren som skal gi slik støy i bildet, og det ser ut til at dette fordeler seg til en viss grad ut fra topografien (øyene). Derfor er det nærliggende å tolke dette som at det er knyttet til vannmassene. Det er allikevel vanskelig å tro at det skyldes f.eks. alger fordi det fordeler seg unaturlig. Derimot kan det være forårsaket av den sterke vinden ved at man får dannet skumsprøyt/striper som gir et optisk fenomen på havoverflaten.

Ekstraksjon av temperatur og radiansdata (digitalverdier) fra to snitt i satellittbildene (**Figur 11** og **Figur 12**) viser en svak økning i TM2+TM3-dataene mot kysten slik at noe atmosfæreeffekter sammen med vindgenerert skumdannelse er den sansynlige årsak til dette fenomenet. Vi ser også de karakteristiske fallene i temperatur ved kysten (pikselverdi ca. 200) og f.eks. ved utløpet av Suldalslågen (pikselverdi ca. 3400).



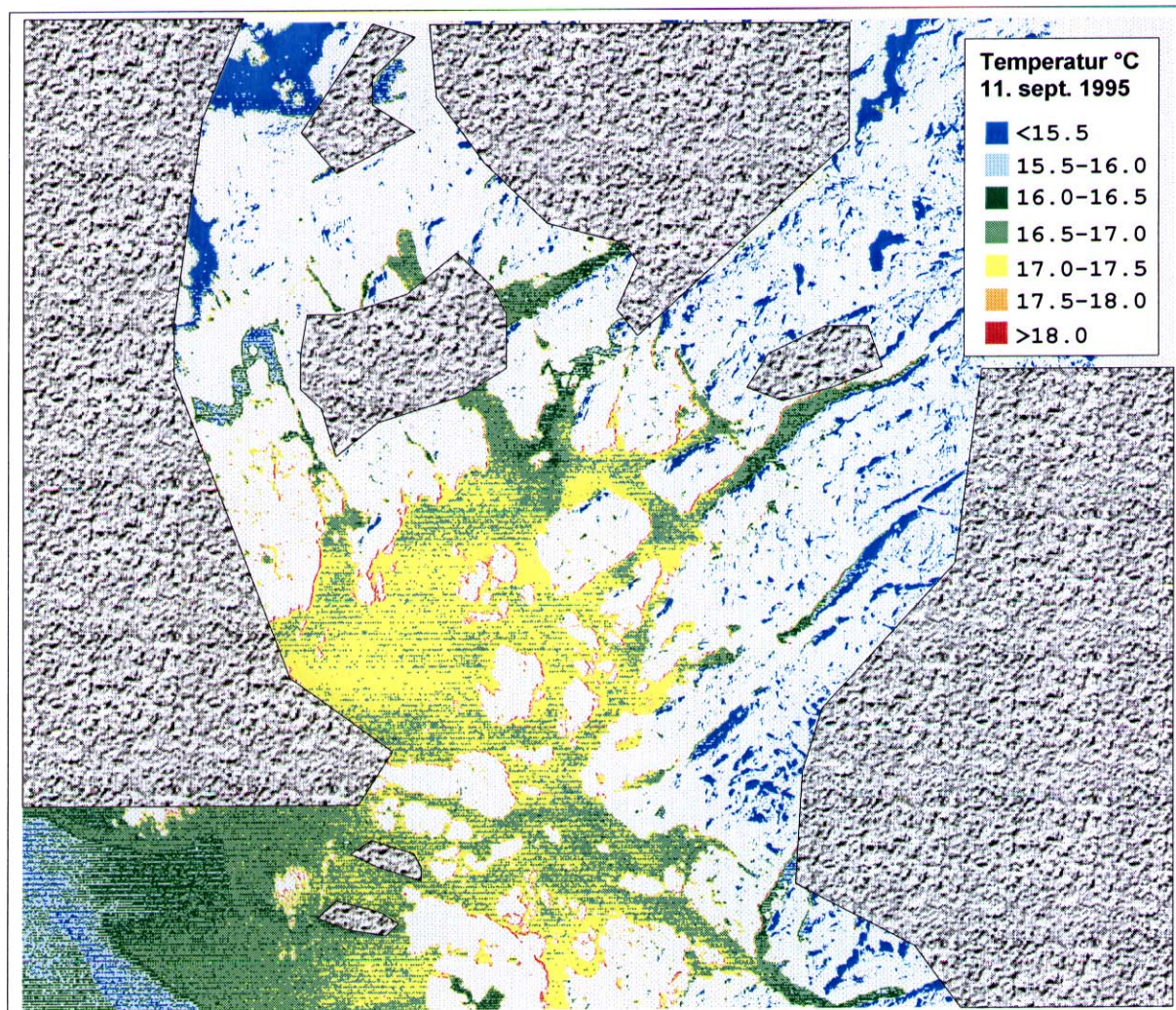
**Figur 11.** Nordligste snitt (Boknafjorden - Hylsfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 23. juni 1995.



**Figur 12.** Sydligste snitt (Boknafjorden - Jøsenfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 23. juni 1995.

### 3.4.3 Data fra 11. september 1995

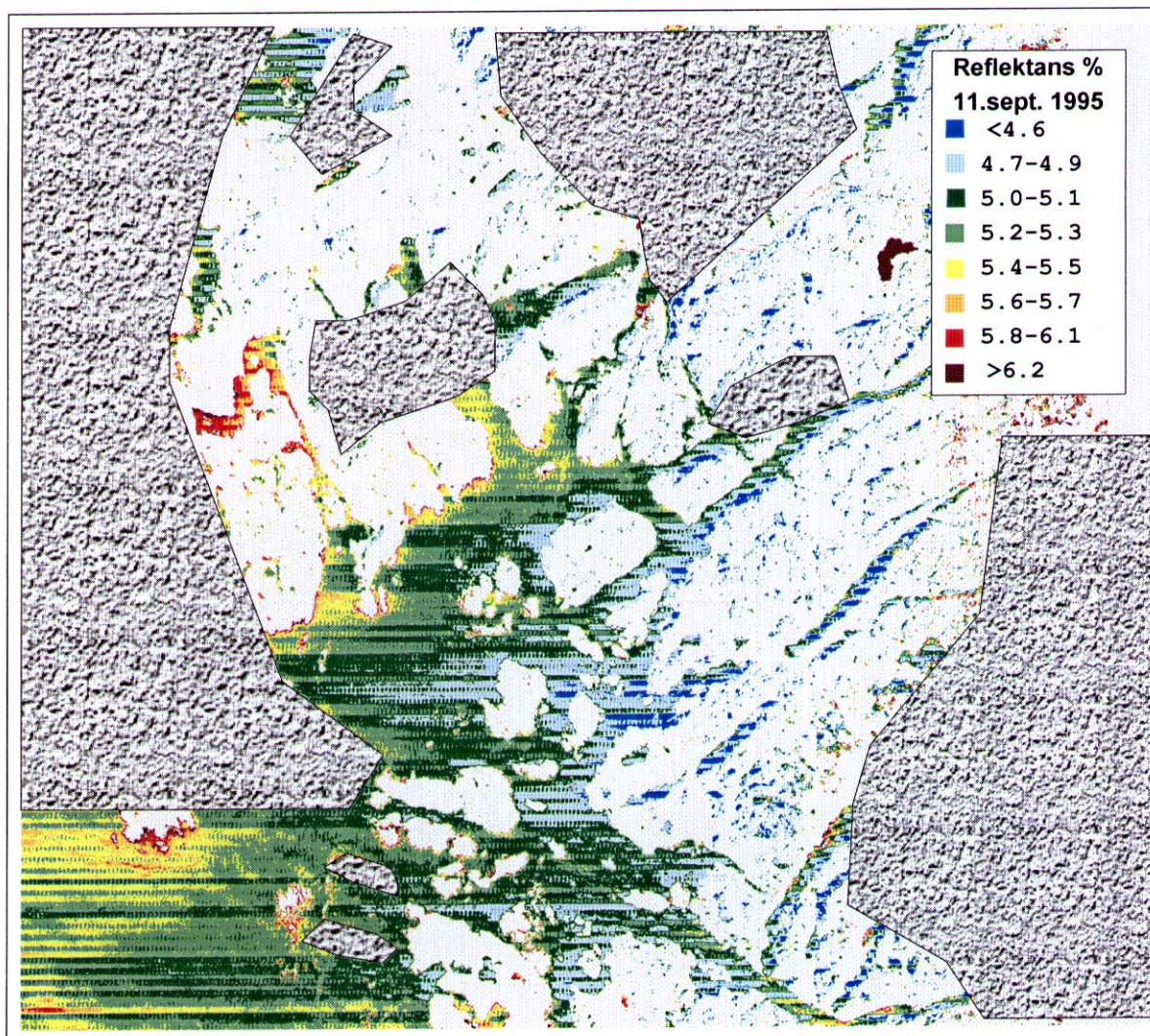
Denne dato var sterkt påvirket av skyer og atmosfærisk støy og deler av bildene (**Figur 13** og **Figur 14**) er maskert for de områder vi ser er påvirket. Det eneste som ikke er maskert godt nok vekk, er



**Figur 13.** Satellittbilde fra den 11.september 1995 som viser temperaturfordelingen for hele området.

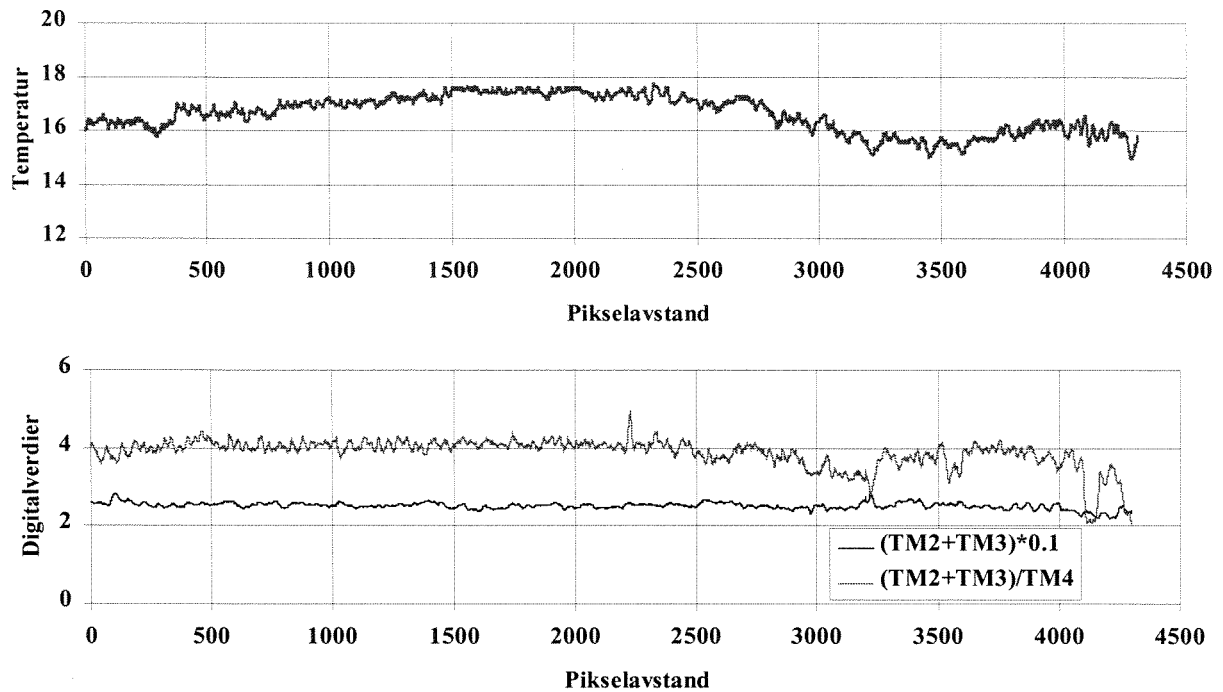
de skyggeeffektene man får fra de høye fjellene som gir lave radiansverdier og tilsynelatende lavere temperaturer på sydøstsidene av de trange fjordarmene. Dette må vi være klar over i tolkningen av bildene. Dette fenomenet er typisk for slike trange fjorder med høye fjell.

Temperaturvariasjonen var fra 15 - 18 °C og det ble valgt en 0.5 °C oppløsning i temperaturskalaen. Det var svak østlig vind forut for satellittpasseringen, og stigende tidevann under satellittpasseringen. Store områder er påvirket av atmosfære, men man kan allikevel trekke ut endel informasjon. De innerste delene av fjorden har lavere vanntemperaturer på grunn av utstrømning av kaldere vannmasser (ca. 16 °C), mens de sentrale deler av Boknafjorden har en jevn overflatetemperatur på ca. 17 °C. Ytterst i Boknafjorden ser man en karakteristisk kaldtvannsfrent (ca. 15 °C) utenfor Karmøy.

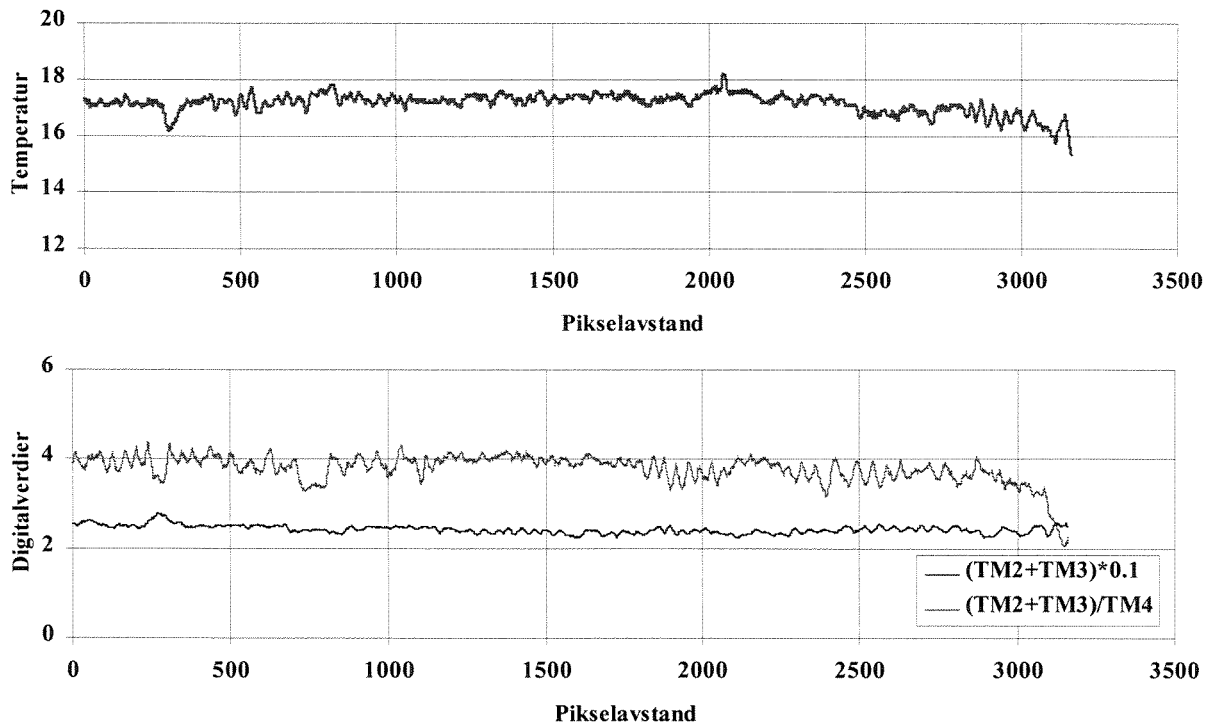


**Figur 14.** Satellittbilde for den 11. september 1995 som viser reflektansfordelingen for området.

Satellittbildet av reflektans (**Figur 14**) er vanskelig å tolke pga av de nevnte atmosfæreproblemene, og det eneste som kan sies er at reflektansen er generelt høyere vestover og i sentrale Boknafjorden og at dette kan tolkes som mer partikler. Det er dog vanskelig å vite når atmosfæreproblemene overtar og dominerer signalet. Det er jevne temperatur og små variasjoner reflektans i hele området i september (**Figur 15** og **Figur 16**) i motsetning til de noe større gradientene man ser av mai og juni-bildene.



**Figur 15.** Nordligste snitt (Boknafjorden - Hylsfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 11. sept. 1995.



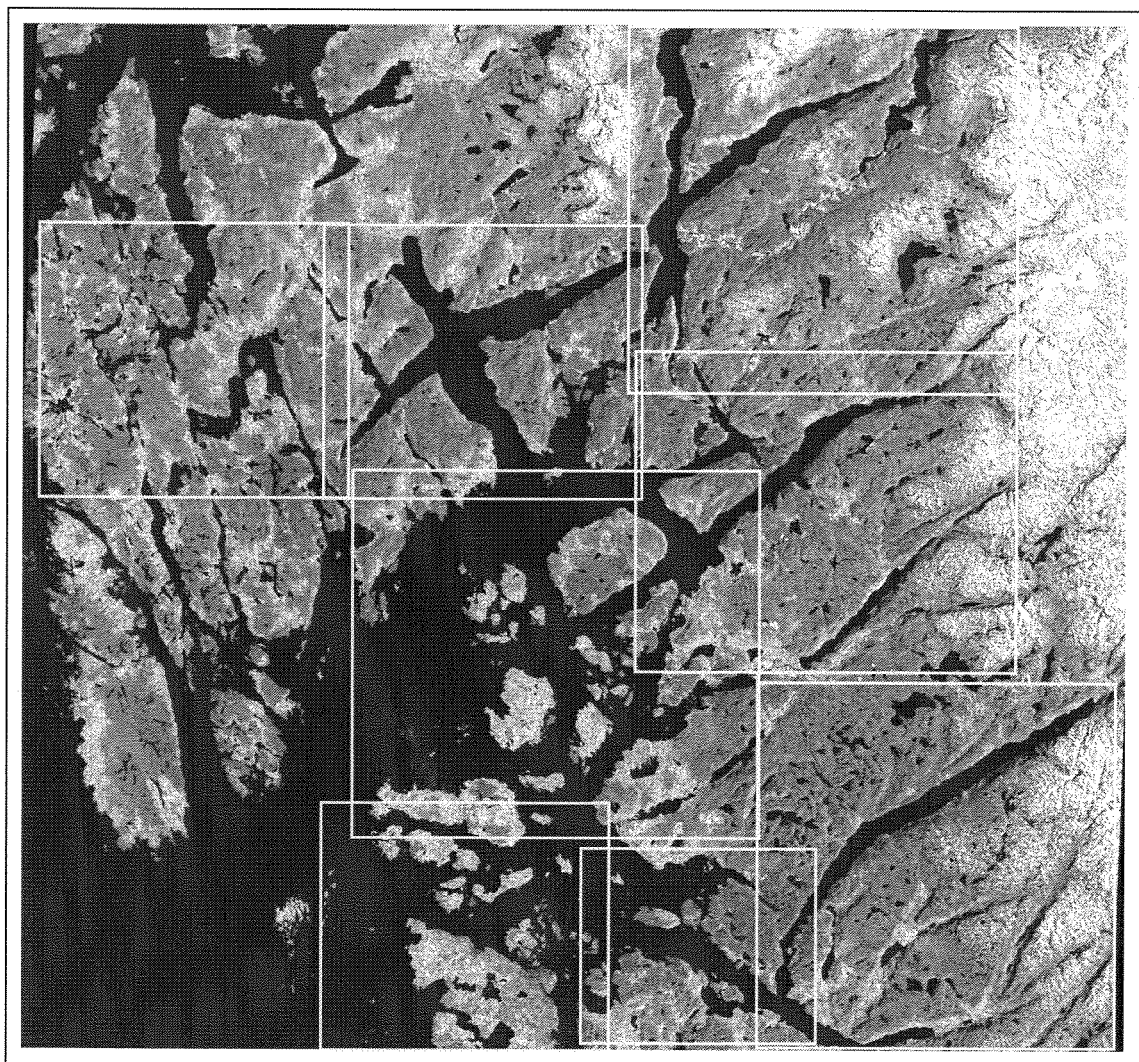
**Figur 16.** Sydligste snitt (Boknafjorden - Jøsenfjorden) av temperatur og digitalverdier for noen av TM-kanalene for 11. sept. 1995.



## 4. Vurdering av vannkvaliteten

Informasjonen i satellittbildene er tolket for å få frem mest mulig miljøinformasjon om vannressursene i Boknafjorden og de tiliggende fjordområder. De bearbejdede satellittbildene er sammenstilt for temperatur og reflektans for å lette tolkningen av vannkvaliteten. For å få frem mest mulig detaljer er området delt opp i mindre regioner som vist i **Figur 17**. Områdene er valgt i samråd med oppdragsgiver ut fra potensielle områder med forurensning, plassering av oppdretts-anlegg etc. Partikler er den viktigste enkeltfaktor som påvirker de optiske forskjellene ved vann-massene, og den beregnede reflektansen gir et bilde av denne partikkelfordelingen. Dessverre kan også atmosfæren påvirke dataene betydelig, og dette må man sørge for å eliminere enten datateknisk eller under tolkningen av bildene.

Området rundt Skudenesfjorden er påvirket av atmosfæreproblemer ved alle tre situasjonene, og dette er diskutert i kapittel 3.4. Ut fra diskusjonen om kvalitetskontrollen av dataene i 3.4 så er områder med store atmosfæreproblemer maskert.



**Figur 17.** Oversikt over bildeutsnittene i Boknafjordområdet. Som kartgrunnlag er benyttet TM4-kanalen fra den 23. juni 1995.

## 4.1 Hylsfjorden, Saudafjorden og Lovrafjorden.

Dette delområdet (**Figur 18**) viser Hylsfjorden, Saudafjorden, Lovrafjorden, Suldalslågen og Suldalsvatnet, samt midtre delen av Sandsfjorden. For dette området er kun data fra mai og juni vist da det i september var for mye skyer i dette delområdet.

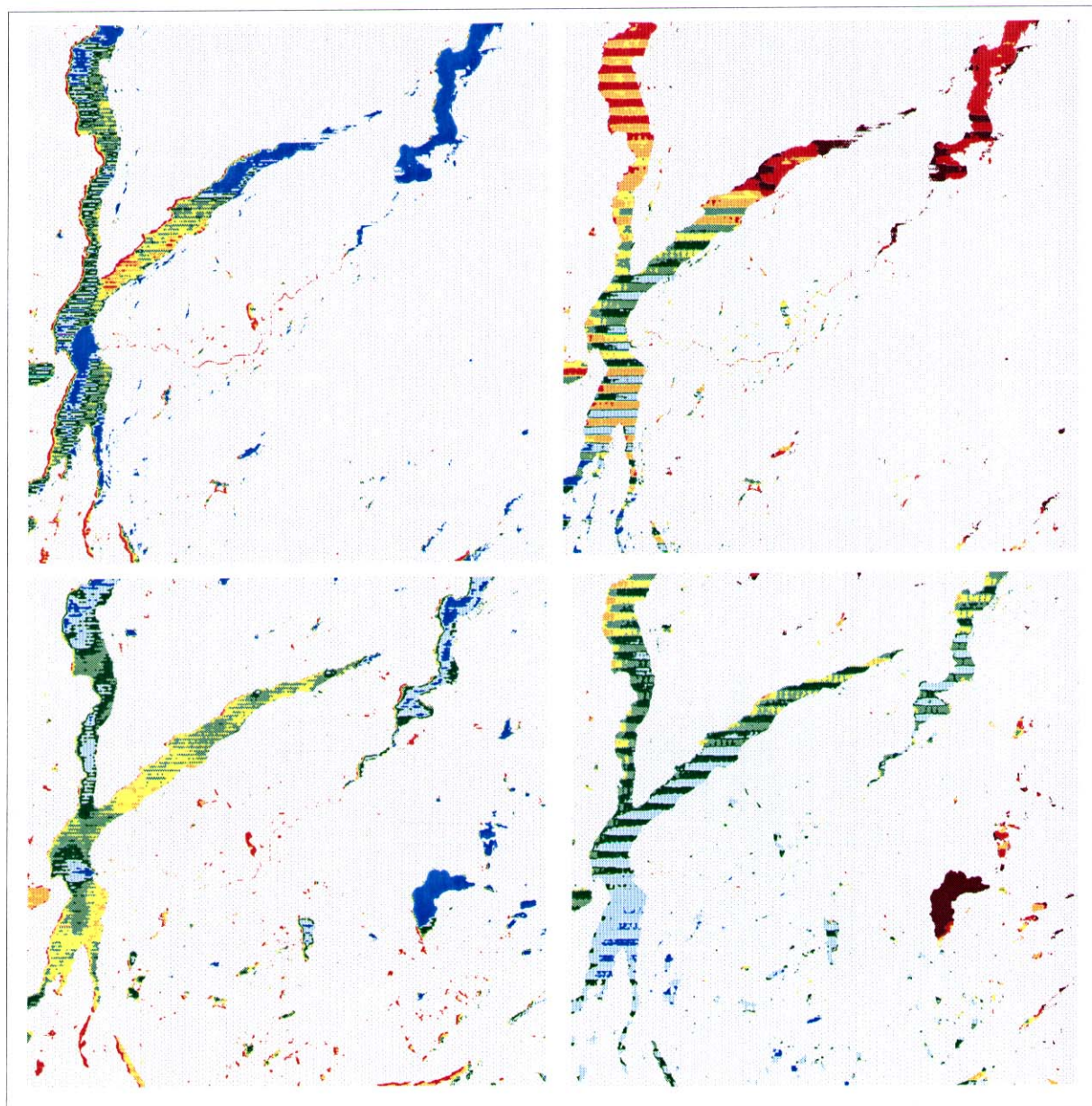
Satellittbildet fra mai viser for **Saudafjorden** større mengder partikler ut til Solland hvor fjorden gjør en innsnevring. Til Saudafjorden har man noe partikkelutslipp fra Sauda Smelteverk og totalt fra Saudaområdet slippes det ut ca 4500 p.e. Disse utslippene vil maskeres av de partikler som kan transporteres med elvene (Storelva/Buerelva) i området, og mest sannsynlig er det slike partikler (breslam) man observerer i bildet. Temperaturbildet viser også kaldere vann helt innerst og ut på fjorden vestsida, som bekrefter at det er kaldt elvevann som man registrerer. Situasjonen i juni viser de samme trekk, men med noe mindre utbredelse av partikler som er konsentrert på vestsida av fjorden. Sannsynligvis er det ikke noe algeoppblomstring i fjorden, selv om det til tider er observert lokale oppblomstringer av kalkflagellater som gir blakket vann. Det er også endel små elver i området som i stor grad styres av nedbør, men det kan ikke sees noen slike punktkilder (partikler eller lavere temperatur) ved de to situasjonene.

Bildet for **Hylsfjorden** viser kaldere vann innerst i fjorden ved begge tidspunkter, men med betydelig større utbredelse i mai. Overgangen mellom Hylsfjorden og midtre Sandsfjorden er ganske markert ved begge situasjoner. For at vann fra Hylsfjorden skal trenge inn i Saudafjorden, må det til sterk sydlig vind. Ved stagnasjon av vannmasser i dette området er det tidligere observert oppblomstringer av *Prymnesium*. Når det er kaldere vann i overflaten innerst i Hylsfjorden, slik som i mai, så tyder det på et overflateutslipp av ferskvann, som igjen betyr at Hylen kraftstasjon er igang. Oppblomstring av *Prymnesium* i Hylsfjorden finner man i overflatelaget og forekomstene kan til tider være meget flekkvis fordelt. *Prymnesium*-blomstringens starttidspunkt og utvikling synes ikke å være styrt av kjøringen av Hylen kraftverk (Johnsen, 1997.)

For å redusere vannføringen i Suldalslågen i perioder med stor ferskvannstilførsel er det etablert et overløp fra Suldalsvatnet til Hylsfjorden. Overløpet munner ut 20-30 meter over havflaten. Når overløpet går, stuper vannmassene ned i Hylsfjorden hvor det blandes med salt fjordvann som ligger under det brakke overflatevannet i fjorden. Blandingsvannets tetthet blir større enn overflatelagets brakke vann, men lavere enn det underliggende salte fjordvannet og kiler seg derfor inn mellom disse to vannmassene. Blandingsvannet strømmer ut av Hylsfjorden i relativt stor fart, og dette resulterer i at Hylsfjordvannets brakke overflatelag strømmer sakte innover Hylsfjorden. Under slike perioder er det observert økende algebiomasse innover i Hylsfjorden.

Det har vært to oppdrettsanlegg i Hylsfjorden, hvor det ytterste har lagt ved Vanvik og det innerste ved Tengsdal. Disse er utsatt for slike algeoppblomstringer. Ut fra fordelingen av vannmasser i området ser det ut til at minimum 2 overvåkningsstasjoner bør til for å dekke det som skjer i fjordens overflatelag.

**Suldalslågen** fremgår også av bildene og utløpet fra denne kan tydelig sees som et område med lavere temperatur både i mai og juni. I mai strømmer vannmassene ut mot Sandsfjorden på fjordens vestsida. I juni er også dette forholdet hovedbildet, men det kalde vannet fordeler seg da med mer inn mot Saudafjorden og litt inn i Hylsfjorden. Det er observert ved tidligere undersøkelser i området at Suldalslågen kan strømme inn i Hylsfjorden. Suldalslågen er et lakseførende vassdrag, og det er satt visse krav til minstevannføring når laksen skal vandre opp i vassdraget. Man ser av bildene hvilket influensområde som Suldalslågen har i Sandsfjorden.



**Figur 18.** Satellittbildet over Hylsfjorden, Saudafjorden, Lovrafjorden, Suldalslågen og Suldalsvatnet for 22. mai (øvre) og 23. juni 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

**Suldalsvatnet** fremstår som kaldt og partikkelrikt spesielt i mai, men det er også noe partikler i juni. Sandsvatnet som ligger syd for Suldalsvatnet, er i mai islagt, men fremtrer på bildet fra juni med mye partikler som må skyldes brevann.

I **Lovrafjorden** er det til tider observert oppblomstringer av *Prymnesium*, og i denne fjorden er det også lokalisert et settefiskanlegg. Det er også utslipp til de indre deler av Lovrafjorden fra landbruk (silosaft) som ligger i Lovravatnets nedslagsfelt. Man ser av bildet hvordan Lovravatnet er avgrenset fra fjorden. Avgrensningen skyldes at et ras en gang i tiden har gått ved Lovraeidet og har delt av den innerste delen av fjorden. Raset består imidlertid av relativt grov stein slik at ved høyvann strømmer sjøvann inn i Lovravatnet. Vi ser endel partikler i dette vannet både i mai og juni.

## 4.2 Vindafjorden, Yrkefjorden og Sandeidfjorden.

Dette satellittbildet (**Figur 19**) dekker foruten Vindafjorden, Yrkefjorden og Sandeidfjorden også de ytre deler av Sandsfjorden, Vatsfjorden og Gjerdedalsvatnet. Både mai- og junibildet er uten skypåvirkning, mens i september er det noe skyer i vest som dekker Yrkefjorden.

Man ser av bildene at vann fra **Sandsfjorden** strømmer inn i **Vindafjorden**. Spesielt tydelig ser man dette av det termiske bildet fra juni. Det er registrert *Prymnesium* helt inne i østlige deler av Vindafjorden, og dette bildet bekrefter at en slik transport kan inntreffe. I Vindafjorden er det observert at vann fra ytre deler av Sandsfjorden kan gå helt inn i fjorden og i 1989 ble det observert fiskedød i Vindafjorden (Kaartveit m. fl., 1990).

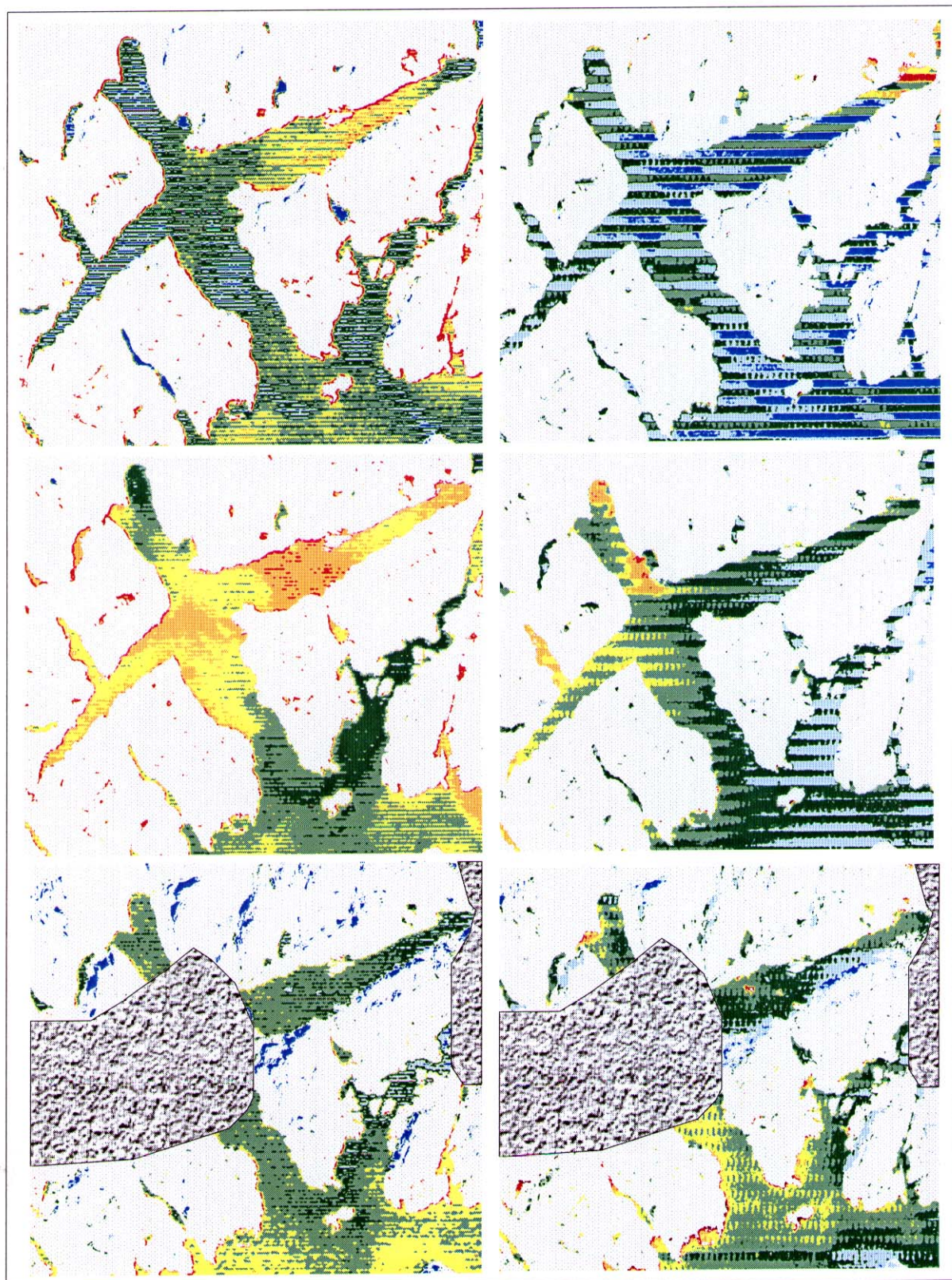
I **Vindafjorden** er det lokalisert flere oppdrettsanlegg som på grunn av vanntransporten fra Sandsfjord-systemet kan berøres av *Prymnesium*-blomstringer. For maisituasjonen kan det også se ut som at vann fra Sandsfjorden strømmer sydøstover mot Ombo. Det er også under *Prymnesium*-blomstringer observert et slik strømningsbilde hvor "pakker" av vann med plankton strømmer sørover rundt Ombo.

Junibildet viser også mye kaldere vann inne i **Sandeidfjorden** som må skyldes lokale tilførsler fra elvene innerst i fjorden. Her er det også lokalisert et settefiskanlegg. Gjerdesdalsvatnet har også sitt utløp til Sandeidfjorden og ser ut for å tilføre noe partikulært materiale til fjorden i mai.

Utenfor innløpet til Vindafjorden er det tidligere observert en rekke fronter som skyldes blandingen mellom de ferskere vannmassene fra Sandsfjordsystemet som møter det salte vannet fra Boknafjorden (Golmen m. fl. 1989, Svendsen m. fl. 1991).

Overvåkningsstasjoner som skal ha som formål å kartlegge evt transport av "giftig" vann fra Sandsfjorden, bør bl.a. plasseres i innløpet til Vindafjorden og i fjordsystemets østlige arm. Ellers ligger det en kaldere vannmasse innerst i Sandeidfjorden som skyldes lokale tilførsler innerst i fjorden.

Når det gjelder Vatsfjorden som ligger til **Yrkefjorden**, så har man her utløp fra Vatsvatnet (Jfr. kap. 4.8) hvor det er endel avrenning av kloakk og landbruk, og i juni har man høyere partikkelkonsentrasjoner her enn i vannmassene i Yrkefjorden.



**Figur 19.** Satellittbildet over Vindafjorden, Yrkefjorden og Sandeidfjorden for 22. mai (øvre) og 23. juni (midtre) og 11. september 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

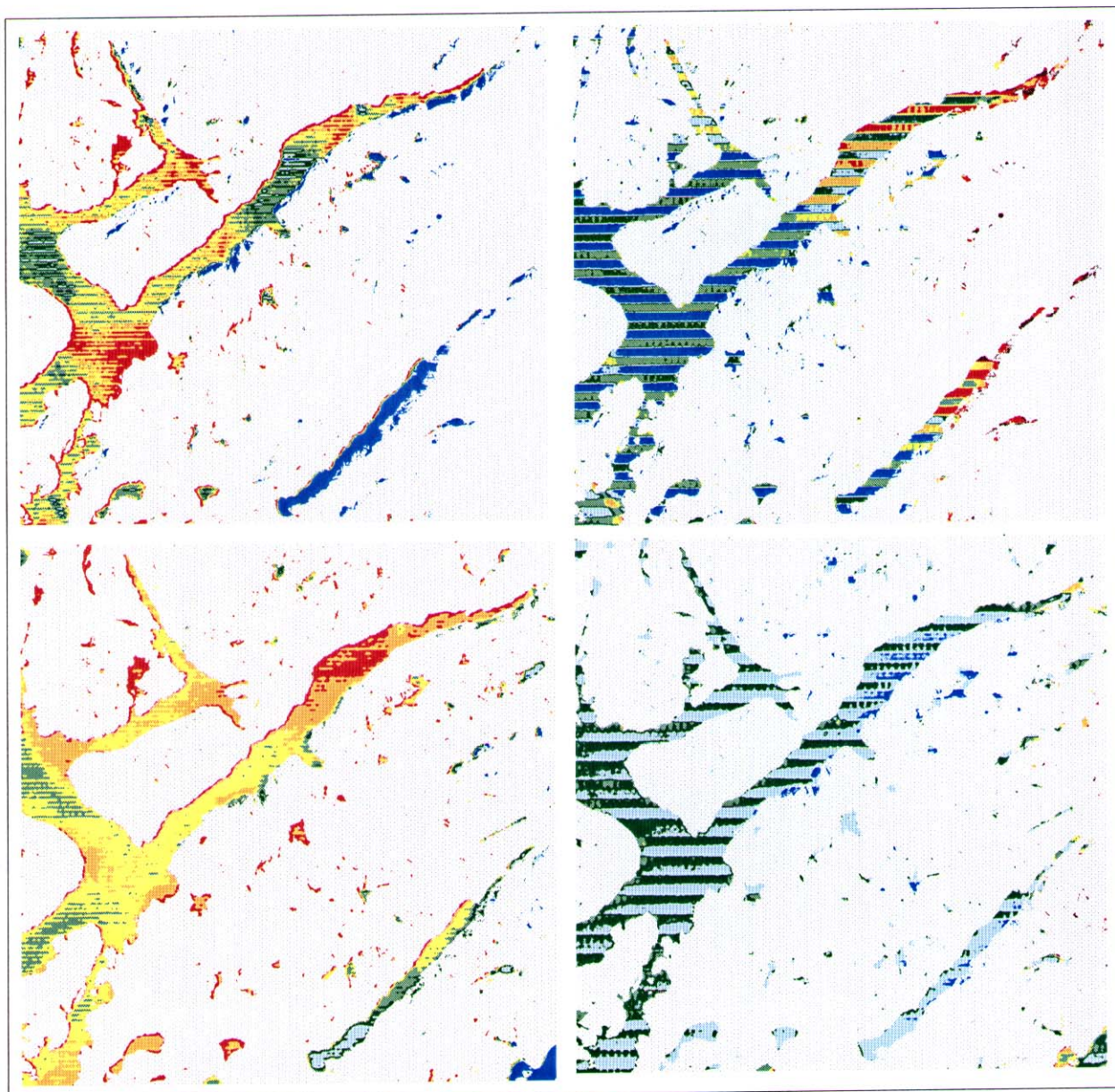
### 4.3 Erfjorden og Jøsenfjorden.

Dette bildeutsnittet dekker Erfjorden og Jøsenfjorden, samt Ombo som vist i **Figur 20**. Satellittbildene fra mai og juni kan begge anvendes, mens i september er det noe skyggeeffekter pga de høye fjellene, og dette bildet er derfor sløffet.

I **Erfjorden** er det flere oppdrettsanlegg, og det er ønske om utvidelser av anleggene i området. Fjorden har tilførsler fra både kommunal kloakk og fra landbruket, så det er en stor belastning på denne fjorden. Til Erfjorden er det lokale tilførsler av ferskvann fra Hålandselva. Det er tidligere registrert fiskedød under *Prymnesium*-blomstringer, som sansynligvis skyldes transport av "giftig" vann fra Sandsfjordsystemet. Det synes å være noe oppstuvningen av vannmasser i utløpet av Erfjorden.

I **Jøsenfjorden** ser man signalet fra elva Vorma, og man ser at i mai ligger det et område med kaldere vann i fjorden. Den høyere temperaturene innenfor Vormas utløp i juni kan tyde på en stagnasjon av vannmassene i dette området. I mai kan kaldere vann fra Ulla bare så vidt registeres og man ser også det samme for juni. På grunn av reguleringen av elvene Ulla og Førre som er overført til Suldalsvassdraget, så er det nå betydelig mindre ferskvannstilførsler til fjorden. Med mindre ferskvanntilførsel så reduseres også vanntransporten i fjorden. Ut fra temperatur- og partikkelfordelingen kan fjorden deles opp i 2-3 soner med ulike egenskaper i overflatelaget. Den høyere temperaturen vi ser i området utenfor Jøsenfjorden, omtales i kap. 4.4.

**Tysdalsvatnet** har også karakteristiske trekk ved at det i mai er ca 50% av vatnet (nordøstlige del), som har høyere partikkelmengder. I juni er det noe mer temperaturforskjeller.



**Figur 20.** Satellittbildet over Erfjorden og Jøsenfjorden for 22. mai (øvre) og 23. juni 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

#### 4.4 Boknafjorden og fjordene omkring Ombo, Finnøy og Rennesøy

Dette området ligger utenfor Sandsfjordsystemet og dekker de sentrale områdene av Boknafjorden, Nedstrandsfjorden, Jelsafjorden og fjordene rundt Ombo, Finnøy og Rennesøy, samt Årdalsfjorden. Alle tre datoer er representert selv om det kan være noe vanskeligheter med tolkningen av maibildet pga atmosfæriske forstyrrelser/skyer i et lite område av bildet (**Figur 22**).

I området rundt **Ombo** er det konsentrert mange oppdrettsanlegg, og det er planer om å øke antallet. Noen av disse anleggene synes å ligge i et område som for mai og juni 1995 har høyere temperaturer enn de omliggende vannmasser, som igjen indikerer noe dårligere utskiftninger av overflatevannmassene. Det er også registrert fiskedød i Ombo-fjorden ved at "vannpakker" med saltholdighet på 22-24 (promille) har beveget seg fra Sandsfjordsystemet og inn i dette fjordområdet.

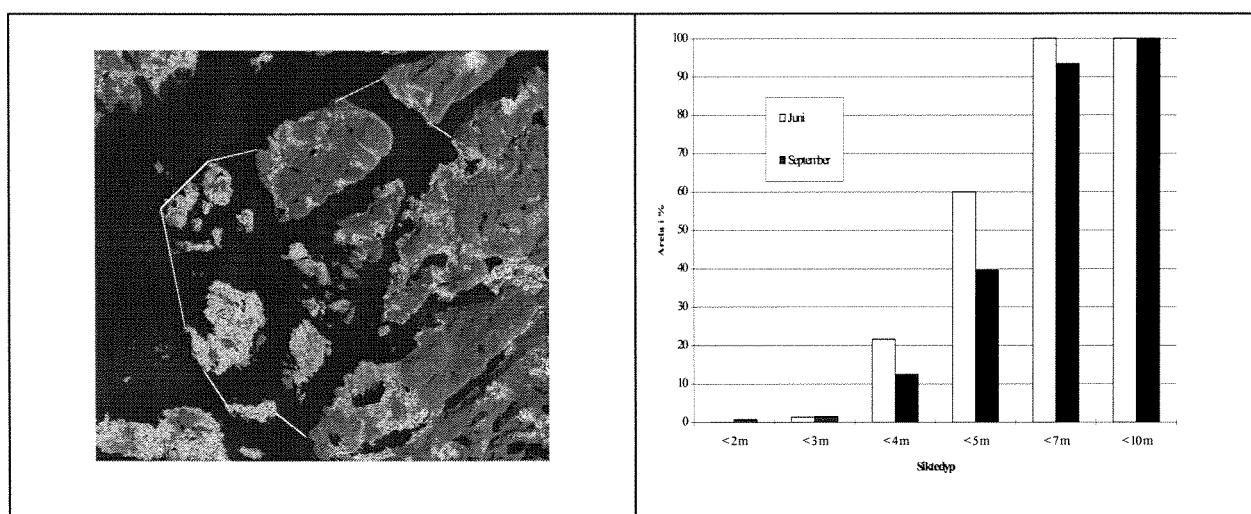
Konsentrasjonen av alle oppdrettsanlegg i området kan gi negative effekter hvis det f.eks. er dårlig vannutskiftning. Slike effekter kan man ikke se av dataene direkte, men temperaturbildene kan indikere noe om vannutskiftningen. Høyere temperaturer kan indikere noe større oppholdstid. Lokale områder med høyere temperatur kan også skyldes et grunnere spranglag med det resultatet at man får en raskere oppvarming av overflatelaget.

I de ytre deler av **Årdalsfjord** er det også flere oppdrettsanlegg. Av de termiske bildene så fremstår Årdalsfjorden med kaldere vann for alle tre tidspunktene, som skyldes avrenning fra Årdalselva. I juni ser man også et meget lite område med høyere reflektans som skyldes partikler fra elva. I juni synes det kaldere vannet å være stengt inne av et varmere vannlag utenfor, og utskiftningen fra Årdalsfjorden blir dårligere. I mai kan også dette være tilfelle, men det er et lite skyområde som kan maskere noe av denne informasjonen. I Årdalsfjorden er det også oppdrettsanlegg og noe kloakktilførsler til de ytre deler av fjorden.

Det er antydning av mer partikler i vannmassene vestover i Boknafjorden og Nedstrandsfjorden, mens området rundt og på innsiden av øyene Ombo og Finnøy har noe klarere vann. Vanntemperaturen viser at det også ligger noe kaldere og sansynligvis ferskere vann i nord mot Sandsfjordsystemet og innløpet til Vindafjorden. De noe høyere reflektansverdiene mot vest må tolkes med forsiktighet da man ikke helt kan utelukke at det er rester av atmosfæriske forstyrrelser som diskutert i kapittel 3.4.

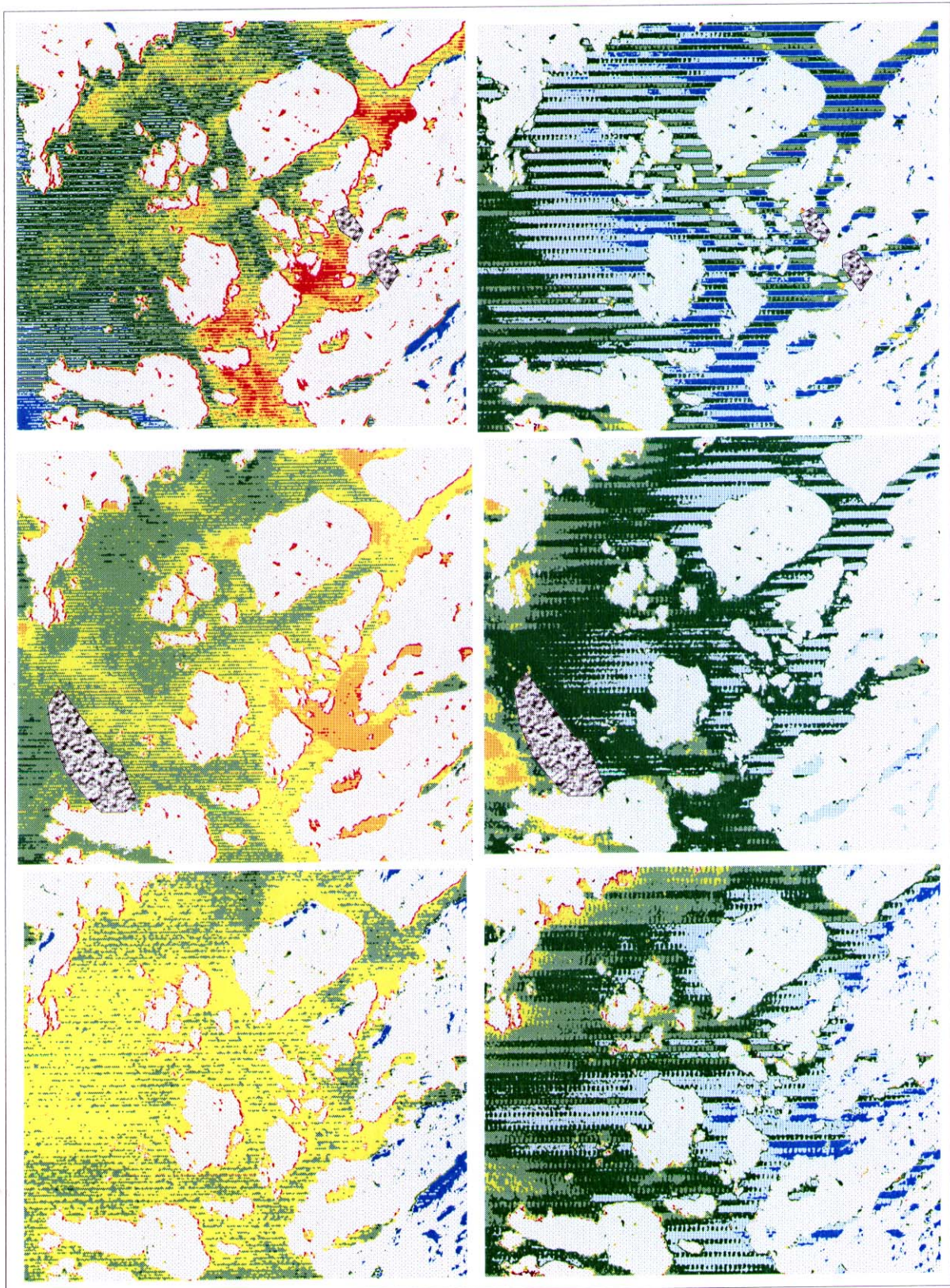
Det ble foretatt en nærmere studie av fordelingen av siktedypet i et avgrenset område rundt Ombo for å illustrere hvordan man kan ta ut statistikk for å berarbeide data på en annen måte (**Figur 21**). På grunn av de atmosfæriske vanskelighetene må man betrakte dette som et eksempel.

Prosentandelen av ulike siktedypsintervaller er beregnet innen det avmerkede arealet på bildet. Man ser at for juni og september har fra 40 til 60 % av arealet dårligere siktedyp enn ca 5 m og 10-20% < 4 meter. Slike klassifiseringer av vannkvaliteten kan man foreta når man har noe felldata. Ut fra dette er det mulig å benytte også satellittutledede vannkvalitetsdata i f.eks. et klassifikasjonssystem tilsvarende det som SFT benytter. Fra dette eksemplet kan man f.eks. bestemme at 10-20 % av området har siktedyp i klasse IV (Dårlig).



**Figur 21.** Oversikt over området (venstre) for studie av siktedypsfordelingen (høyre) innen et avgrenset areal som avmerket på bildet. Dette er et eksempel på beregning av ulike vannkvalitetsstørrelser innen en region.





**Figur 22.** Satellittbildet over Boknafjorden og fjordene omkring Ombo, Finnøy og Rennesøy for 22. mai (øvre) og 23. juni (midtre) og 11. september 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

## 4.5 Høgsfjorden og Idsefjorden

Dette delområdet dekker Høgsfjorden, Idsefjorden, Hølebassenget og noe av de ytre deler av Lysefjorden som vist i **Figur 23**. Både bildene fra mai, juni og september er det mulig å benytte for dette området, men septemberbildet er noe forstyrret av skyggeeffekter fra de høye fjellene.

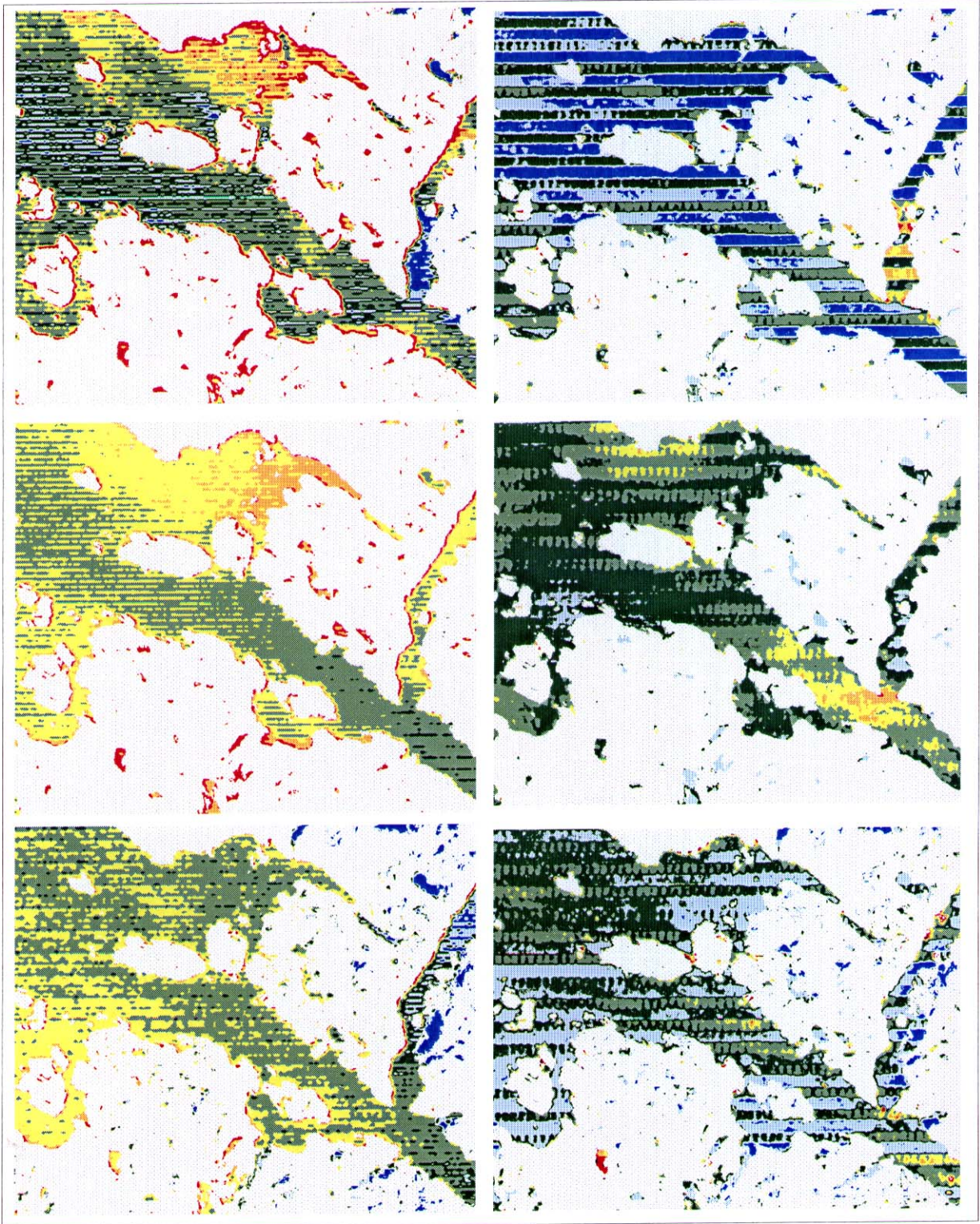
I **Lysefjorden** ytre del opptrer et område med lavere temperatur og høyere reflektans. Hva dette skyldes er ikke lett å tolke fra bildene. Det kommer ut flere små elver fra fjellpartiet i øst og det kan være tilførsler herfra med kaldt og partikkelholdig vann. Visse forhold kan også tyde på at det kan skyldes atmosfære- eller en hystereseffekt i sensoren, som fremkommer ved at under målingen ("scanningen") passerer sensoren områder med høy reflektans og dette signalet "henger igjen" i sensoren over et annet område. Hele scanningsområdet på tvers av bildet synes å ha en viss slik effekt. Utløpet av fjorden er smal og fjellpartiet i øst er på 400-500 meter, og det er mulig at en hystereseffekt er tilstede. Derfor kan vi ikke konkludere at dette skyldes et fenomen i vannmassene.

I **Høgsfjorden** ved Hølen er det mye oppdrettsanlegg, samt kloakktilførsler og tilførsler fra Ims-Lutsi vassdraget hvor bl.a. NINA har sin forsøksstasjon med flere settefiskanlegg. Det er ikke noe spesielt å se i dette området, bortsett fra at lenger opp i Ims-Lusi vassdraget er det partikkelholdige vannmasser.

I Høgsfjorden ved utløpet av Lysefjorden finner man et område med mer partikler og dette kan kanskje være en algeblomstring som er under utvikling. Det er ikke noe i atmosfæren som skulle påvirke dette. Fordelingen i vannmassene er også som forventet. Dette kan skyldes at man her er i et blandingsområde mellom vann fra Lysefjorden og vann fra Høgsfjorden, og at dette begunstiger algeoppblomstringer.

**Idsefjorden** fremtrer som et område med varmere vann enn Høgsfjorden og kan indikere at man her har mer stillestående vann enn i fjorden på utsiden. Dette er slik for både mai og juni, mens september var det jevnere forhold. I mai og juni er det mer nordlige og sydlige vinder, mens i september mer østlig. Dette kan også forklare denne oppstuvningen i Idsefjorden for mai og juni og en "uppswelling" i Hølebassenget. At det er oppstuvning av vannmasser i Idsefjorden betyr endel for utvekslingen med Høgsfjorden og blanding av de utslipp som er til dette området (ca 5000 p.e.).

For denne regionen vil det være naturlig å vurdere eventuelle overvåkningsstasjoner ved utløpet av Lysefjorden i Høgsfjorden og i selve Idsefjorden.



**Figur 23.** Satellittbildet over Høgsfjorden og Idsefjorden for 22. mai (øvre) og 23. juni (midtre) og 11. september 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

## 4.6 Lysefjorden.

Dette delområdet ligger helt syd i satellittbildets dekningsområde og tar med seg foruten Lysefjorden også noe av Høgsfjorden og Frafjorden (**Figur 24.**). Scenen skjærer av noe av de sydligste av Høgsfjorden, men deler av Frafjorden er allikevel med. Satellittbildene fra mai og juni er brukbare mhp. skyer, men septemberbildet er utelatt. Det kan være noe skyggeeffekter fra fjellene på begge disse datoer spesielt innerst i Lysefjorden som gir et feil inntrykk av sjøtemperaturen (for lav).

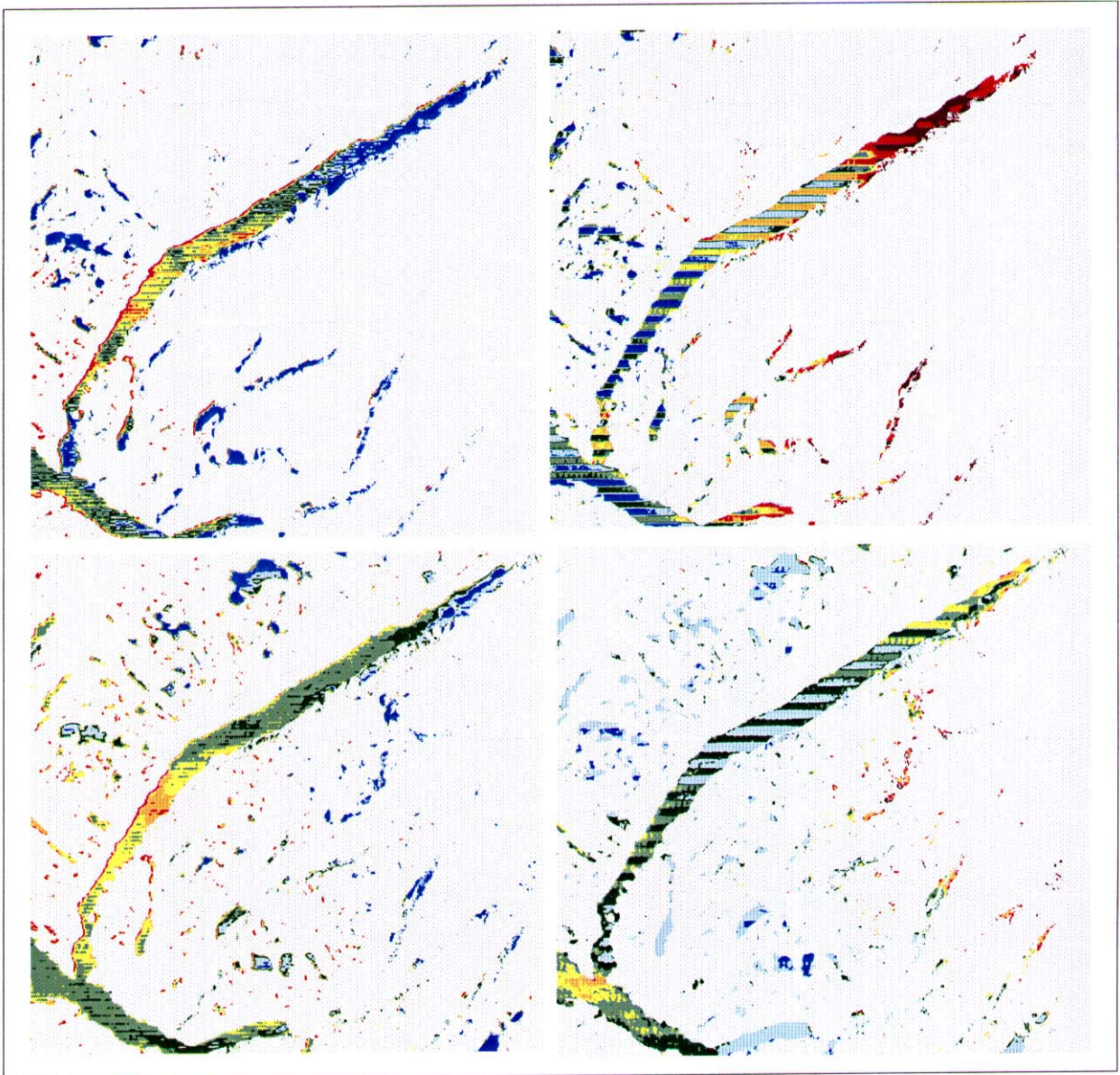
**Lysefjorden** er lang og man ser at det er temperaturgradienter i fjordens lengderetning. Av maibildet ser man at der hvor ferskvannstilførsler fra Haukalivatnet strømmer ut finner man noe kaldere vannmasser. I mai er det også betydelig partikkelpåvirkning innerst i fjorden som må skyldes avrenning av brevann fra fjellområdene i øst og nord. Fjorden er sterkt påvirket av ferskvann, og det forekommer jevnlig *Emiliana huxleyi*-blomstringer i området.

Også ytterst i fjorden ved munningen er det lavere temperatur og høyere reflektans. Hva dette skyldes er ikke lett å tolke ut fra bildene (Jfr. diskusjon i kapittel 4.5).

De optiske og termiske forskjellene deler fjorden opp i 2-3 ulike soner. Hvis man skulle bruke dette for å dimensjonere et antall overvåkningstasjoner, vil det si at det bør være min 3 stasjoner i fjorden.

Situasjonen i juni er noe den samme for de innerste og midtre deler, men vi ser nå en partikkelansamling rett utenfor munningen i Høgsfjorden. Dette er mest sannsynlig en algeoppblomstring (Jfr. kapittel 4.5).

Innerst i **Frafjorden** var det også mye partikler i mai, mens det i juni var klarere vann. Breslam og mye ferskvann er mest sannsynlig årsak til variasjonen i partikkelinnhold.



**Figur 24.** Satellittbildet over Lysefjorden for 22. mai (øvre) og 23. juni 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

## 4.7 Håsteinsfjorden, Åmøyfjorden og Hafrsfjord

Dette bildeutsnittet dekker området rundt Stavanger med Kvitsøy i vest og Rennesøy i nord. Videre er Håsteinfjorden, Hafrsfjord, Åmøyfjorden og ytre deler av Gandsfjorden dekket. Alle tre datoer er presentert i **Figur** med temperatur og reflektansbilder.

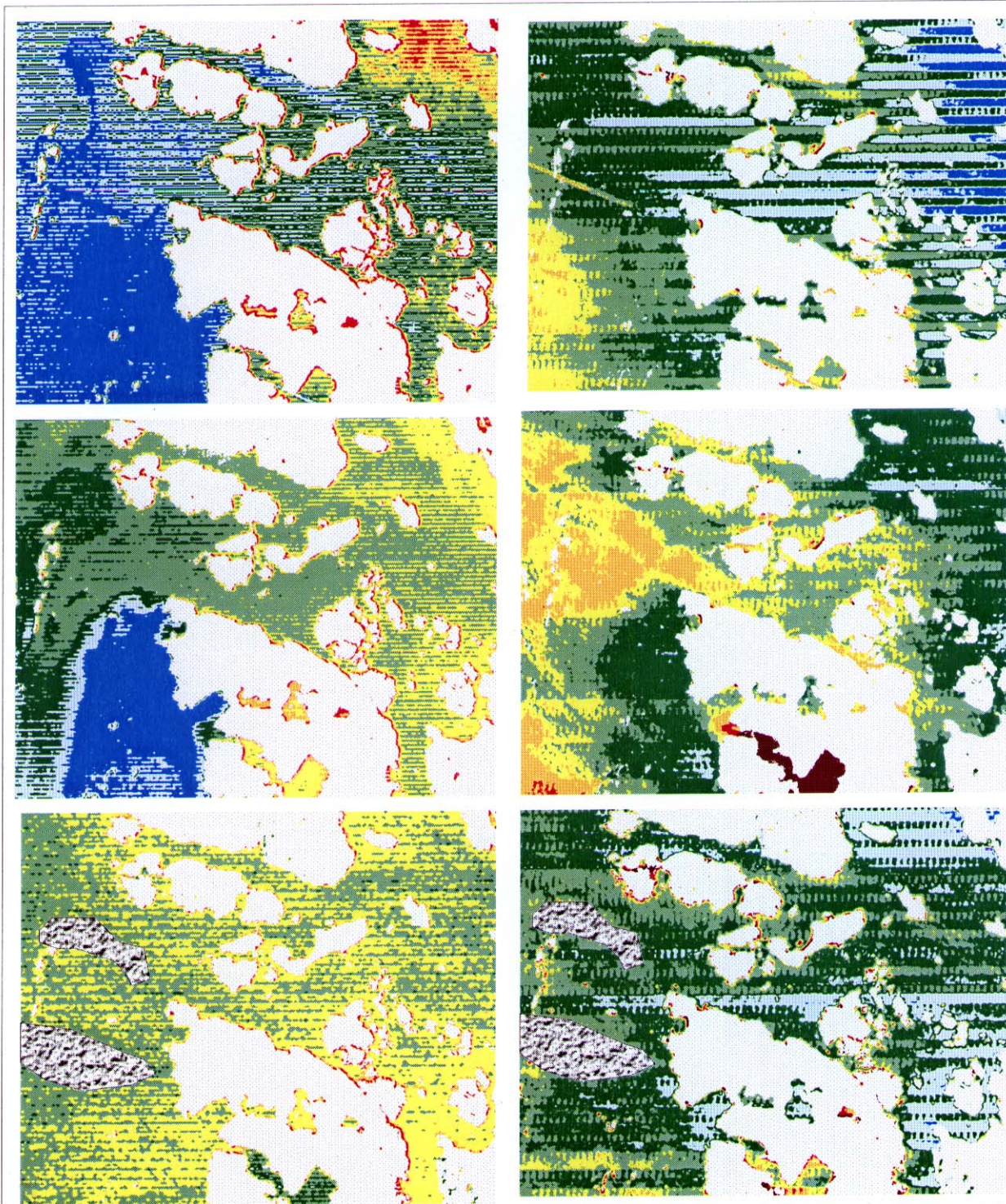
Både i mai og juni er det store gradienter i overflatetemperaturen i **Håsteinsfjorden** vest av Stavanger og omkring Kvitsøy. I september var de termiske gradientene svakere. Det er ofte observert et skille ved Kvitsøy som skyldes en overgangssone mellom utgående vann fra Stavangerområdet og vannmasser fra Kyststrømmen, og dette fremkommer tydelig for situasjonen i juni. I mai er det også tydelige termiske gradienter i disse vannmassene, men fordi det er noe atmosfæriske forstyrrelser på maisituasjonene så skal man ikke trekke for klare konklusjoner her (kapittel 3.4). De optiske bildene er av samme årsak også vanskelig å tolke pga av disse forhold, og som forklart i kapittel 3.4 er de fenomen vi ser i juni muligens forårsaket av skumstriper pga den kraftige vinden som hadde pågått en tid.

Utslipet fra sentralrenseanlegget for Nord-Jærene (SNJ) som ligger midt mellom Stavangerhalvøyen, Kvitsøy og Fjøløy (Ulstein-Kloster) synes å ligge i området hvor man får god blanding av kystvann og utstrømmende vann fra fjord-systemet. I juni ser vi den meget karakteristiske utstømming av vann fra Boknafjorden på begge sider av Kvitsøy (Jfr kapittel 3.4 og Figur 9).

På Stavangerhalvøyen ser man i juni mye partikler i **Hafrsfjord** som sannsynligvis er plankton, og man finner et siktedyp på < 2 meter i juni. Det er også mer partikler i dette området enn i fjorden utenfor både i mai og september. Ut fra kun siktedypet ville dette ha tilsvart SFT klasse V (Meget dårlig).

Det er generelt noe høyere reflektansverdier omkring øyene nord for Stavanger som antas å være reelt. I **Åmøyfjorden** kommer det lokal påvirkning fra Stavangerområdet. Det er tilførsler fra både kloakk, industri og oppdrettsanlegg i disse områdene.

Det er noe høyere verdier i de trange sundene mellom **Klosterøy** og **Fjøløy**. Dette kan være reelt, men det er også en mulighet for at man i de grunne områdene egentlig får refleksjon/tilbakestråling fra bunnen og at dette gir et falskt inntrykk av at dette er knyttet til vannmassene. Slike detaljer må studeres nærmere. Det er det noe landbruk og kloakkavrenning i dette området.



**Figur 25.** Satellittbilder over Håsteinsfjorden, Åmøyfjorden og Hafrsfjord for 22. mai (øvre) og 23. juni (midtre) og 11. september 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

## 4.8 Ålefjorden og Skjoldafjorden

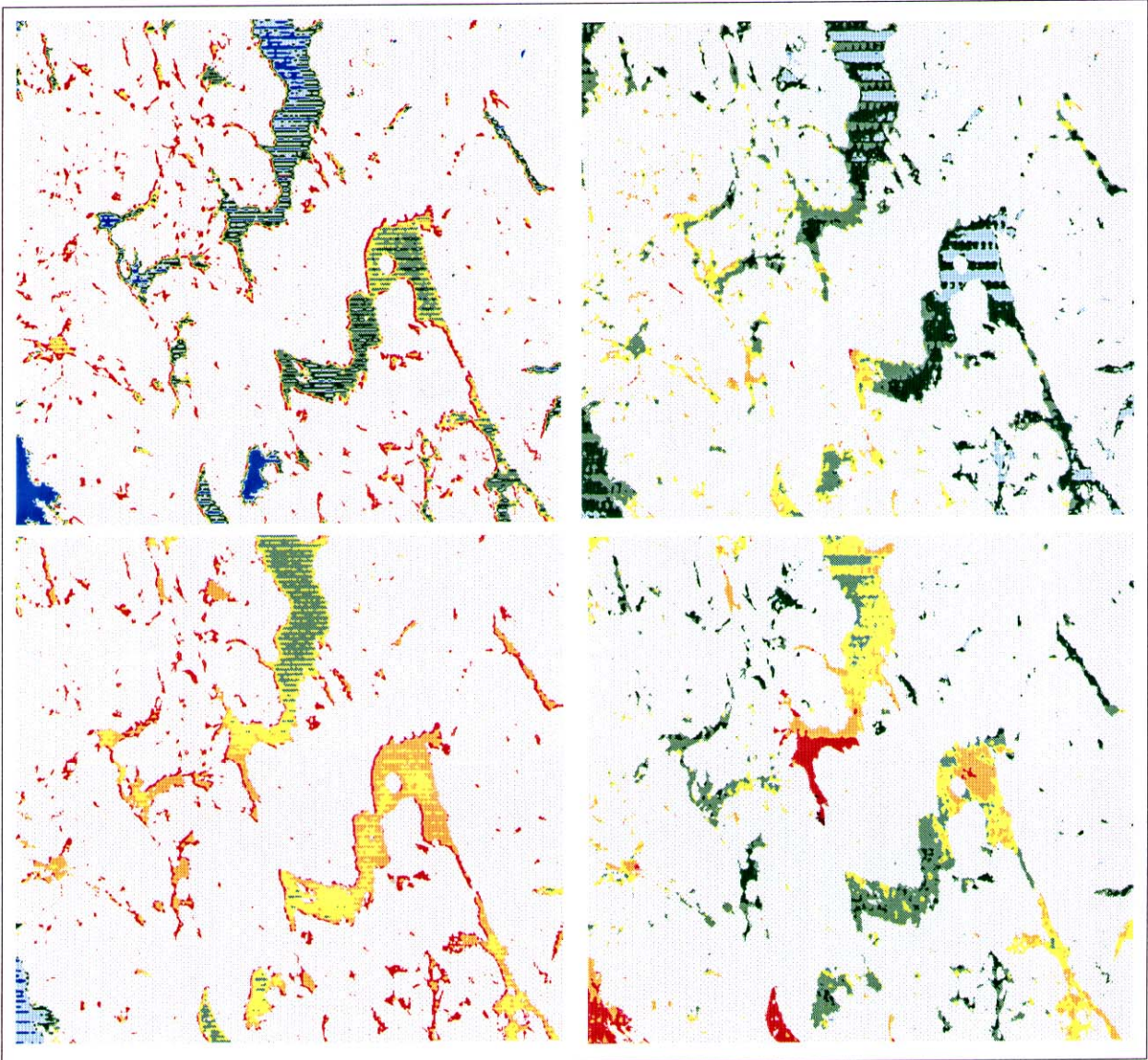
Dette delområdet (**Figur** ) dekker Ålefjorden og Skjoldafjorden, samt innsjøene i området. Satellittdatene fra mai og juni er uten skypåvirkning, mens septemberbildet er utelatt pga skyer.

Både i mai og juni er det høyere temperatur innerst i **Ålefjorden** som kan bety at det her er noe dårligere vannutskiftning. Partikkelkonsentrasjonen er også høyere, og i juni var siktedypet meget lavt og mindre enn 2 m. Det synes som om de helt innerste deler er preget av noe utslipp i og med at det her er en økning i partikkelmengden, og det er mulig at dette må tilskrives utslipp fra land.

I **Skjoldafjorden** har de innerste deler av fjorden en lavere temperatur enn den sentrale delen. De to datoene viser to ulike fordelinger av partikler. I mai var det tydelig mest partikler innerst, mens i juni var det en høyere partikkelkonsentrasjon i de sentrale deler av fjorden.

Skjoldafjorden har endel kloakkutslipp, og det har til tider vært eutrofipoblemer med utvikling av hydrogensulfid pga stor organisk belastning. På grunn av dette har det har vært eksperimentert med fjordforbedringstiltak uten resultat. Som man også ser av satellittbildene så gjør de topografiske forholdene (terskel) at det blir en dårlig vannutskiftning.





**Figur 26.** Satellittbildet over Ålefjorden og Skjoldafjorden for 22. mai (øvre) og 23. juni 1995 (nedre). Bildene viser temperatur (venstre) og partikler (høyre).

## 5. Konklusjoner og anbefalinger

Resultatene fra denne undersøkelsen, ved bruk av data fra jordressurssatellitten Landsat-5 for å kartlegge vannkvaliteten i Boknafjordområdet, viser at det ligger en god del miljøinformasjon i slike data. Av de tilgjengelige jordressurssatellittene benyttes Landsat fordi den også har en temperaturkanal som er viktig i kystvannsstudier. Dataene fra denne satellittsensoren har gitt ny kunnskap om dette komplekse fjordsystemet hvor det er så store og variable ferskvannstilførsler med tildels store partikkelmengder.

Jordressurssatellitter er, som det fremgår av navnet, tilpasset kartlegging av landjorda og har ikke tilstrekkelig følsomhet for å måle på de svake signalene som kommer fra vann. Dette, sammen med hyppig skydekke og de begrensede mulighetene sensoren har for å foreta atmosfærekorreksjon, gjorde at man ikke fikk så mye informasjon som man hadde forventet ut fra tidligere erfaringer fra andre områder. Atmosfærebidraget var spesielt stor ved flere av disse situasjonene, og pga at kvalitetskontroll-systemet med bruk av digitale Quick-look ikke fanget godt nok opp at det var tynne skyer i området, skapte dette problemer for datakvaliteten og tolkningen. Bruk av data fra ett og samme årstall forårsaket at mengden tilgjengelige gode satellittscener ble redusert. Man må forsøke å benytte alle tilgjengelige data å koordinere feltnålinger med satellittdata i forkant av igangsettelsen av overvåkningsprosjekter.

Tross disse problemene og begrensningene er det fremkommet ny miljøinformasjon, bl.a. om ferskvannsføremstenedes influensområder og transportveier i Boknafjordområdet. Videre er det vist at enkelte områder har store variasjoner i både termiske og optiske egenskaper som skaper varierende partikkel-belastning og blanding av vannmasser. Slike blandingssoner med vannmasser med ulike fysisk/kjemiske egenskaper kan forårsake uønskede algeoppblomstringer. Det er også vist at enkeltområder kan være utsatt for stor partikkelbelastning (eks. Hylsfjorden, Lysefjorden) og at andre områder kan ha lokale utslipp (Ålefjorden). Ved ett tilfelle i ett lite område i Høgsfjorden fikk man sansynligvis registrert en mindre algeoppblomstring (Høgsfjorden).

Store deler av Boknafjordområdet har lite partikler og relativt klart vann, og sensoren på Landsat-5 greier ikke å skille mellom vannmasser når f.eks. siktedypet er  $> 6-8$  meter. I områder med mindre sikt så viser datene veldig godt de områder hvor store ferskvannstilførsler transporteres utover i fjordsystemet og trenger inn i andre fjordarmer, f.eks. at vann fra Sandsfjordssystemet spres inn i Vindafjorden.

I de trange fjordarmene med de høye fjellene gjør skyggeeffektene på vannflaten at radiansen blir for lav sammenlignet med hva den skal være for en solopplyst vannflate. Når man skal definere en terskelverdi for radiansen som skal brukes for å maske vekk landområdene så blir denne satt for lavt på grunn av skyggene og vanskeliggjør maskingen av land. Visse områder kan også få for høy reflektans på grunn av snø/is, og dette kan forårsake hystereseeffekt i sensoren fordi den har gått i metning. Dette kan gi større stripeeffekter og støy i dataene. Dette kan også være et resultat av at satellitten har vært i drift utover sin tiltenkte levetid.

For to av situasjonene var det tilgjengelig feltdata slik at man kunne foreta en tilnærming av dataene til siktedypsverdier. Det er også vist at man kan benytte satellittdataene for å ta ut statistisk informasjon om f.eks. arealdekning til en vannkvalitetsvariabel eller ta ut data for presentasjon på andre måter enn rene bilder. Dette muliggjør studier av fenomener og data på en ny og utvidet måte.

De ulike situasjonene viste for mai store gradienter i temperatur og partikkelbelastning, men samtidig også store problemer med atmosfære ved kysten som gjorde at området rundt Skudenesfjorden ikke kunne tolkes. I juni fikk man frem en situasjon med stor utstrømning fra Boknafjorden som sansynligvis var generert av kraftige vinder, og man fikk frem de klare transportmønstre av vannmasser fra Sandsfjordsystemet og inn i Vindafjorden. I september var det mye skyer som ødela tolkningen av dataene over store områder.

Åtte mindre delområder ble plukket ut for en mer detaljert studie av fenomener og vannkvalitet. Her kan trekkes frem at satellittbildene over Hylsfjorden viser meget tydelig influensområdene for de store ferskvannstilførslene i det nordlige området av regionen. Store områder er også påvirket av partikler. Satellittbildene illustrerer meget godt den transporten ferskvannet tar fra Sandsfjorden og inn i Vindafjorden. Når man vet at i disse vannmassene har det forekommet *Prymnesium* så vil satellittbildene vise en mulig transportvei av *Prymnesium*-holdige vannmasser. Oppdrettsanlegg i slike områder er derfor i faresonen for å bli utsatt for giftige alger.

Det er også mulig å se at vannpakker med opphav i Sandsfjorden kan transporteres syd og sydøstover mot Ombo og de fjordene som ligger her. Videre ser man at satellittdataene registrerer godt ulike termiske og optiske soner med antatt ulike fysiske og kjemiske egenskaper i Erfjorden, Jøsenfjorden og området rundt Ombo. Her er det store konsentrasjoner av oppdrettsanlegg som berøres av vekslende vannkvaliteter.

Lenger sydover i Høgsfjorden, Frafjorden, Idsefjorden og Lysefjorden finner man også store gradienter i optiske og termiske egenskaper som skyldes store ferskvannsavrenninger eller vindstyrte oppstuvings- eller "oppwellings"-fenomener. Lenger vest mot Stavangerområdet er ikke gradientene så store pga av ferskvannstilførsler, men man ser tydelige kontraster i termiske forhold som kan knyttes til utveksling av vannmasser mellom kyststrømmen og vann fra Boknafjorden. Nordover fra Boknafjorden og inn i Skjoldafjorden kunne man studere mer lokale forhold og mindre utslipp som innerst i Ålefjorden.

De data og satellittbilder som er fremstilt, bør sammen med lokale kunnskaper og andre målinger fra området gi ny informasjon for miljøforvaltningen. Satellittdataene kan bidra til å tolke og gi bedre forståelse av de fysiske/kjemiske punktmålinger som er foretatt i området. Den detaljeringsgraden som satellittdataene har, gir kunnskap om området som kan brukes for å trekke riktige konklusjoner ut fra et forvaltningssynspunkt.

De fremtidige satellittsensorene som kommer de nærmeste årene, vil med en riktig bruk og utnyttelse bidra til bedre kunnskaper om våre vannressurser. Disse satellittene har sensorer tilpasset målinger i vann. Det er foretatt betydelige tekniske forbedringer for at disse sensorene skal gi bedre kvalitet på de dataprodukter man ønsker å fremstille for bruk til overvåkningsformål.

## 6. Referanser

- Bokn, T., T.M. Johnsen, J. Knutzen, E. Lømsland, F. Moy, K. Nygaard og B. Rygg, (1996). Resipientundersøkelser 1995 i sjøområdene rundt Stavangerhalvøya. NIVA rapport 3493-96.
- Doerffer, R., K. Sørensen, and J. Aiken, (1995). MERIS: Potential for coastal zone application. RSS95. Remote Sensing in Action. Proceedings of the 21st Annual Conference of the Remote Sensing Society, Southampton September 1995.
- Faafeng, B., P. Brettum, D. Hessen, (1990a). Landsomfattende undersøkelser av trofitalstanden i 355 innsjøer i Norge. NIVA rapport 2355.
- Faafeng, B., D. Hessen, og P. Brettum, (1990b). Landsomfattende trofiundersøkelser av innsjøer. Oppfølging av 49 av 355 undersøkte innsjøene i 1989. NIVA rapport 2476.
- Faafeng, B., (1998). Datarapport 1997. Landsomfattende undersøkelse av trofitalstanden i norske innsjøer. O-91050. 28.01.98.
- Golmen, L.G., H. Svendsen og S. Mikki, (1989). Straumtilhøve og vassutskifting i Sandsfjorden og Hylsfjorden i Ryfylke. Norsk Fikseoppdrett Nr. 11 1989.
- Johnsen, T.M., (1997). Blomstringene av *Prymnesium* i Ryfylke i perioden 1989-95. Sammenstilling av data. Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen Fase II. Rapport nr 26. 23 sider.
- Kaartveit, S., T.M. Johnsen, D.L. Aksnes, U. Lie og H. Svendsen, 1990. Giftalgen *Prymnesium parvum* i Ryfylkefjordene, juli - august 1989. Institutt for marinbiologi, Universitet i Bergen. Rapport nr. 2 1990.
- Martinussen, I., T.M. Johnsen og E. Lømsland. (1996). Prymnesium i Ryfylke 1995. Fisken og Havet. No. 10 - 1996.
- Magnussen, J. og K. Sørensen, (1993). Overvåkning av Hvaler/Singlefjorden og Ringdalsfjorden 1990/91. Overflatelagets vannkvalitet. NIVA rapport 2918.
- Magnussen, J. og K. Sørensen, (1996). Overvåkning av Hvaler/Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990- 1994. Overflatevannets vannkvalitet og oksygenforholdene i dypvannet. NIVA rapport 3538-96.
- Svendsen, H., S. R. Mikki and L.G. Golmen, (1991). Frontal dynamics and circulation of the upper layer of a fjordsystem with complicated topography. Estuarine and Coastal Modeling. 2<sup>nd</sup> International Conference/WW Dic. ASCE. Tampa, Florida/Nov. 13-15 1991.
- Sørensen, K., B. Faafeng, og S. R. Erga, (1991). Fjernmåling av vannkvalitet. - Evaluering av anvendelsesområder for satellitt og flybårne sensordata for overvåkning av vannkvalitet. NIVA rapport 2567.
- Sørensen, K., E. Aas, B. Faafeng, og T. Lindell, (1993). Fjernmåling av vannkvalitet - Videreutvikling av optisk satellittfjernmåling som metode for overvåkning av vannkvalitet. NIVA rapport 2860.

Sørensen, K., J. Magnusson, og G., Severinsen, (1998). Monitoring water quality using optical remote sensing data. Proceedings from the 27<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment. Tromsø 8-12 June 1998.

## **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 3893-98

ISBN 82-577-3479-9