



2407
Statlig program for
forurensningsovervåking

Rapport 405/90

Oppdragsgiver

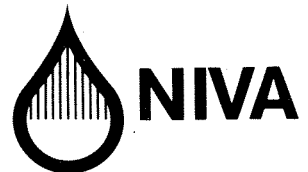
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjoner

NIVA
Institutt for geofysikk, UiO
Centrum för bildanalys

Eutrofi- situasjonen i YTRE OSLOFJORD 1989

DELPROSJEKT 4.6a
Optiske målinger





Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør
grunnvann
vassdrag og fjorder
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.

registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.

påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.

over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utlipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo 1, tlf. 02 - 65 98 10.

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor
Postboks 33, Blindern
0313 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 5
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.: 0-8907505
Undernummer:
Løpenummer: 2407
Begrenset distribusjon: Åpen

Rapportens tittel: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.6a. Optiske målinger. (Overvåkingsrapport nr. 405/90)	Dato: 30. april 1990
Forfatter (e): Kai Sørensen Eyvind Aas Tommy Lindell	Rapportnr. 0-8907505
	Faggruppe: Analyse
	Geografisk område: Oslofjorden
	Antall sider (inkl. bilag): 50

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) (Statlig program for forurensningsovervåking)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Fjernmåling og feltobservasjoner i 1989 bekrefter den overflateutbredelsen av de forskjellige vanntypene som ble observert i 1988. På østsiden av Oslofjorden ble Glomma-vann observert så langt nord som Eldøya (Larkollen), og Drammensfjorden kunne spores forbi Horten. Skagerrakvann ble observert til Torbjørnskjør. Metoder for å anslå lysforholdene i overflatelaget ut fra fargeindeks og satellitt-observasjoner blir diskutert. På den enkelte stasjon kan det være avvik mellom observert og beregnet verdi, men i middel for et område synes verdiene å stemme bra overens. I Breidangen og Bastøyområdet blir 1%-lysdypet beregnet til å ligge rundt 14 meters dyp i middel, i Hvalerområdet ved 5 m, mens det i Ytre Midtfjorden ligger rundt 13 m og i Skagerrak 23 m.
--

4 emneord, norske:

1. Oslofjorden
2. Fargeindeks
3. Irradians
4. Fjernmåling
5. Overflatestrømmer

4 emneord, engelske:

1. Oslofjord
2. Colour index
3. Irradiance
4. Remote sensing
5. Surface currents.

Prosjektleder:

Kjell Baalsrud

For administrasjonen:

Tor Bokn

ISBN 82-577-1694-4



Statlig program for forurensningsovervåking

EUTROFISITUASJONEN I YTRE OSLOFJORD 1989

Delprosjekt 4.6a.

Optiske målinger

Dato: 30. april 1990.

Prosjektleder: Kjell Baalsrud, NIVA

Forfattere : Kai Sørensen, NIVA

Eyvind Aas, UIO

Tommy Lindell, CFB

Medarbeidere: Tormod Andresen, UIO

Terje Løyning, UIO

Jakob Nisell, CFB

Gunnar Severinsen, NIVA

FORORD

Dette er en delrapport i en større undersøkelse av Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord.

Prosjektet utføres for Statens forurensningstilsyn av Norsk Institutt for Vannforskning i samarbeid med Universitetet i Oslo (UIO), VERITEC og Centrum för bildanalys (CFB). Resultatene av samtlige delundersøkelser vil til slutt bli sammenholdt og skal danne basis for en sammenfattende hovedrapport. De enkelte delundersøkelser blir behandlet og rapportert på sine premisser og vil bare i liten grad kunne trekke inn resultater fra de andre delundersøkelsene.

Delprosjektet "Optiske målinger" rapporteres i to deler. Denne rapporten tar for seg optiske feltmålinger og fjernmåling. I en annen rapport skal fjernmålingsdataene benyttes for verifikasjon av modellresultater i samarbeid med Veritec og Centrum för bildanalys.

Vi vil takke mannskapene på forskningsfartøyene "Trygve Braarud" og "G.M.Dannevig", og på fartøyet "Hankø" fra Gressvik for god innsats under toktene. Vi er takk skyldig til forskerne ved Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, for anledning til å utføre målinger på deres tokt i Skagerrak. Lasse Petterson ved Nansensenteret for Fjernmåling takkes for samarbeidet og koordineringen med et prosjekt for testing evaluering av flybårne spektrometere (NORSMAP'89). Jim Gower fra "Institute of Ocean Sciences", Sidney, Vancouver, B.C. takkes for assistanse under disse toktene.

Niels K. Højerslev og Henning Hundahl ved Geofysisk Institut, Københavns Universitet har konstruert fargeindeksmeteret og også på andre måter støttet arbeidet. Irradians og fargeindeks er målt i Ytre Oslofjord av Tormod Andresen (UIO), og i Skagerrak av Terje Løyning (UIO). Personell ved Esrange, Kiruna og Tromsø Satellittstasjon har bidratt med opplysninger om satellittdataene og raske dataleveranser. Mats Rosengren ved Svenska Rymdaktiebolaget har bidratt med opplysninger og data angående kalibrering, og Gunnar Severinsen (NIVA) og Jakob Nisell (CFB) har foretatt bildebehandling. Prosjektet er takk skyldig til alle disse.

Kjell Baalsrud
prosjektleder

INNHOOLD

	side:
FORORD.....	1
SAMMENDRAG	5
1. INNLEDNING.....	8
1.1. Prosjektets bakgrunn.....	8
1.2. Prosjektets målsetting.....	9
2. OPTISKE STØRRELSER, INSTRUMENTER OG METODER.....	11
2.1. Fjernmåling.....	11
2.2. Fargeindeks.....	11
2.3. Irradians.....	12
2.4. Andre observerte størrelser.....	13
3. FELTARBEIDE.....	13
4. FELTOBSERVASJONER I 1989.....	19
4.1. Observasjoner i mai.....	19
4.2. Observasjoner i juni.....	23
4.3. Observasjoner i juli.....	25
5. FJERNMÅLING.....	28
5.1. Satellittdata fra 1988.....	28
5.2. Satellittdata fra 1989.....	28
6. ESTIMERING AV LYSKLIMA.....	32
6.1. Estimering ved fargeindeks.....	32
6.2. Estimering ved fjernmåling.....	34
6.3. Geografisk variasjon av den eufotiske sonen.....	41
7. MULIGHETER FOR FORBEDRING AV RESULTATENE.....	44
8. LITTERATURLISTE.....	46
9. VEDLEGG	
A. STATISTISKE RELASJONER MELLOM OPTISKE STØRRELSER	48
A.1. Relasjoner mellom fargeindeks og irradians.....	48
A.2. Z(1%) beregnet ut fra fargeindeks og siktedyp.....	49
A.3. Relasjoner mellom L(sat) og L(sjø).....	49

FIGURER

Figur 1.	Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, mai 1989.....	15
Figur 2.	Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, juni 1989.....	16
Figur 3.	Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, juli 1989.....	17
Figur 4.	Stasjonsoversikt for Skagerrak, mai-juli 1989.....	18
Figur 5.	Feltobservasjoner 16. mai 1989 i Ytre Oslofjord.....	20
Figur 6.	Feltobservasjoner 23. mai 1989 i Ytre Oslofjord.....	22
Figur 7.	Feltobservasjoner 8., 10. og 24. juni 1989 i Ytre Oslofjord.....	24
Figur 8.	Feltobservasjoner 3. juli 1989 i Ytre Oslofjord.....	26
Figur 9.	Feltobservasjoner 19.-21. juli 1989 i Skagerrak	27
Figur 10.	Relativ fordeling av tilbakespredt blå radians (450- 520 nm) i Breidangen/Ytre Oslofjord 10. juni 1989. (Lyst er lav og mørkt er høy verdi). Bildebehandling ved NIVA og Centrum för bildanalys.....	29
Figur 11.	Relativ fordeling av tilbakespredt blå radians (450- 520 nm) i Ytre Oslofjord/Skagerrak 10. juni 1989. (Lyst er lav og mørkt er høy verdi). Bildebehandling ved NIVA og Centrum för bildanalys.....	31
Figur 12.	1%-dypet som funksjon av fargeindeks i 1 meters dyp, fra målinger i Oslofjorden og Skagerrak i 1988-89.....	33
Figur 13.	1%-dypet som funksjon av fargeindeks i overflaten, fra målinger i Oslofjorden og Skagerrak i 1988-89.....	34
Figur 14.	1%-dypet som funksjon av radiansen på sensorene TM1, TM2 og TM3 i Landsat-5, 10. juni 1989. Radians- benevning er $W/(m^2 \mu m sr)$	35
Figur 15.	Radians på sensoren TM1 som funksjon av midlet radians i overflaten, og radians på sensoren TM2 som funksjon av radians ved 520 nm i overflaten, 13. mai og 1. august 1988. Radiansbenevning er $W/(m^2 \mu m sr)$	37
Figur 16.	Radians i overflaten, beregnet ut fra satellittradians, som funksjon av observert radians ved 450 og 520 nm. Radiansbenevning er $W/(m^2 \mu m sr)$. De stiplede linjene er $y=x$	39
Figur 17.	Fargeindeks i overflaten, beregnet ut fra satellitt- radians, som funksjon av observert fargeindeks. Den stiplede linjen er $y=x$	40
Figur 18.	1%-dypets beliggenhet, gitt i meter, i forskjellige områder av Oslofjorden og Skagerrak. (Tallene i paren- tes er standardavvik for de enkelte områdene).....	43

TABELLER

	side:
Tabell 1. Sammenligning av beregnet L(atm) og observert L(sat,min) for 13. mai og 1. august 1988 i Ytre Oslofjord.....	38
Tabell 2. Sammenligning av observert og beregnet fargeindeks i overflaten for områder i Ytre Oslofjord og Skagerrak.....	40
Tabell 3. Midlere beliggenhet av 1% lysdyp i Oslofjorden og Skagerrak.....	41
Tabell 4. Midlere beliggenhet av 1% lysdyp i vestre og østre deler av Ytre Oslofjord.....	42

SAMMENDRAG

Formål

Prosjektet i 1989 videreførte målsettingen fra prosjektet i 1988 om å benytte fargeindeks og satellittdata for å vurdere horisontal utbredelse og blanding av overflatevannmassene i Ytre Oslofjord, og for å anslå nedre voksegrense for fastsittende alger og planteplankton.

Det ble tatt sikte på å anskaffe to nye høyoppløselige satellittscener i 1989, og benytte inntil fem scener med termiske værsatellittdata. Disse scenene ville bidra til å gi en mer fullstendig kartlegging av de forskjellige vanntypenes utbredelse i området. Satellittdataene skulle også sammenlignes med Veritecs numeriske strøm-modell. Denne verifikasjonen rapporteres for seg.

Programmet for 1989 hadde som sitt primære mål å finne fram til korrelasjoner mellom fargeindeks og fjernmålingsdata fra satellitt. Det var videre ønskelig å bestemme relasjoner mellom fargeindeks og lysforholdene i Skagerrak, siden dette tilstøtende området er med på å skape den variasjon som observeres i Ytre Oslofjord.

Konklusjoner

Observasjonene bekrefter den utbredelsen som ble funnet i 1988 av de forskjellige vanntypene i overflaten, med noen nye trekk: Glommavann sprer seg nordover på østsiden av Oslofjorden og ble i 1989 observert så langt nord som til Eldøya (Larkollen). Drammensfjordvann kan spores over Breidangen og forbi Horten til Bastøy. Skagerrakvann er ikke observert lenger nord enn Færder-Torbjørnskjær. I Skagerrak skiller Den norske kyststrømmen seg ut fra det øvrige overflatevannet ved lavere saltholdighet, grønnere farge og dårligere lysforhold. Vannet som kommer inn fra Nordsjøen er saltere, mer blått og klarere enn det omliggende vann i Skagerrak.

Feltmålinger utført i mai-juli viste lave konsentrasjoner av suspendert materiale i Glomma. Øket planktonproduksjon ble også i 1989 funnet i nærområdene til Glomma og i Drammensfjordvann. Satellittdataene registrerte i juni en algeoppblomstring i overgangen mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak.

Irradians ble i 1989 målt sammen med fargeindeks på 13 stasjoner i Indre og Ytre Oslofjord og på 15 stasjoner i Skagerrak. Disse observasjonene gir sammen med målingene fra 1988 sammenhenger som

avviker noe fra dem som ble oppnådd i 1988 for Indre fjord alene. I Ytre Oslofjord møtes flere optisk forskjellige vanntyper, og det blir derfor en større spredning i resultatene.

Nedre voksegrense for fastsittende alger og planteplankton antas vanligvis i middel å tilsvare det dypet der man har igjen 1% av overflatens irradians. Direkte målinger, supplert med estimater av irradians fra fargeindeksmålinger, har gitt midlere beliggenhet av 1%-dypet for forskjellige deler av Oslofjorden. I Indre fjord ligger 1%-dypet i middel på rundt 10 meters dyp, i Breidangen og Bastøyområdet øker dybden til 14 m, mens den avtar igjen i Ytre Midtfjorden til 13 m. I Hvalerområdet ligger 1%-dypet i middel rundt 5 m, og i Skagerrak rundt 23 m. Dette er basert på målinger i perioden mai-august. Resten av året kan vannet være vesentlig klarere, men til gjengjeld vil solhøyden være lavere. Hvordan kombinasjonen av klarere vann og den lavere solhøyden slår ut på beliggenheten av 1%-dypet vites ikke.

Radiansmålinger i sjøen med fargeindeksmeteret synes å være godt korrelert med radians målt med TM-sensoren på Landsat-5 satellitten når forholdene i atmosfæren er gode og konstante. Det er vist hvordan en kombinasjon av de to målemetodene gjør at bidraget til satellittens radians fra atmosfæren kan bestemmes. Dette er nødvendig for å beregne irradians i sjøen ut fra fjernmåling. Det hadde imidlertid vært ønskelig med en metode som kunne bestemme dette bidraget uten å gå veien om fargeindeksmålinger. Forsøk på å bestemme midlere fargeindeks for et område ut fra satellittmålinger viser god overensstemmelse med direkte målinger når det er egnede atmosfæreforhold.

Gjennomføring

Feltarbeidet ble lagt opp for å dekke den flerdelte målsettingen. Mens skipskursene i 1988 ble trukket opp i et tildels sikk-sakk-lignende mønster for å finne grensene til de forskjellige vanntypene, så ble de i 1989 lagt mer rettlinjet for å få god datadekning til sammenligningen mellom felt- og fjernmålingsdata. Dette reduserte skipstiden og omkostningene. Ulempen med et slikt opplegg er at hvis satellittmålingene svikter, blir kartleggingen dårligere.

Det ble gjennomført 7 tokt i Ytre Oslofjord og 4 i Skagerrak i 1989, med i alt 139 stasjoner. Toktene ble koordinert med satellittpasseringer, og i mai ble feltarbeidet samkjørt med et prosjekt for testing og evaluering av flybårne spektrometere (Petterson og medarb., 1990). I tillegg er observasjoner fra 2 tokt i Indre Oslofjord benyttet. I denne rapporten skulle bare høyoppløselige data med synlig radians benyttes, og på grunn av vanskelige værforhold

og tekniske problemer med fargeindeksmeteret den 3. juli har bare data fra 10. juni 1989 blitt anskaffet og bearbeidet. Disse data er også anvendt i verifikasjon av resultater for en numerisk strøm-modell (Sørensen og medarb., 1990c), sammen med andre satellittdata.

Det har vært lagt spesiell vekt på å bestemme beliggenheten til det dyp der antallet fotosyntetisk aktive lyskvanter er redusert til 1% av overflateverdien. To indirekte metoder har i den forbindelse blitt undersøkt og anvendt: - måling av fargeindeks og fjernmåling fra satellitt.

1. INNLEDNING

1.1. Prosjektets bakgrunn

I 1988 samarbeidet NIVA, Institutt for geofysikk og Centrum för bildanalys i delprosjektet "Optiske observasjoner - Overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget og fjernmåling". Hensikten var hovedsakelig å studere utbredelsen i overflatelaget av de forskjellige vanntypene i Ytre Oslofjord, både ved in situ-målinger med et fargeindeksmeter, ved andre feltmålinger og analyser og ved fjernmåling fra satellitt. Muligheten for å bestemme andre egenskaper ved vannet ut fra de optiske metodene skulle også studeres.

Resultatene fra delprosjektet er beskrevet i to rapporter for 1988-prosjektet (Sørensen og Lindell, 1990a, Aas og medarb., 1990). Her summeres kort de hovedpunktene som har hatt betydning for prosjektet i 1989:

Det ble funnet interessante overensstemmelser mellom de strømvirvler som kunne sees i satellittbildene og de strømvirvler som Veritecs numeriske strøm-modell ga for samme situasjon (Røed og Skåtun, 1990).

Fargeindeksmeteret, som kan brukes bare solhøyden er over 15° og sjøen ikke for grov, viste seg å være et velegnet instrument til å kartlegge utbredelsen av forskjellige vanntyper i overflatelaget. Resultatene stemte godt overens med de bildene som fjernmålingen viste. Satellittdataene ga gode sammenhenger med konsentrasjonen av suspendert materiale og var viktige i tolkningen av Glomma- og Drammensfjordvannets influensområde.

Glomma- og Iddefjordvann påvirket et område som strakte seg fra Larkollen/Rauøy i nord til Bolærne/Færder i vest og til Kosterøyene i sør. Vann fra Drammensfjorden påvirket i hovedsak områdene fra de vestre delene av Breidangen til noe syd for Bastøy. Det ble ikke observert Skagerrakvann lenger nord enn Færder i overflaten, selv under gunstige vindforhold.

Fargeindeks måles fra båt på en og en stasjon i overflaten, mens satellittbildene gir et sammenhengende og samtidig bilde av forholdene, og ofte over et mye større område og med flere detaljer. Til gjengjeld krever fjernmåling nærmest skyfrie forhold, hvilket gjør metoden mindre egnet for overvåking til faste tidspunkt. Det ble funnet at en kombinasjon av de to metodene ved kartlegging var meget gunstig.

Den eufotiske sonen i havet defineres som det laget der antallet lyskvanter i ethvert dyp er så stort at fotosyntesen kan gi en netto algevekst større enn null, under forutsetning av at næringstilgangen ikke virker begrensende. Tykkelsen av dette laget vil være forskjellig for forskjellige algearter, og kan også variere ut fra algenes tidligere vekstbetingelser. En vanlig antagelse er likevel at nedre grense for den eufotiske sonen i middel for de forskjellige algearter er tilnærmet gitt som det dyp der antallet fotosyntetisk aktive lyskvanter er redusert til 1 % av overflateverdien.

For å kunne vurdere virkningene av eutrofiering i Ytre Oslofjord er det ønskelig å kunne ha en formening om hvor dypt den eufotiske sonen går i de forskjellige områdene. Det beste hadde vært om produksjonen kunne måles direkte med stor nøyaktighet og god representativitet. Men produksjonsmålinger er tidkrevende prosedyrer forbundet med usikkerheter. Et rimelig alternativ vil derfor være å anslå lysklimaet ut fra måling av fargeindeks i overflatelaget. En slik måling er gjort på få minutter. Hvis 1%-dypet også kan anslås ved fjernmåling, vil svært store områder kunne anslås når værforholdene ligger til rette.

For å holde kostnadene nede, og siden et positivt resultat ikke kunne garanteres, ble det ikke gjort egne målinger under 1988-prosjektet for å finne korrelasjoner mellom fargeindeks og lysklima. Derimot utførte Institutt for geofysikk slike målinger i Indre Oslofjord. Disse ga som resultat at fargeindeksen i 1 meters dyp var meget godt korrelert med lysklimaet. Ved å anta at de funne korrelasjonene var gyldige også i Ytre Oslofjord, ble 1%-dypet i dette området anslått.

1.2. Prosjektets målsetting i 1989

Det strømningsmønster som kunne tolkes ut av satellittbildene i 1988 stemte rimelig bra overens med resultatene fra den numeriske modellen til Veritec. Det ble derfor besluttet å sammenligne flere situasjoner for å få en bedre verifisering av modellen. Det ble tatt sikte på å anskaffe 2 nye satellittscener med data for synlig radians i 1989, og inntil 5 scener med temperaturdata. Disse scenene ville samtidig bidra til å gi en mer fullstendig kartlegging av de forskjellige vanntypenes utbredelse i området. Sammenligningen med Veritec-modellen er beskrevet i en annen rapport (Sørensen og medarb., 1990c).

Metoden med stasjonsvise målinger i sjøen av fargeindeks bør som nevnt kombineres med fjernmåling fra satellitt eller fly, hvis det er mulig. Feltmålingene tjener da som kontroll- og kalibreringspunkter for fjernmålingene. Programmet for 1989 har hatt som det primære mål å

finne fram til korrelasjoner mellom de to forskjellige typene av observasjoner.

Feltarbeidet ble lagt opp med dette målet for øye. Mens skipskursene i 1988 ble trukket opp i et tildels sikk-sakk-lignende mønster for å finne grensene til de forskjellige vanntypene, så ble de i 1989 lagt mer rettlinjert for å få tydelige gradienter av de optiske størrelsene til korrelasjonsanalysen. Dette reduserte skipstiden og omkostningene. Ulempen med et slikt opplegg er at hvis satellittmålingene svikter, blir kartleggingen dårligere.

Relasjonene mellom fargeindeks og lysklime som ble funnet for Indre fjord i 1988 syntes å være gyldige uavhengig av tidspunktet på året. Slike relasjoner gjelder ikke nødvendigvis utenfor det området de er oppnådd i. Det var derfor ønskelig å bestemme relasjoner mellom fargeindeks og kvanteirradians i Ytre fjord, basert på målinger i samme område.

Det var også ønskelig å få tilsvarende resultater fra de tilstøtende områdene, siden disse er med på å skape den variasjonen som observeres i Ytre Oslofjord. Det ble derfor planlagt et måleprogram for fargeindeks og irradians i Skagerrak i 1989.

2. OPTISKE STØRRELSER, INSTRUMENTER OG METODER

2.1. Fjernmåling

Satellittdataene som er benyttet i denne undersøkelsen er fra den multispektrale sensoren TM ("Thematic Mapper") ombord i Landsat-5 satellitten. Det benyttes systemkorrigerede data fra Esrange, Kiruna. Bearbejdede satellittdata for 1988 i form av fordelingskart for suspendert materiale (turbiditet) og temperatur er presentert tidligere av Sørensen og Lindell (1990a), og i denne rapporten presenteres satellittdata fra 10. juni 1989. Bearbejdingen av denne scenen er foretatt på et ERDAS PC-basert bildebehandlingsanlegg og bildene er plottet på en Tektronic 4696 "ink-jet" printer.

Det har lenge vært usikkerheter omkring absoluttkalibreringen av TM-sensoren, og i denne undersøkelsen er det foretatt en ny radiometrisk kalibrering av TM-dataene både for 1988 og -89, basert på opplysninger fra Mats Rosengren, Rymdbolaget, Sverige (pers.med.). Disse er benyttet for beregning av spektral radians som igjen er benyttet i sammenligninger med in situ-målinger av fargeindeks, radians og irradians. De tre mest interessante kanalene er den blå kanalen (TM1) som dekker området 450-520 nm, den grønne (TM2) som dekker 520-600 nm og den røde (TM3) med området 630-690 nm. Radiansen betegnes med L og har dimensjon av effekt pr. flate- og romvinkelenhet og pr. bølgelengdeintervall ($W/(m^2 \mu m sr)$). En nærmere beskrivelse av satellittsystemet og sensorene er gitt av Sørensen og medarb. (1990b).

2.2. Fargeindeks

Fargeindeksen er et tall som er ment å uttrykke havets farge. Størrelsen ble innført av Jerlov (1974) som definerte den som forholdet mellom energiene av blått (450 nm) og grønt (520 nm) oppoverspredt lys i havet. Fargeindeksen er derfor et mål på havets "blåhet", slik at jo høyere fargeindeksen er, jo blåere er vannet, og omvendt: jo lavere fargeindeksen er, jo grønnere eller brunere vil vannet være.

Indeksen vil variere med dypet, og vil ved solhøyder over 15° være nærmest upåvirket av endringer i solhøyde, skydekke, vind og sjø; selv om avlesningen blir mer usikker ved større sjøgang. Målingen foregår ved at instrumentet fires ned langs skutesida og signalet avleses. Fargeindeksen er derfor en optisk egenskap som er svært rask og enkel å måle, og følgelig godt egnet for rutineundersøkelser. I denne undersøkelsen ble fargeindeksen målt både i 0.14, 1 og 2 meters dyp. Av indeksen i de to første dypene er verdien i 0 m, rett under

overflaten, ekstrapolert. Fargeindeksen som benyttes i diskusjonen av feltobservasjonene for Ytre Oslofjord i Kapittel 4 er verdien i 0.14 meters dyp, men for Skagerrak ble den ekstrapolerte fargeindeksen i 0 meter benyttet. Disse betegnes hhv. som $F(0.1)$ og $F(0)$ og indeksen i 1 m som $F(1)$.

Fargeindeksen i 1 meters dyp vil for klart, blått havvann være større enn 2.0, med verdier opp mot 3.6 i det aller klareste havvann. For blågrønt havvann vil indeksen ha verdier ned til 0.8, mens den for grønt og brunt kyst- og fjordvann vil ha verdier under 0.8. I klart havvann vil fargeindeksen rett under overflaten være omtrent den samme som i 1 meter, mens den i grumset kystvann vil være noe høyere.

Fargeindeksmeteret er en lysmåler som "ser" rett nedover i vannmassen. Den har sensorer for blått lys (450 nm), grønt lys (520 nm) og mer gulgrønt lys (550 nm). Dette tilsvarer deler av spektralområdet til i Landsat-5 satellitten. I denne undersøkelsen har bare de to første bølgelengdene blitt benyttet. Signalet for hver sensor kan leses av separat, såvel som forholdet mellom dem. Instrumentet er produsert av Dansk Havteknik etter design av Niels Højerslev og Henning Hundahl fra Geofysisk Institut, Københavns Universitet. Kalibrering av radians i absolutte enheter ($W/(m^2 \mu m sr)$) er en omstendelig prosess siden det ikke finnes standarder for radians i Norge. Utvikling og testing av kalibreringsmetoder har krevd ca. 600 timer. Kalibreringen, som er en forutsetning for prosjektet, men ikke inngår i det, ble utført høsten 1989 ved Institutt for geofysikk.

2.3. Irradians

Irradians betegner i denne rapporten vertikal, nedoverrettet fluks av lyskvanter. Irradiansen er integrert spektralt i den delen av spekteret som bidrar til fotosyntesen, fra ca. 400 til 700 nm.

Irradiansen i vann kan uttrykkes relativt til irradiansen rett under overflaten. Denne nullmeterverdien er fremkommet ved å multiplisere irradiansen i luft med 0.93 (Højerslev, 1978). Det er altså antatt at ca. 7% tapes i refleksjon fra overflaten. Ved å tegne opp de målte verdiene i et halvlogaritmisk diagram, med irradiansen langs den logaritmiske akse og dypet langs den lineære, er det lett å finne dypet for 10%, 1%, 0.1% osv. av overflateverdien. Disse dypene betegnes hhv. $Z(10\%)$, $Z(1\%)$ osv.

Irradiansen ble målt med en LI-COR lysmåler med to uavhengige sensorer: en i luft og en i sjøen. Disse ble avlest samtidig i hvert dyp. Standarddypene var: luft, 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m, 7 m osv.

2.4. Andre observerte størrelser

Under toktene ble det målt temperatur og saltholdighet med en salinoterm og siktedyp med en Secchiskive. Svekningskoeffisienten ble bestemt med et Martec transmisjonsmeter ved 520 nm (grønt lys). Vannprøver ble innsamlet for måling av klorofyll-a etter Norsk Standard (NS-4767) med metanolekstraksjon og modifisert med bruk av GFF-filter. Totalt suspendert materiale ble bestemt gravimetrisk ved filtrering gjennom et 0,4 µm Nucleoporefilter, skylning med ca. 100 ml destillert vann med etterfølgende tørking ved ca. 50 °C og veiing på en Sartorius mikrovækt. Turbiditet ble målt nefelometrisk med et Hach turbidimeter etter Norsk Standard og uttrykt i FTU-enheter (Formazin Turbidity Units, NS-4723).

3. FELTARBEID

Det ble i 1989 foretatt måling av fargeindeks og andre optiske størrelser på følgende tokt under prosjektet i Ytre Oslofjord:

16. mai	: Missingen-Færder-Hvaler	(22 stasjoner)
23. mai	: Missingen-Breidangen	(20 stasjoner)
25. mai	: Missingen-Fulehuk-Hvaler	(11 stasjoner)
8. juni	: Missingen-Rauøy (Rauer)	(5 stasjoner)
10. juni	: Missingen-Færder-Hvaler	(7 stasjoner)
24. juni	: Fulehuk-Færder	(5 stasjoner)
3. juli	: Missingen-Sækken-Hvaler	(15 stasjoner)

Samtlige tokt var koordinert med satellittpasseringer. Fartøyet på disse toktene var M/S Hankø fra Gressvik. Målingene den 16. og 23. mai var koordinert med et prosjektet for testing og evaluering av flybårne spektrometere (NORSMAP'89) i samarbeid med Nansensenteret for Fjernmåling (Petterson og medarb., 1990).

Måleprogrammet ble fulgt, og toktene foregikk stort sett som planlagt. Et problem 16. mai og tildels 25. mai var grov sjø (stiv kuling) som umuliggjorde måling av irradians. Forholdene i juni var ikke ideelle, og spesielt 8. og 24. juni var det vanskelige forhold pga. av grov sjø, og det ble tatt få stasjoner. Et påbegynt tokt 17. juni ble avlyst etter 2 timer pga. økende skydekke som ville gitt for dårlige satellittdata.

Feltarbeidet sett under ett hadde mer problemer med været i 1989 enn i 1988, og da spesielt i form av skyer og dis som dukket opp i løpet av dagen. Satellittdataene er derfor ikke av samme førsteklasses kvalitet som i 1988. Ved vurdering av satellittdataene syntes bare registreringene fra 10. juni og til dels fra 3. juli å være brukbare. Data fra den 10. juni har blitt anskaffet og bearbeidet.

Optiske målinger i Skagerrak ble foretatt på følgende tokt:

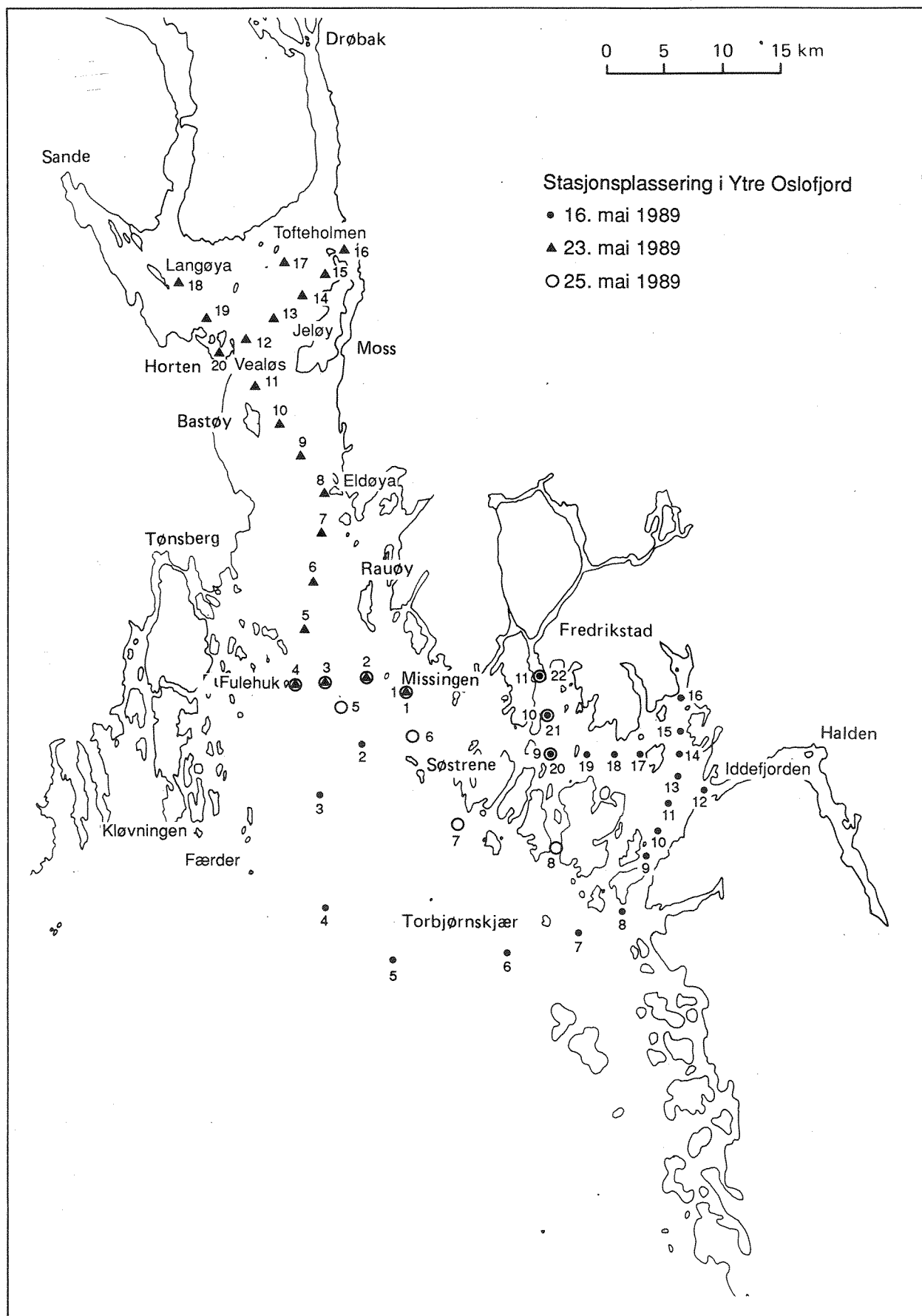
18.-19. mai	: Torungen-Hirtshals	(12 stasjoner)
27. mai	: Stavern-Risør	(8 stasjoner)
14. juni	: Torungen-Hirtshals	(10 stasjoner)
17.-18. juli	: Torungen-Hirtshals	(11 stasjoner)
19.-21. juli	: Tjörn-Skagen-Jomfruland	(13 stasjoner)

Fartøyet på Torungen-Hirtshals- og Tjörn-Jomfrulandsnittet var F/F G.M.Dannevig fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen. På det første mai-toktet var det planlagt målinger østover mot Sverige fra Skagen, men dessverre brøt skipets maskin sammen 20. mai. Målinger ble foretatt på F/F Trygve Braarud fra Universitetet i Oslo den 27. mai mellom Stavern og Risør. Målingene 18., 19. og 27. mai var koordinert med prosjektet NORSMAP'89.

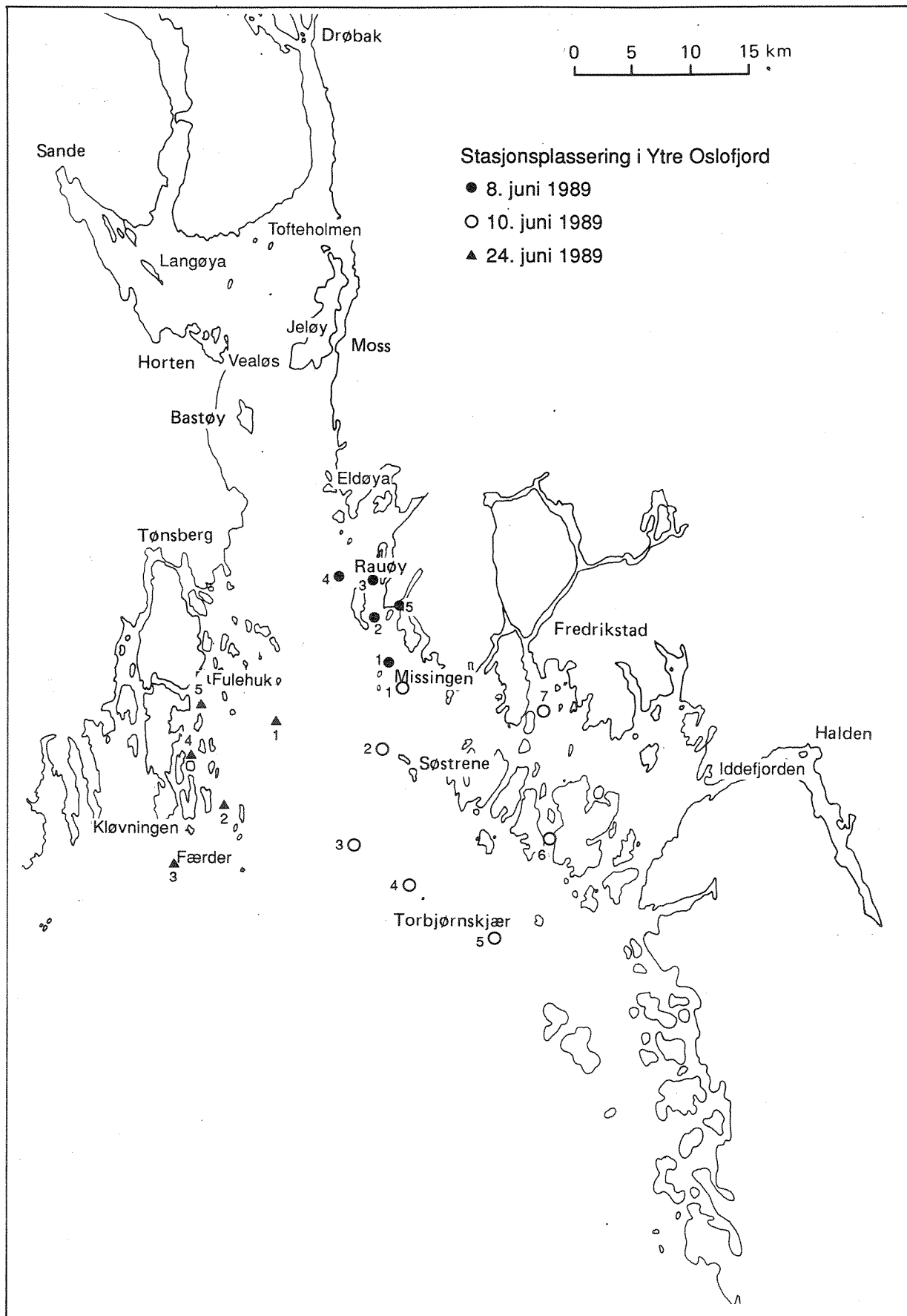
Det var budsjettert med 4 tokt i Ytre Oslofjord, 4 i Skagerrak og 2 i Kattegat, og det var planlagt å anskaffe data fra 2 satellitt-situasjoner i Ytre Oslofjord. På grunn av de vanskelige værforholdene ble det gjennomført hele 7 tokt i Ytre Oslofjord (+ 1 avbrutt). Antall tokt i Skagerrak ble 4 som planlagt med toktet Stavern-Risør i tillegg. Ingen egne tokt ble gjennomført i Kattegat, men snittet Tjörn-Skagen fra den 19. juli dekker den nordlige grensen for dette området. Observasjonsmaterialet anses derfor som tilfredsstillende, og stasjonsplasseringer er vist på Figur 1-4.

Prosjektet har i tillegg benyttet målinger fra følgende tokt ved Institutt for geofysikk:

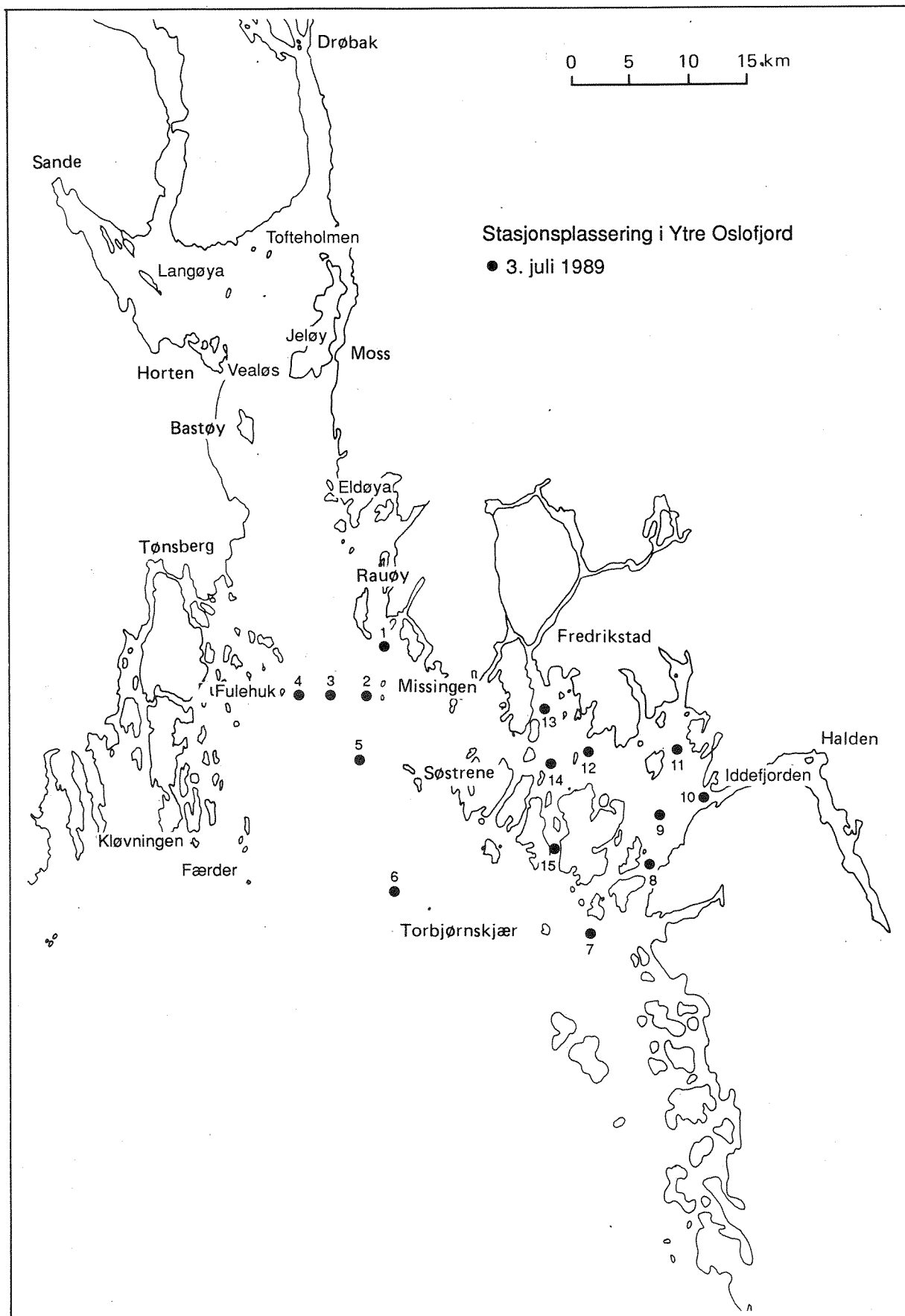
24. mai	: Indre fjord	(2 stasjoner),
19. juni	: Indre fjord	(3 stasjoner).



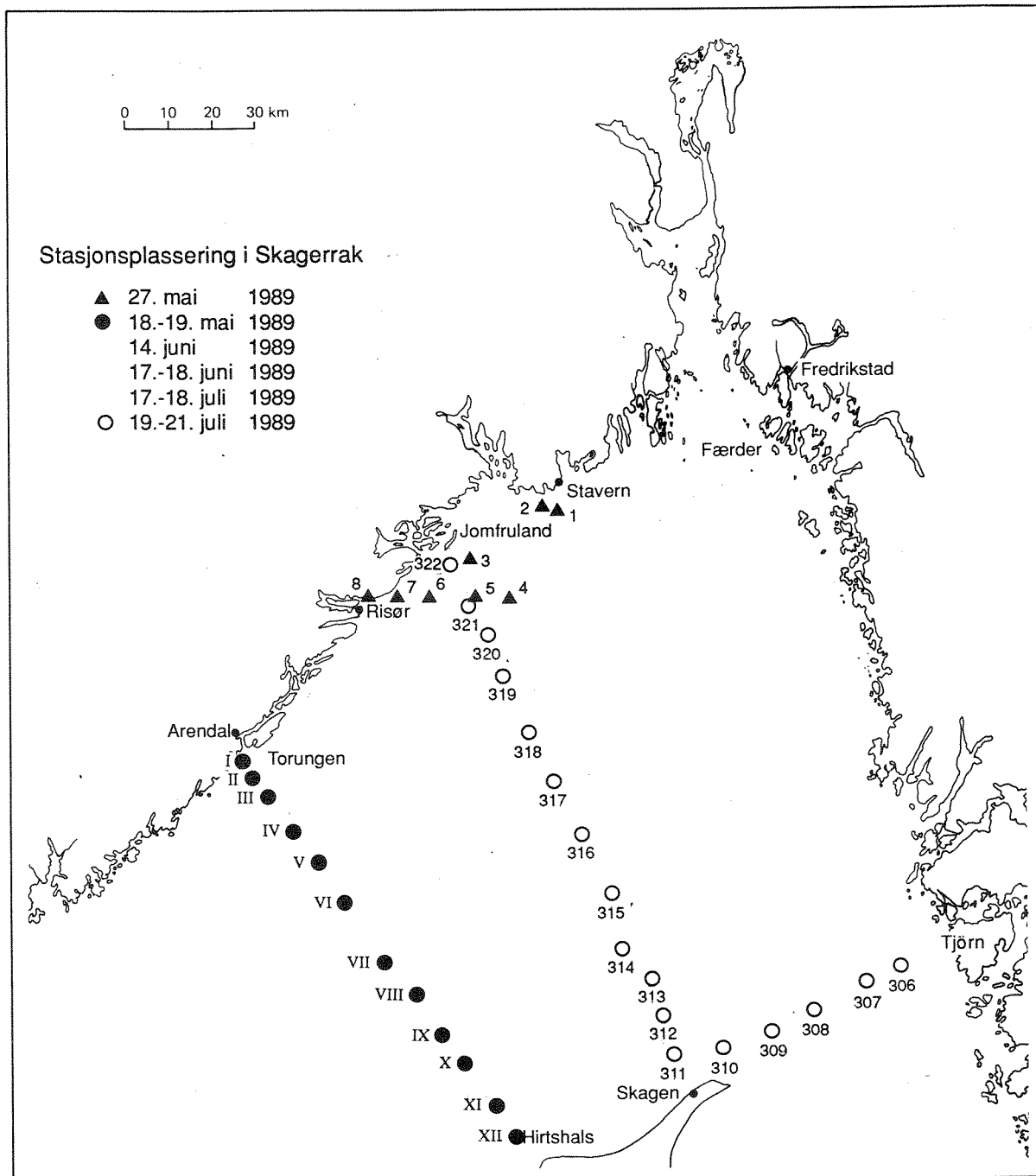
Figur 1. Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, mai 1989.



Figur 2. Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, juni 1989.



Figur 3. Stasjonsoversikt for Ytre Oslofjord, juli 1989.



Figur 4. Stasjonsoversikt for Skagerrak, mai-juli 1989.

4. FELTOBSERVASJONER I 1989

Nedenfor gis en nærmere gjennomgang av feltobservasjoner i Ytre Oslofjord og Skagerrak med en beskrivelse av vannmassenes fordeling i området ut fra data om hydrografiske, kjemiske og optiske størrelser.

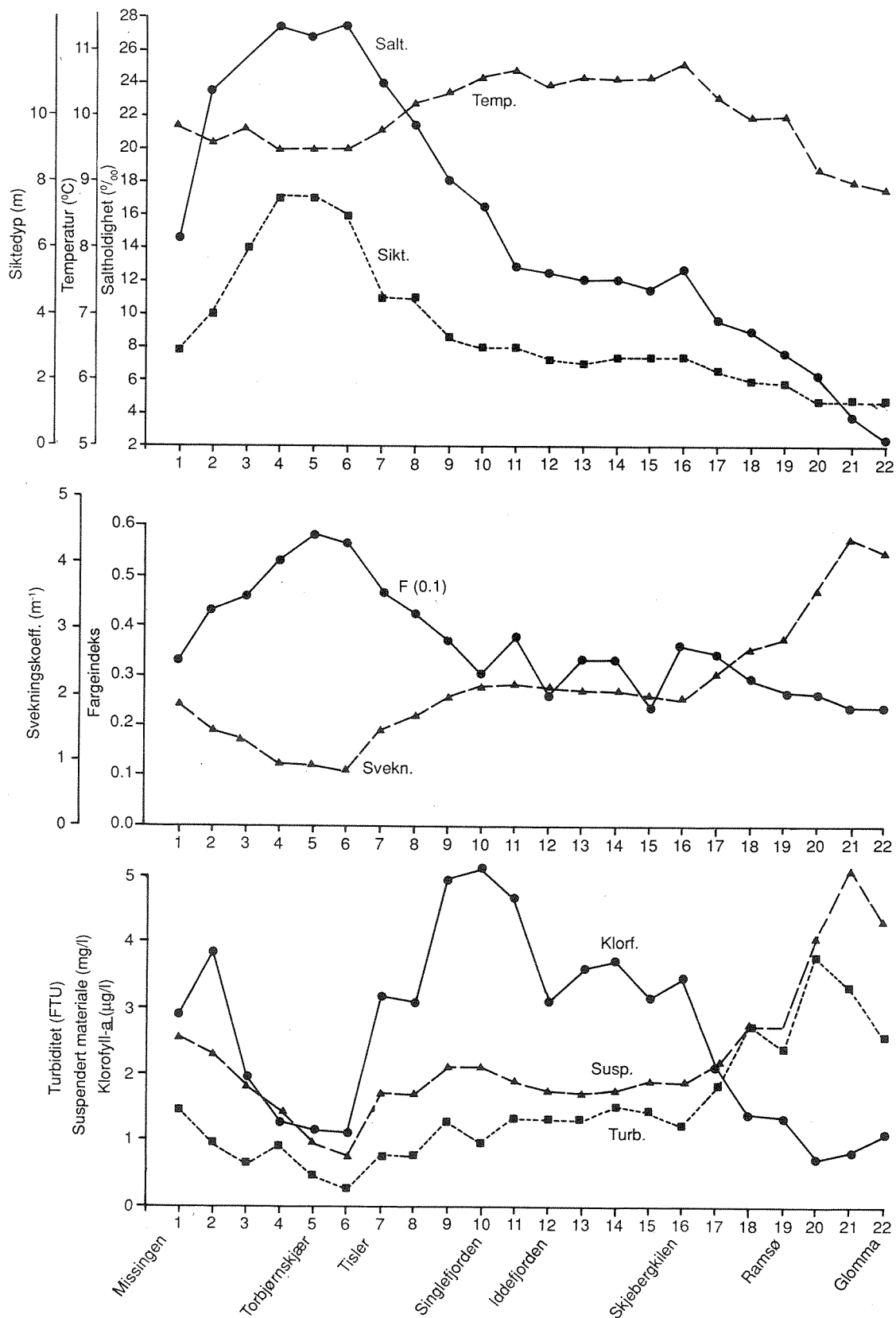
4.1 Observasjoner i mai

Observasjoner den 16. mai (Figur 5) ble foretatt fra Missingen, via Torbjørnskjær inn i Hvalerområdet. På innsiden av Missingen lå det Glommavann med en saltholdighet på 14 promille og siktedyp på 3 m. Ved overgangen til den saltene vannmassen ved Stasjon 2 (Struten) var planktonmengden noe høyere med klorofyll-a verdier på ca. 4 µg/l, før den avtok mot Torbjørnskjær (St.5). Her kom man inn i en klarere vannmasse med saltholdighet 28 promille og siktedyp på 7.5 meter. Denne vannmassen antas å komme fra Skagerrak. Målinger foretatt den 18.-19. mai i Skagerrak (Torungen-Hirtshals) ga de klareste vannmassene på Stasjon 10 og 11 omkring 50 n.m. fra Norskekysten (ca. 10 n.m. fra Danskekysten). Her var siktedypet 11 meter og saltholdigheten større enn 30.0 promille. Hvorvidt dette var nylig ankommet Nordsjøvann eller gammelt Skagerrakvann kan ikke disse målingene gi svar på.

I nærområdene til Hvaler ved Tisler øket ferskvannsandelen og mengden av suspendert materiale. Planktonkonsentrasjonen i Singlefjorden hadde maksimum på Stasjon 10 med klorofyll-a verdier på ca. 5 µg/l. Tilsvarende økninger av planteplanktonmengden i nærområdene til Glomma og spesielt i Singlefjorden ble funnet også i 1988 (Sørensen og Lindell, 1990a). Data fra 1980 viste den samme tendensen med høyere planktonkonsentrasjoner i Singlefjorden (Magnusson og Skei, 1984).

Vestover fra Singlefjorden og Singleøya (St. 17 og 18) øker mengden av Glommavann, og nedre grense for netto planktonproduksjon, anslått som 1% lys, lå i dette området på ca. 4 meter. Tidligere målinger fra disse områdene har vist at planktonmengden ofte er noe høyere rett under det ferskere brakkvannet, og med et 1% lysdyp omkring 4-5 meter skulle dette være tilstrekkelig til å underholde en planteplanktonproduksjon også inne i selve Hvaler-/Singlefjordområdet, forutsatt at forholdene ellers er stabile nok.

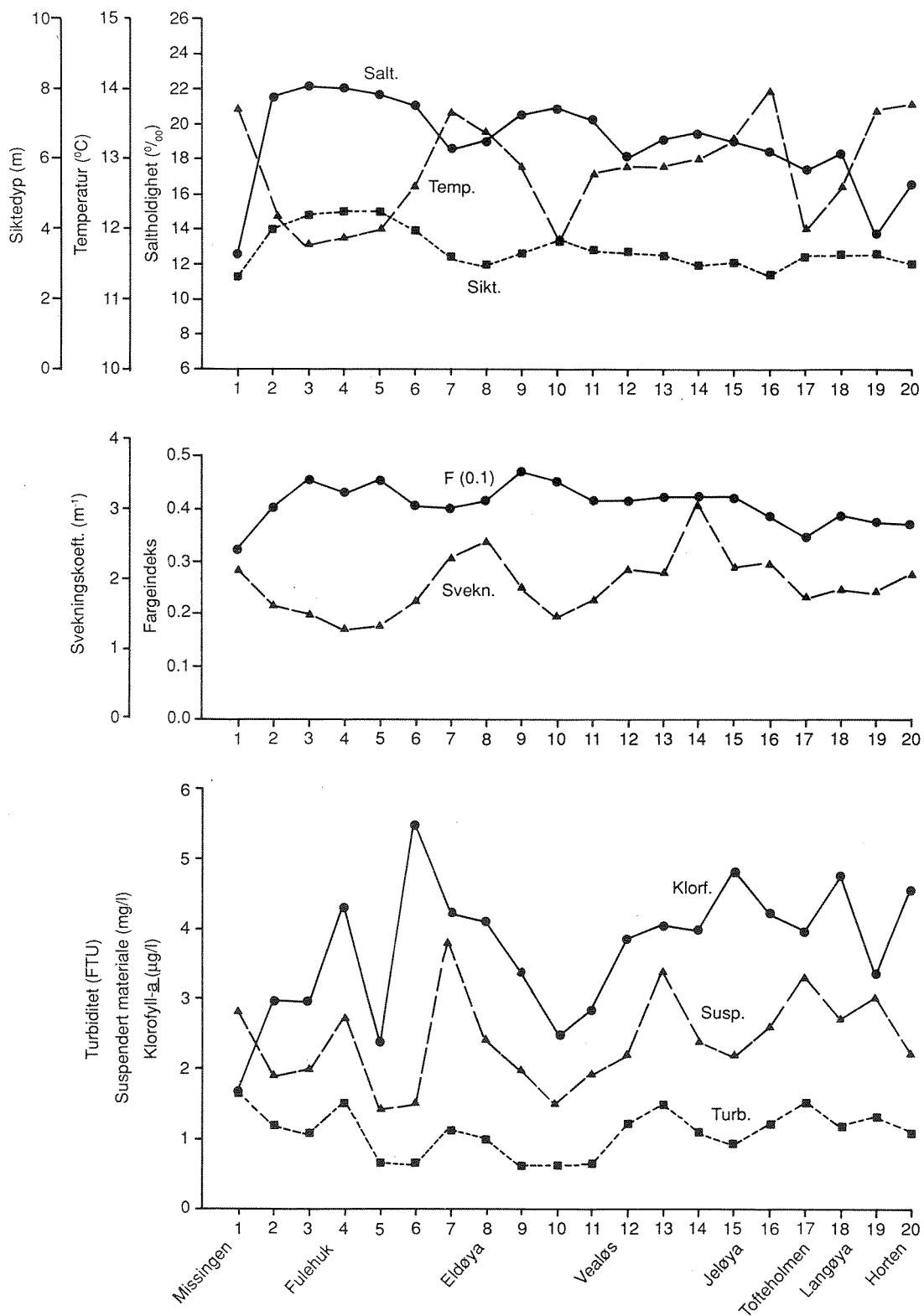
Ved Øra (St.22) øket klorofyllkonsentrasjonen svakt. Dette kan skyldes innslag av ferskvannsplankton fra Glomma, eller marint plankton som er produsert lenger ut og som er transportert inn i området med reaksjonsstrømmen. Øket produksjon av planteplankton i frontene mellom ferskvann og sjøvann er observert tidligere i dette området (Magnusson og Skei, 1984, Sørensen og medarb., 1990a og b).



Figur 5. Feltobservasjoner 16. mai 1989 i Ytre Oslofjord.

Den 23. mai ble det foretatt målinger fra Missingen-Fulehuk til Breidangen-området (Figur 6). Man fikk som den 16. mai den ferskere vannmassen liggende på innsiden av Missingen med omtrent den samme saltholdighet og innhold av suspendert materiale. På utsiden av Missingen og midt i Ytre Oslofjord (St.3) var saltholdigheten 22 promille, og mengden av suspendert materiale avtok for igjen å øke svakt ved Fulehuk (St.4). Dette skyldtes planktonalger indikert ved at klorofyllmengden øket til ca. 4 µg/l. Siktedypet på Stasjon 4 og 5 lå på omkring 4.5 meter. Nordover mot Eldøya ved Larkollen fant man Glommavann ved Stasjon 7 og 8, og på Stasjon 6 i fronten av det ferskere vannet hadde man høyere planktonkonsentrasjon med klorofyllverdier på ca 5.5 µg/l. Glommavannets nordligste utbredelse ved dette toktet var til noe syd for Eldøya og dette var lenger nord enn tidligere observert. Nordvestover fra Eldøya lå det en saltere og kaldere vannmasse ved Bastøy (Stasjon 10), som synes å være den samme som nordøst av Fulehuk (Stasjon 5). Hvor denne vannmassen kom fra kan ikke dataene gi svar på. Ved Vealøs (Stasjon 12) fant man en ferskere vannmasse med høyere planktonkonsentrasjon, som antagelig kom fra Drammensfjorden. Fra Vealøs og østover mot nordspissen av Jeløya og tilbake mot Drammensfjorden (Stasjon 18) og Horten var det gjennomgående høyere klorofyllverdier (4-5 µg/l).

Målinger foretatt i Glomma den 22. mai (Petterson og medarb., 1990) viste også lave konsentrasjoner av partikulært materiale (4.3 mg/l). Klorofyllkonsentrasjonene var omkring 2-4 µg/l i Ytre Oslofjord (Misingen-Færder-Tisler) og noe høyere i Singlefjorden med 4-5 µg/l. Konsentrasjonene av suspendert materiale i Glomma den 25. mai ga også lave verdier (4.8 mg/l), og for snittet Missingen-Fulehuk var det omtrent de samme konsentrasjoner som den 23. mai. Sammenlignet med målinger i mai 1988 hvor det ble målt opp mot 20 mg/l suspendert materiale i Glomma (Sørensen og Lindell, 1990a), var det for denne perioden gjennomgående lave konsentrasjoner .



Figur 6. Feltobservasjoner 23. mai 1989 i Ytre Oslofjord.

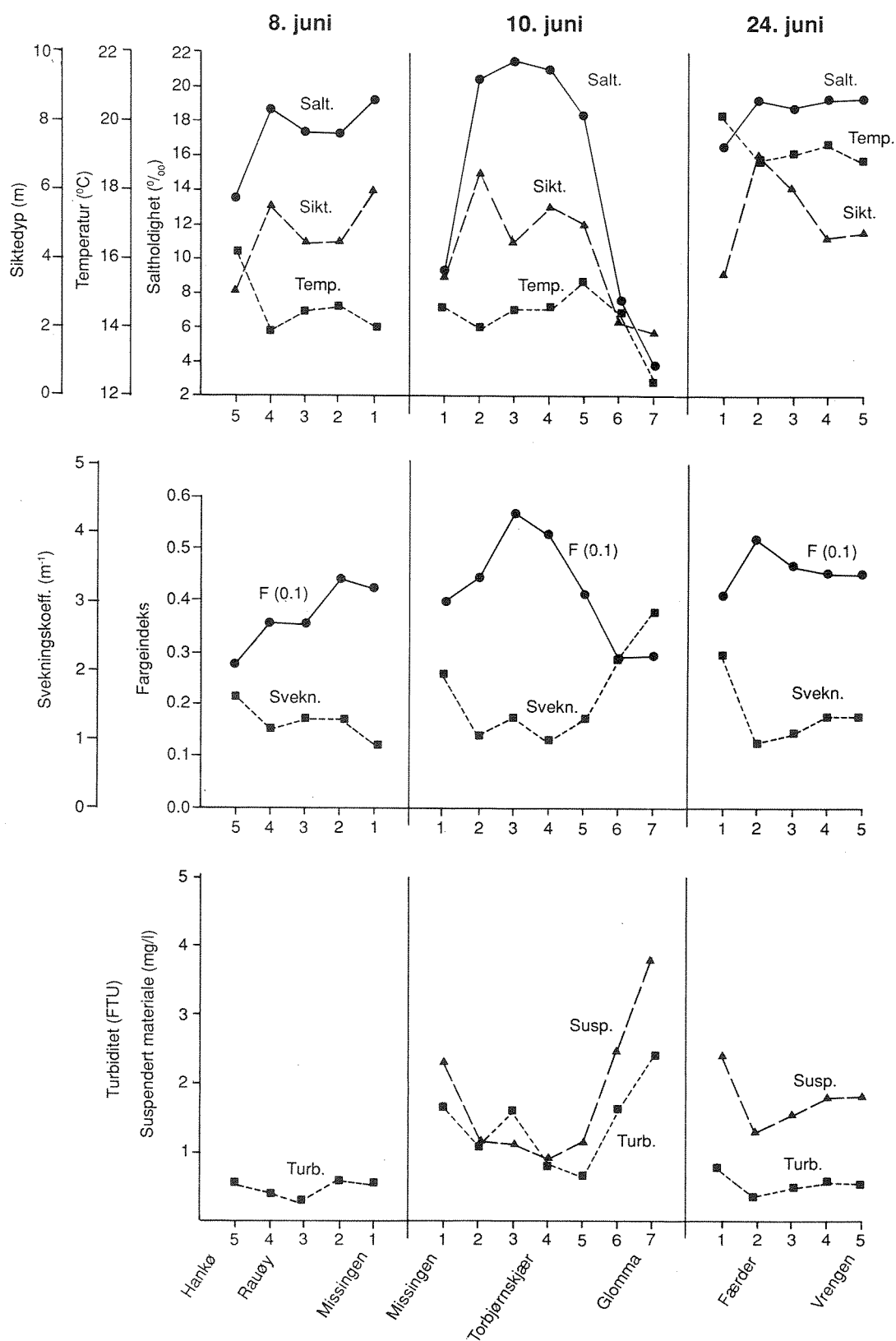
4.2 Observasjoner i juni

Data fra de tre toktene i Ytre Oslofjord i juni er sammenstilt i Figur 7. Den 8. juni ble det på grunn av værforholdene kun tatt noen stasjoner omkring Missingen og Rauøy, og man ser at det var lavt innhold av suspendert materiale (turbiditet) i dette området.

Toktet den 10. juni ble gjennomført med start fra Missingen via Torbjørnskjær inn i Glomma. Ved Missingen lå det Glommavann med ca. 2 mg/l suspendert materiale, avtagende til ca. 1 mg/l i Ytre Oslofjord. Irradiansmålinger i Ytre Oslofjord (St. 2 - 5) ga et 1% lysdyp på 15 meter, og fargeindekser var større enn 0.50. I Glomma var fargeindeksen ca. 0.3 med et 1% lysdyp varierende mellom 4 og 7 meter.

Målinger fra Skagerrak den 14. juni ga til sammenligning et 1% lysdyp på 24 meter ved Stasjon 6 midt på snittet Torungen-Hirtshals. Mengden av suspendert materiale i dette området varierte mellom 0.7 og 1 mg/l i overflaten. Fargeindeksmålingene i Skagerrak i juni var lavere enn i mai og lavest på norskekysten. Data fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen (toktrapport) viste at planktonet var dominert av bl.a. Emiliana huxleyi, og denne algen kunne være årsaken til de forholdsvis lave fargeindeksene som ble funnet. Satellittbildet fra den 10. juni er nærmere beskrevet i Kapittel 5.2.

Målinger 24. juni i Ytre Oslofjord ble pga. sterk vind utført på vestsiden av fjorden ved Færder. Bortsett fra Stasjon 1 syd for Fulehuk så syntes vannmassene i Ytre Oslofjord å være av samme karakter som den 10. juni, med det klareste vannet vest for Færder.

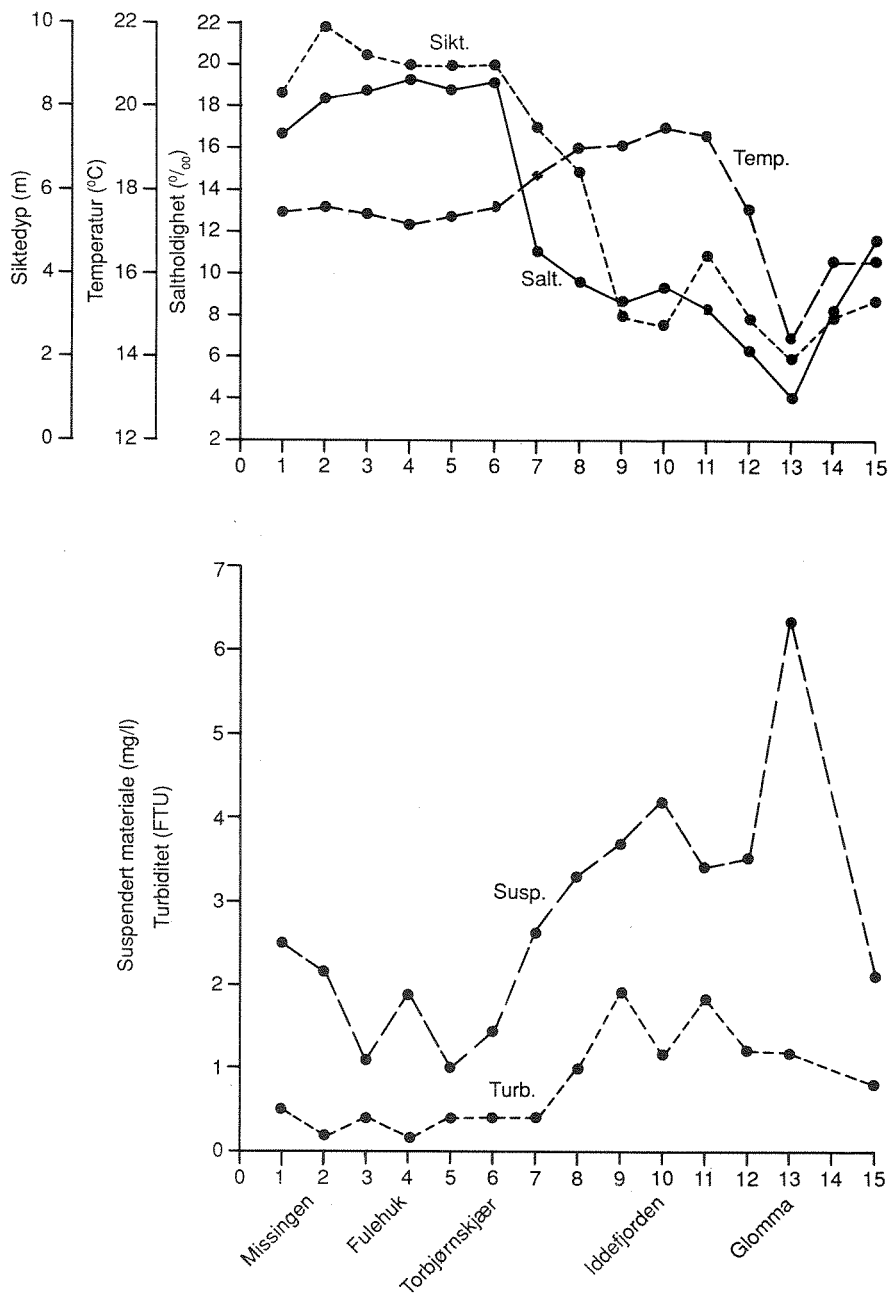


Figur 7. Feltobservasjoner 8., 10., og 24. juni 1989 i Ytre Oslofjord.

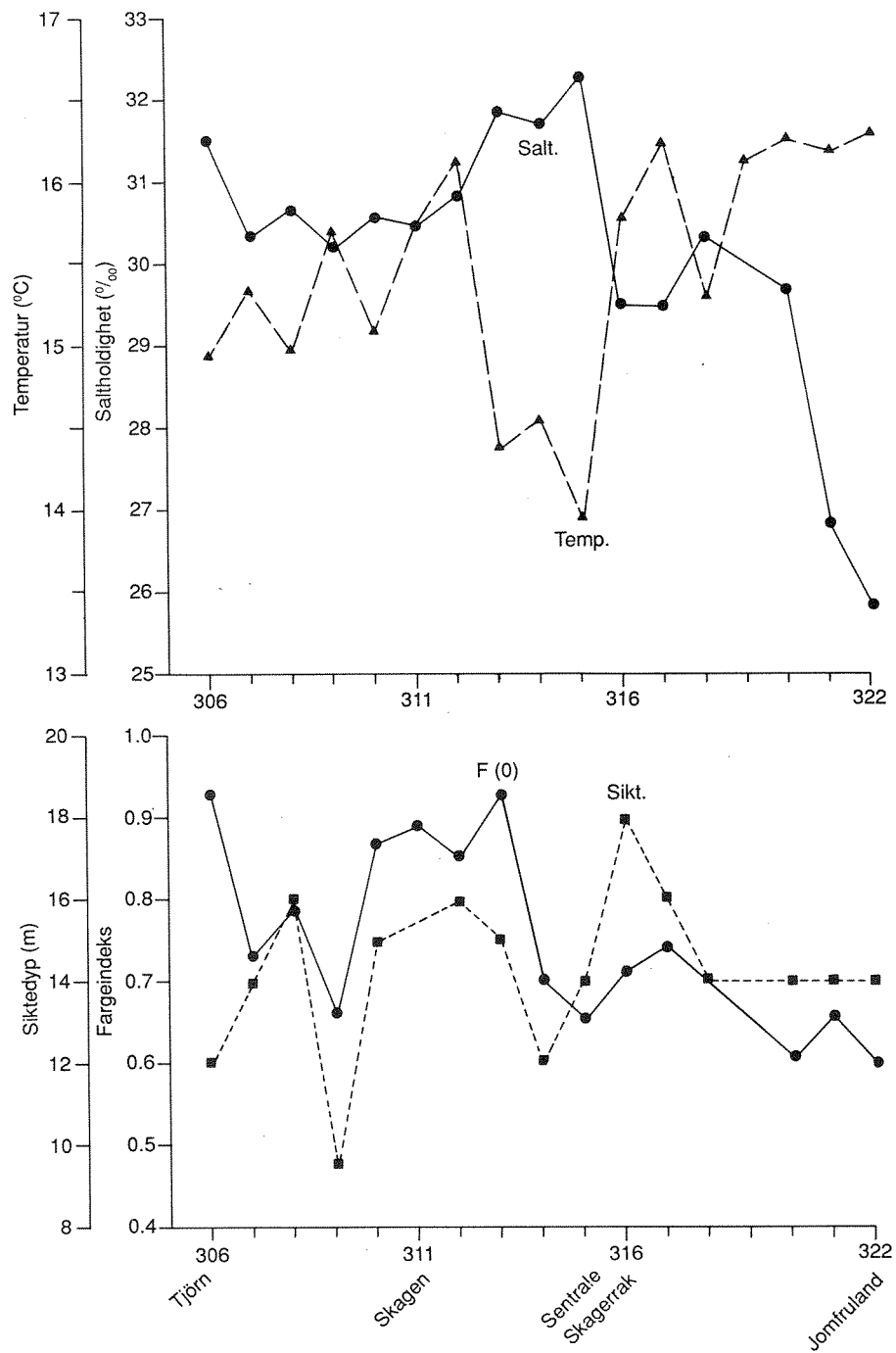
4.3 Observasjoner i juli

Den 3. juli ble det gjennomført målinger i Ytre Oslofjord med målinger fra Missingen til Glomma (Figur 8). Fargeindeksdata foreligger ikke på grunn av tekniske problemer, og det er noe færre parametre enn på de øvrige tokt. I hele området fra Missingen til Fulehuk og ut i Ytre Oslofjord var det klare vannmasser med lavt innhold av suspendert materiale, med turbiditet mindre enn 0.5 FTU og med siktedyp på over 8 meter. Først ved munningen til Singlefjorden (St.7) ble siktedypet redusert, og mengden av suspendert materiale øket innover i Singlefjorden til omkring 3-4 mg/l. I selve Glommavannmassene i Løperen var sikten redusert til ca. 2 meter, og innholdet av suspendert materiale ved Stasjon 13 øverst i Glomma var ca. 6 mg/l, som forøvrig var det høyest registrerte i 1989. Dypet for 1 % lys varierte fra 22 meter ved Missingen og 19 meter ved munningen av Singlefjorden til 6-7 meter i Løperen. Glommavannet hadde som på toktene i mai og juni lave saltholdigheter ned mot ca. 4.0 promille og vesentlig lavere mengder suspendert materiale (25-30%) enn hva som ble målt i 1988.

I Skagerrak i perioden 17.-21. juli var også vannet klarere enn på de tidligere toktene i mai og juni. Fargeindeksen $F(0)$ lå mellom 0.60 og 0.93, 1%-dypet varierte mellom 19 og 35 meter og siktedypet fra 7 til 18 meter. Resultatene fra snittet Skagen-Jomfruland og fra snittet Skagen-Tjörn viste at Den norske kyststrømmen hadde lavere saltholdighet og lavere fargeindeks enn vannet lenger ut i Skagerrak. Det salteste vannet på snittene hadde også høyest fargeindeks (Figur 9), og dette var sannsynligvis Nordsjøvann.



Figur 8. Feltobservasjoner 3. juli 1989 i Ytre Oslofjord.



Figur 9. Feltobservasjoner 19.-21. juli 1989 i Skagerrak.

5.0. FJERNMÅLING

5.1 Satellittdata fra 1988

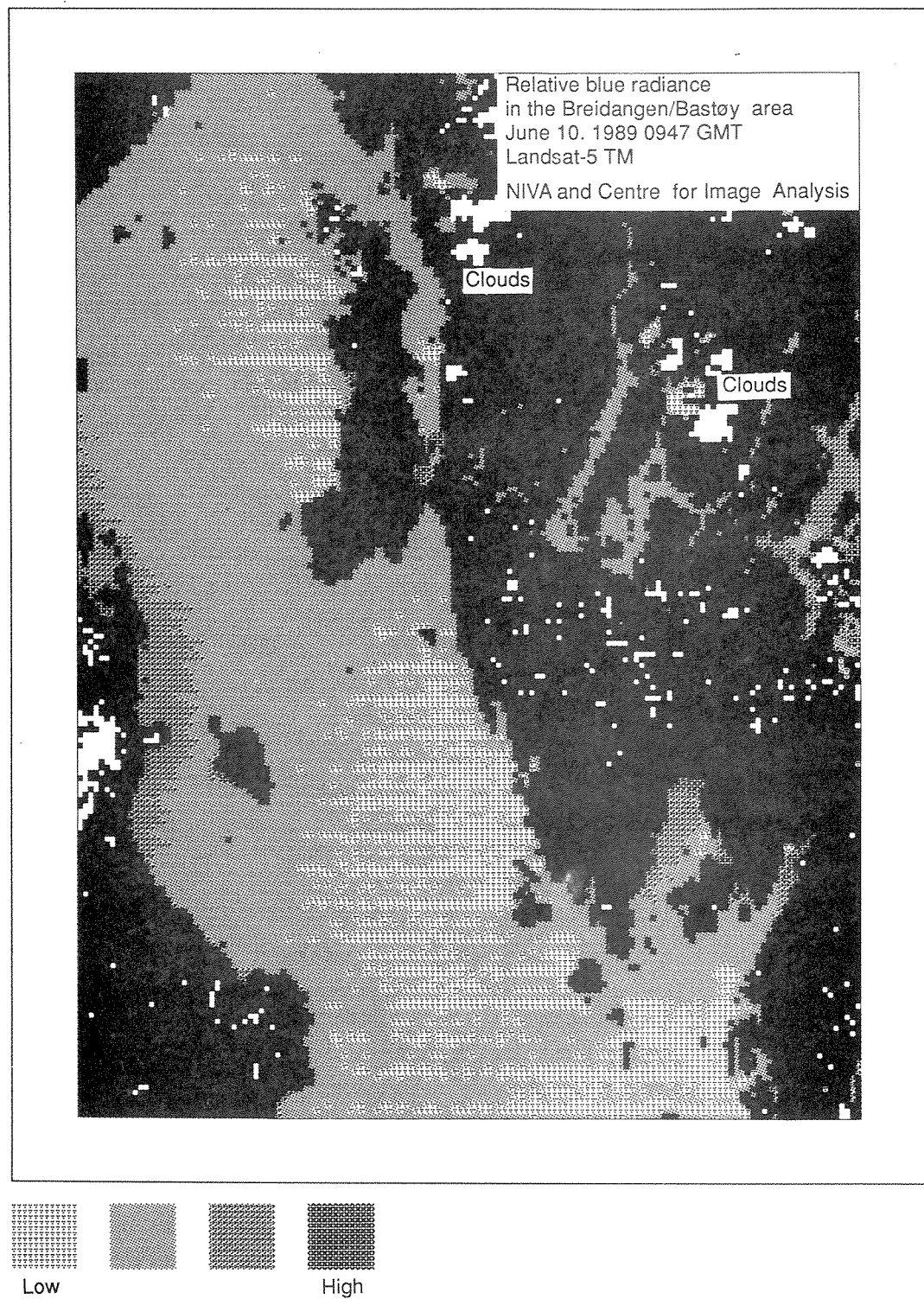
Tre situasjoner med høyoppløselige satellittdata forelå for 1988, hvorav to med bruk av TM-sensoren, og en med MSS-sensoren. Det ble funnet gode sammenhenger mellom satellittdata og feltdata innen de enkelte tokt (Sørensen og Lindell, 1990a), og satellittdata ble benyttet for å beskrive fordelingen av suspendert materiale i dette området. Dataene for 1988 hadde stor spredning i suspendert materiale (opp mot 20 mg/l) sammenlignet med 1989's data, hvilket gjorde det lettere å få gode sammenhenger for de fleste målte parametere som turbiditet, suspendert materiale, svekningskoeffisienter etc.

Prosjektet i 1989 hadde som et vesentlig formål å se på sammenhengen mellom satellittdata og fargeindeks og radians. TM-datene fra 13. mai og 1. august 1988 ble benyttet i denne sammenligningen, og digitalverdiene fra sensorene ble omregnet til radiansverdier.

5.2 Satellittdata fra 1989

Alle toktene i Ytre Oslofjord i 1989 ble koordinert med satellittpasseringer, men dis og skyer gjorde måleforholdene vanskelige. Den 16. mai var det koordinering også med andre fjernmålingsaktiviteter (Petterson og medarb., 1990), og derfor ble dette toktet fullført. Den 23. mai var det tilsynelatende gode forhold, men ved inspeksjon av dataene var det en tynn dis som ville vanskeliggjort direkte sammenligning av satellittradians og radians fra sjøen. Data ble derfor ikke anskaffet for denne situasjonen. Den 10. juni var situasjonen bedre, selv om den ikke var så ideell som for 1988-dataene. Den 3. juli syntes også å være brukbar, men bl.a. fordi man ikke hadde fargeindeks og radiansdata ble ikke satellittdata anskaffet.

Satellittdataene for den 10. juni 1989 har blitt benyttet til sammenligningen med fargeindeks (jfr. Kapittel 6.2). Feltdataene fra denne situasjonen viste lave verdier (jfr. Figur 7) med maksimum konsentrasjoner i suspendert materiale på ca. 4 mg/l. Direkte sammenligning med feltdata ga de beste sammenhenger med den røde kanalen (TM3). Figur 10 viser fordelingen av spektral radians fra TM1-sensoren (blått lys) for Breidangen/Bastøy-området. På vestsiden fikk man noe høyere radiansverdier omkring Vealøs/Bastøy, som antagelig var Drammensfjordvann. Selve utløpet av Drammensfjorden lå utenfor denne satellittscenen, men forbindelsen tilbake til Drammensfjordens utløp bekreftes imidlertid av temperaturbilder fra vær-satellittdataene som presenteres i den andre delrapporten (Sørensen og medarb., 1990c).

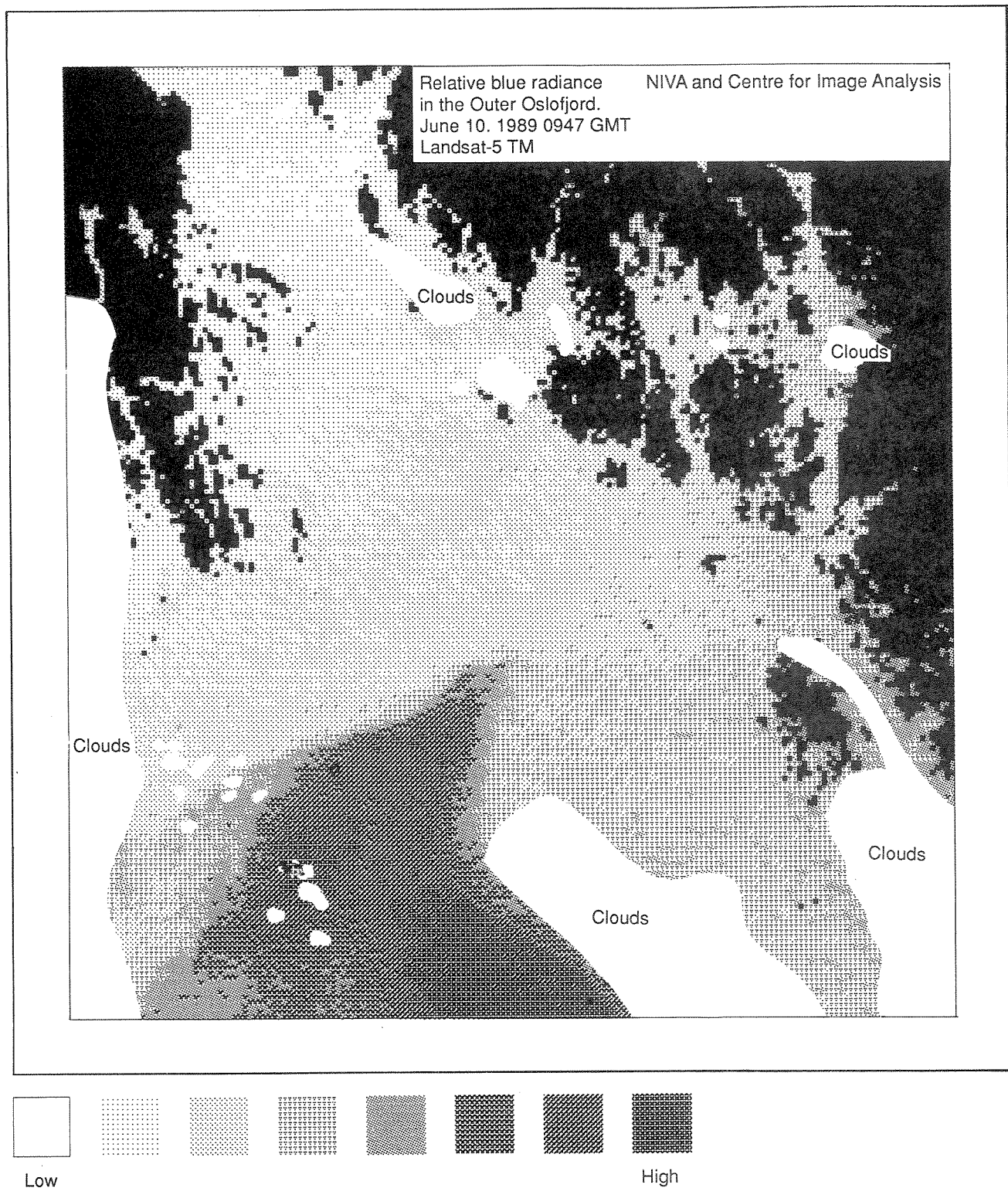


Figur 10. Relativ fordeling av tilbakespredt blå radians (450–520 nm) i Breidangen/Ytre Oslofjord 10. juni 1989. (Lyst er lav og mørkt er høy verdi.) Bildebehandling ved NIVA og Centrum för bildanalys.

Ytterst i Oslofjorden syd for Færder viste satellittbildet (Figur 11) en vannmasse med høye verdier av tilbakespredt blå radians. Verdiene var høyere enn i Glomma og resten av Ytre Oslofjord. Høye verdier ble registrert også i den grønne (TM2) delen av spekteret, men avtok i rødt og infrarødt i forhold til de omliggende vannmassene. Dessverre forelå det ikke feltobservasjoner fra området, men man må anta ut fra beliggenheten med utbredelse utover i Skagerrak, at dette var forårsaket av planktonalger. Satellittbildet inneholder noe skyer øst for disse høye verdiene, men det er allikevel rimelig å anta at fenomenet skyldtes alger og ikke atmosfæriske effekter. På grunn av de høye signalene var det mest nærliggende å tro at dette skyldtes en oppblomstring av kalkflaggellater.

Bøyledata fra OCEANOR's algeovervåkningsprogram den 10. juni viste ingen lyssvekning som kunne indikere alger (Statusrapport nr. 9, 6.-13. juni 1989). Horisontalfordelingen av algene synes å vise at de lå lenger syd enn bøyens posisjon, og denne oppblomstringen synes derfor å ha "unngått" bøyen denne dagen. Målinger utført av Miljøvernavdelingen i Østfold (Larsen, 1990) ved Torbjørnskjær (bøye) 10. juni viste et siktedyp på 5 m og dominans av kalkflaggellaten Emiliana huxleyi (2.8 mill./l). Denne algen ble også observert noen dager senere på Torungen-Hirtshals-toktet (Statens Biologiske Stasjon Flødevigen). Celletall i størrelseorden 2-3 mill./l er tilstrekkelig til å gi et visuelt fargeinntrykk i vannet (Paasche, pers.med.).

Bøymålinger ved Torbjørnskjær viste derimot økende lyssvekningen fra den 15.-16. juni for rødt, grønt og blått lys, og relativt mer for grønt lys. Dette ble på dette tidspunktet tolket "som økende partikkelmengde, men ikke alger, på grunn av oksygenmålingene" (Statusrapport nr. 10, 13.-21. juni 1989). Lyssvekningen øket jevnt og hadde en topp den 22. juni med fortsatt størst svekning i grønt (Statusrapport nr. 11, 20.-26.juni). Dette ble tolket som "høye konsentrasjoner av alger og partikler som føres ut med utstrømningen fra Glomma". Algetellinger utført ved bøyen den 20. juni viste at E. huxleyi fortsatt dominerte planktonet med 2.2 mill./l (Larsen, 1990). Slik disse svekningsmålingene fungerer (Volent, pers. med.) og med det forbehold at bøylene har fungert tilfredstillende (Statusrapport nr. 10 og 11), så kan denne konklusjonen ikke stemme. Observasjoner av lyssvekning i Glommavann har ikke tidligere vist noe maksimum i den grønne delen av spekteret (Sørensen og medarb., 1990b, Aas og medarb., 1990), slik at bidraget fra Glommavann må være av mindre betydning. Dessverre mangler saltholdighetsdata slik at en påvirkning av Glommavann kunne vurderes. Muligheten for effekter pga. maneter og begroing diskuteres i Statusrapportene fra OCEANOR, men man kan ikke utelukke at også algene hadde vesentlig betydning i disse målingene.



Figur 11. Relativ fordeling av tilbakespredt blå radian (450-520 nm) i Ytre Oslofjord/Skagerrak 10. juni 1989. (Lyst er lav og mørkt er høy verdi.) Bildbehandling ved NIVA og Centrum för bildanalys.

6. ESTIMERING AV LYSKLIMAET

6.1. Estimering ved fargeindeks

Den undersøkelsen som Institutt for geofysikk utførte i Indre Oslofjord i 1988 viste at fargeindeksen i 1 m var godt korrelert med dypene for de forskjellige nivåene av irradians, med korrelasjonskoeffisienter større eller lik 0.94. Ifølge målingene kunne man estimere dypene for de forskjellige irradiansnivåene med en treffsikkerhet bedre enn 1 m. Forsøk på korrelasjon mellom f.eks. siktedyp og irradians ga vesentlig dårligere resultater, som vist i Vedlegg A.2.

Tilsvarende gode korrelasjoner mellom fargeindeks og irradiansnivåer var funnet tidligere for andre havområder (e.g. Jerlov, 1974, Højerslev et al., 1977, Højerslev og Jerlov, 1977, Højerslev, 1980). De relasjonene som er funnet for relativt klart havvann kan imidlertid ikke uten videre overføres til grumsete kyst- og fjordvann. Dette skyldes at sammenhengen mellom fargeindeks og irradians avhenger av konsentrasjonene til de suspenderte partiklene og oppløste stoffene og forholdet mellom dem. Dette gir en relativt entydig sammenheng i klart havvann, men ikke nær fjord- og elveutløp. Sammenhengen kan derfor i slike farvann variere fra sted til sted, og det er tryggest å bestemme den der den skal brukes.

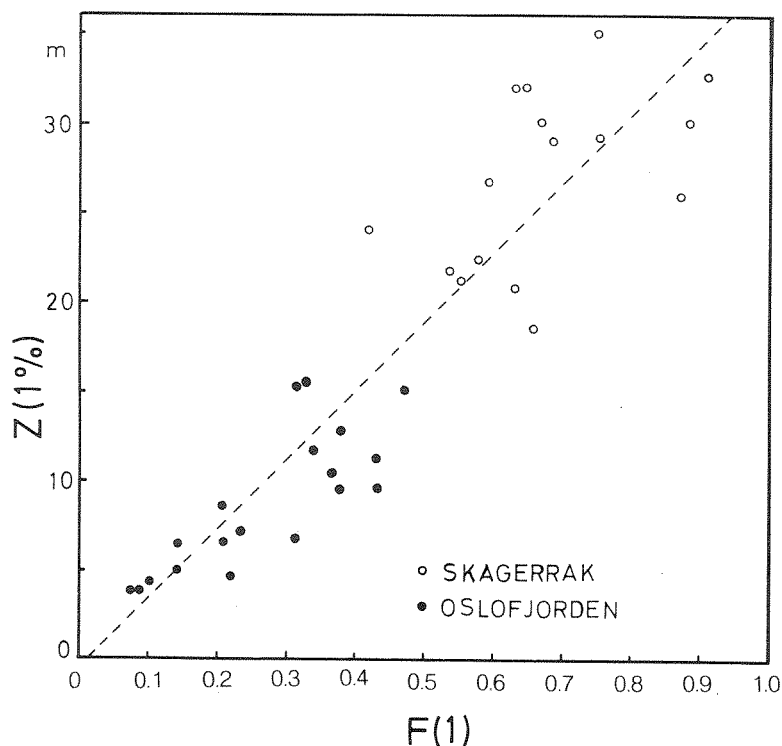
I 1989 ble det målt irradians og fargeindeks samtidig på 13 stasjoner i Indre og Ytre fjord og på 15 stasjoner i Skagerrak. Resultatene viste at vannmassene i Ytre fjord og Skagerrak tilsammen var langt mindre homogene optisk sett enn vannmassene i Indre fjord. Det ble derfor også langt større spredning i resultatene når fargeindeks og irradians ble korrelert for disse områdene. Siden de forskjellige områdene dekket forskjellige størrelsesintervall av de variable (se Figur 12), så viste analysen i dette spesielle tilfellet at best korrelasjon ble oppnådd ved å slå observasjonene for Skagerrak, Ytre og Indre fjord sammen. Resultatene, som er presentert i Vedlegg A.1., virker som en rimelig utvidelse av de observasjonene Højerslev (1980) har gjort i Nordsjøen.

Det nye i resultatene var at mens f.eks. $F(1)=0.5$ ga $Z(1\%)=13$ m utfra de relasjonene som ble funnet i 1988, så ga relasjonene fra 1989 at $Z(1\%)=19$ m. Dette er en signifikant forskjell som skyldes at vannet under de 2-3 øverste metrene i sjøen er klarere i Ytre fjord enn i Indre. Dette viser også at det var riktig å utføre egne målinger både for Ytre fjord og for de tilgrensende områdene.

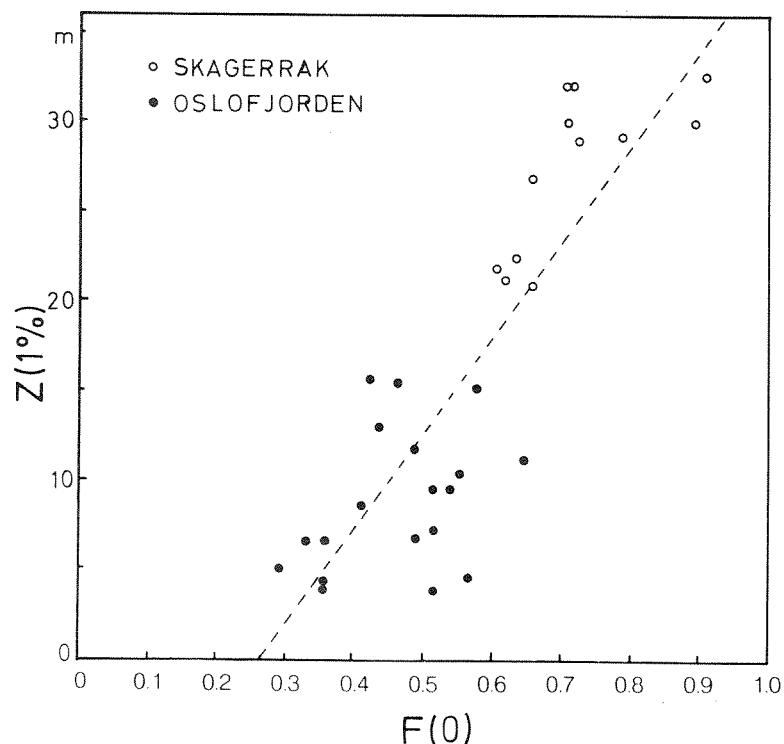
Observasjonene for $Z(1\%)$ og $F(1)$ er vist i Figur 12. Mens avviket mellom observasjonene og den rette linjen er vesentlig større enn det var for Indre fjord-dataene alene, så bør det også tas i betraktning at dypene i middel nå også er mye større, slik at det relative avviket ikke har økt så mye. Likevel er det tydelig at fordelene ved å bruke fargeindeks som optisk parameter blir redusert i så forskjelligartede vannmasser som dem man finner i Ytre Oslofjord. I Vedlegg A.2. er det vist at for de samme stasjoner som over gir fargeindeksen et bedre estimat for $Z(1\%)$ enn siktedypet, men forskjellen er ikke så stor som den var for Indre Oslofjord alene.

Satellitten måler ikke lyset i 1 meters dyp, men det lys som kommer opp gjennom overflaten i tillegg til lys spredt fra atmosfæren og reflektert fra overflaten. Hvis fargeindeks og satellittdata skal sammenlignes, er det derfor bedre å bruke fargeindeksen $F(0)$ i 0 m, ekstrapolert fra $F(0.1)$ og $F(1)$.

Relasjonene mellom $F(0)$ og de forskjellige irradiansnivåene ble beregnet ved korrelasjonsanalyse. Resultatet er gitt i Vedlegg A.1. Restavviket ble større og korrelasjonskoeffisienten mindre når $F(1)$ ble erstattet med $F(0)$. Observasjonene for $Z(1\%)$ som funksjon av $F(0)$ er vist i Figur 13.



Figur 12. 1%-dypet som funksjon av fargeindeks i 1 meters dyp, fra målinger i Oslofjorden og Skagerrak i 1988-89.

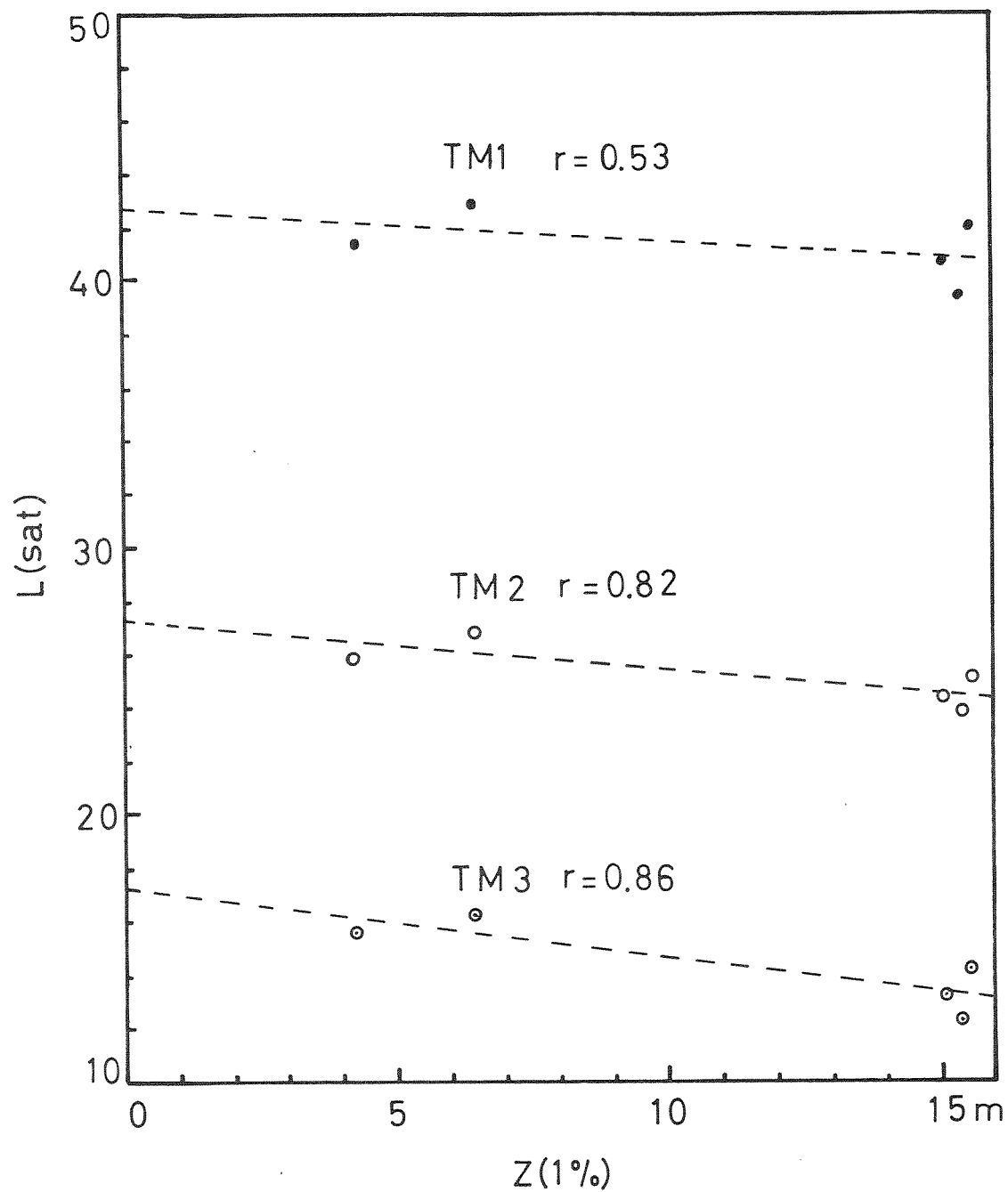


Figur 13. 1%-dypet som funksjon av fargeindeks i overflaten, fra målinger i Oslofjorden og Skagerrak i 1988-89.

6.2 Estimering ved fjernmåling

I 1989 ble det målt irradians på 29 stasjoner fordelt på 12 datoer, men det foreligger høyoppløselige multispektrale satellittdata bare for 10. juni. På denne datoen ble irradians målt på 5 av 7 stasjoner.

Observervert sammenheng 10.juni 1989 mellom 1%-dypet for irradians og registrert radians på de tre første kanalene på Landsat-5 er vist i Figur 14. Best korrelasjon oppnås for den røde delen av spekteret, TM3. Desto klarere vannet er, gitt ved stort 1%-dyp, desto mindre rødt lys blir spredt tilbake fra sjøen til atmosfæren. Selv om 1%-dypet øker med en faktor 4, fra 4 til 16 meter, så synker radianssignalet bare fra 16 til 13 $W/(m^2 \mu m sr)$, hvilket er en reduksjon på 20 %. Dette skyldes at det vesentligste bidraget til satellittradiansen kommer fra atmosfæren, og at bare en mindre del er tilbakespredt lys fra havet. Det er luftmolekyler, vanndamp og støv som gir bidraget fra atmosfæren, i tillegg til sol- og himmellys som reflekteres fra havoverflaten.



Figur 14. 1%-dypet som funksjon av radiansen på sensorene TM1, TM2 og TM3 i Landsat-5 den 10. juni 1989. Radiansbenevning er $W/(m^2 \mu m sr)$.

Mengden av atmosfærellys vil fra dag til dag kunne ha større variasjon enn variasjonen fra stasjon til stasjon på en og samme dag av oppoverspredt lys fra selve vannmassen. Det er derfor helt nødvendig å kjenne bidraget fra atmosfæren dersom man ønsker å oppnå algoritmer mellom satellittradians og lysklimaet i havet som gjelder uansett forholdene i atmosfæren.

En enkel metode å bestemme atmosfærens bidrag på er å bruke lineær korrelasjon mellom satellittradians og oppoverrettet radians i sjøen. Da kan satellittradiansen $L(\text{sat})$ skrives som

$$(6.1) \quad L(\text{sat}) = L(\text{atm}) + B \times L(\text{sjø}),$$

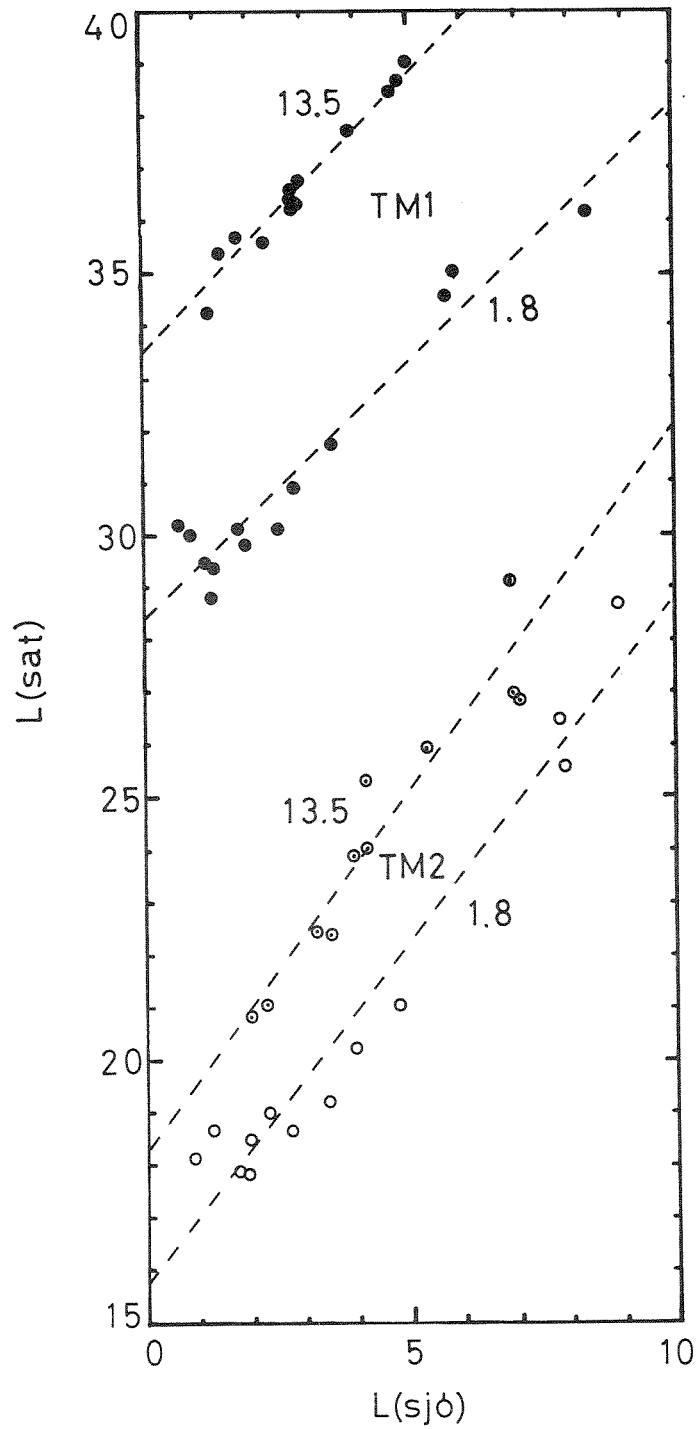
det $L(\text{atm})$ er radiansbidraget fra atmosfæren, B en konstant faktor og $L(\text{sjø})$ bidraget fra sjøen. Når radiansen går fra vann til luft, vil den pga. lysbrytningen bli fordelt over et større vinkelområde og derfor minske i verdi. Det som betegnes $L(\text{sjø})$ er radiansen i vann omregnet til sin luftverdi.

I Figur 15 er radiansen $L(\text{sat})$, registrert på kanal TM1, plottet som funksjon av radiansen $L(\text{sjø})$ i 0 meter, målt med fargeindeksmeter. Siden TM1 har båndbredden 450–520 nm, ble middelverdien av $L(\text{sjø})$ for 450 og 520 nm benyttet som abscisse i figuren. Kanalen TM2 har båndbredde 520–600 nm, og $L(\text{sjø})$ for 520 nm ble benyttet som abscisse. Observasjonene fra 13. mai og 1. august 1988 ble brukt i figuren.

Det er åpenbart en lineær sammenheng mellom $L(\text{sat})$ og $L(\text{sjø})$, hvilket betyr at $L(\text{atm})$ har vært relativt konstant under det tidsrom fargeindeksen ble målt. Når det ut fra korrelasjonsanalyse ble lagt en rett linje mellom punktene, så ble $L(\text{atm})$ skjæringspunktet mellom linjen og akse for $L(\text{sat})$.

$L(\text{atm})$ utgjorde mer enn 50 % av $L(\text{sat})$ for TM2, og mer enn 80 % for TM1. Videre varierte $L(\text{atm})$ fra en dato til en annen, og helningskoeffisienten for linjen varierte også. Ligningene for de rette stiplede linjene i figuren er gitt i Vedlegg A.3.

Det er altså mulig å bestemme $L(\text{atm})$ ut fra måling av $L(\text{sjø})$ med fargeindeksmeteret, forutsatt at $L(\text{atm})$ er konstant over det tidsrommet $L(\text{sjø})$ blir målt i. Dessverre syntes økende skydekke den 14. juni 1988 og økende disighet den 10. juni 1989 å ha ført til at observasjonene fra disse dagene ikke grupperte seg langs en rett linje, men spredte seg ut som en sky, slik at metoden ikke kunne brukes.



Figur 15. Radians på sensoren TM1 som funksjon av midlet radians i overflaten, og radians på sensoren TM2 som funksjon av radians ved 520 nm i overflaten, 13. mai og 1. august 1988. Radiansbenevning er $W/(m^2 \mu m sr)$.

Ifølge (6.1) vil $L(\text{sat})$ komme nærmest $L(\text{atm})$ i tallverdi og få sin minimumsverdi der $L(\text{sjø})$ har sin minimumsverdi. Sammenlignes $L(\text{atm})$ bestemt fra Figur 15 med observert minimumsverdi av $L(\text{sat})$, stemmer de for disse to datoene rimelig bra overens (Tabell 1).

Tabell 1. Sammenligning av beregnet $L(\text{atm})$ og observert $L(\text{sat}, \text{min})$ for 13. mai og 1. august 1988 i Ytre Oslofjord

Dato	Kanal	$L(\text{atm})$ ($\text{W}/\text{m}^2 \mu\text{m sr}$)	$L(\text{sat}, \text{min})$ ($\text{W}/\text{m}^2 \mu\text{m sr}$)
13.5.88	TM1	33.5	33.5
	TM2	18.3	19.5
1.8.88	TM1	28.4	31.2
	TM2	15.7	17.0

Som en første tilnærming kan en da sette:

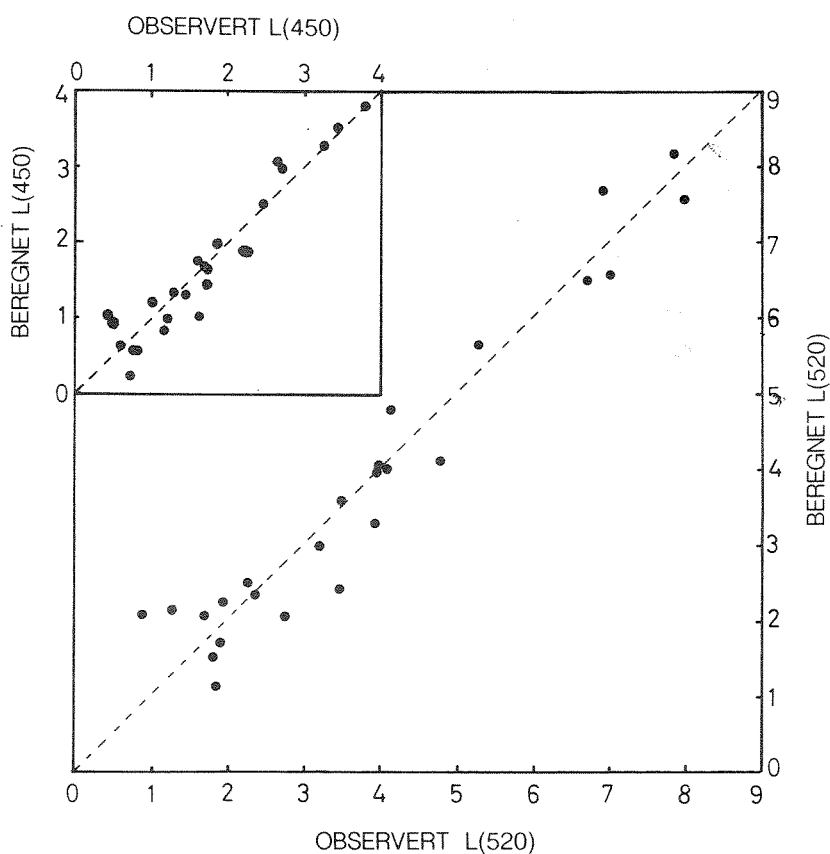
$$(6.2) \quad L(\text{atm}) \simeq L(\text{sat}, \text{min})$$

Som antydnet med Figur 14, er det kanskje mulig å finne fram til direkte relasjoner mellom $L(\text{sat})$ og $Z(1\%)$, forutsatt at $L(\text{atm})$ kan bestemmes. Foreløpig er for få observasjoner tilgjengelig til at noe sikkert kan sies om dette problemet. Derimot er det funnet en sammenheng mellom $F(0)$ og $Z(1\%)$, og denne gjelder trolig generelt i Ytre Oslofjord. Hvis dette resultatet skal kunne brukes på satellittobservasjonene, må $F(0)$ kunne anslås. Siden $F(0)$ er definert som $L(\text{sjø}, 450 \text{ nm})/L(\text{sjø}, 520 \text{ nm})$, blir det regnemessig enklest først å finne anslag for de to radiansene i sjøen ut fra $L(\text{sat})$.

Det er sannsynlig at det er mulig ut fra et større datamateriale å utvikle algoritmer som gir $L(\text{sjø})$ ut fra $L(\text{sat})$ på kanalene TM1, TM2 og TM3. Siden det for dette prosjektet bare fantes brukbare datasett fra 13. mai og 1. august 1988, ble analysen forenklet til å beregne $L(\text{sjø}, 450 \text{ nm})$ ut fra TM1-kanalen, og $L(\text{sjø}, 520 \text{ nm})$ ut fra TM1 og TM2. De oppnådde relasjonene er gitt i Vedlegg A.3.

Figur 16 viser at beregnet radians stemte bra overens med den observerte, selv om det var mindre avvik. Den stiplete linjen $y = x$ er satt inn for å lette sammenligningen. Det må tas i betraktning at den observerte radians i sjøen ble målt opptil 8 timer fra satellittpasseringen, og overensstemmelsen er derfor svært god. Uheldigvis så

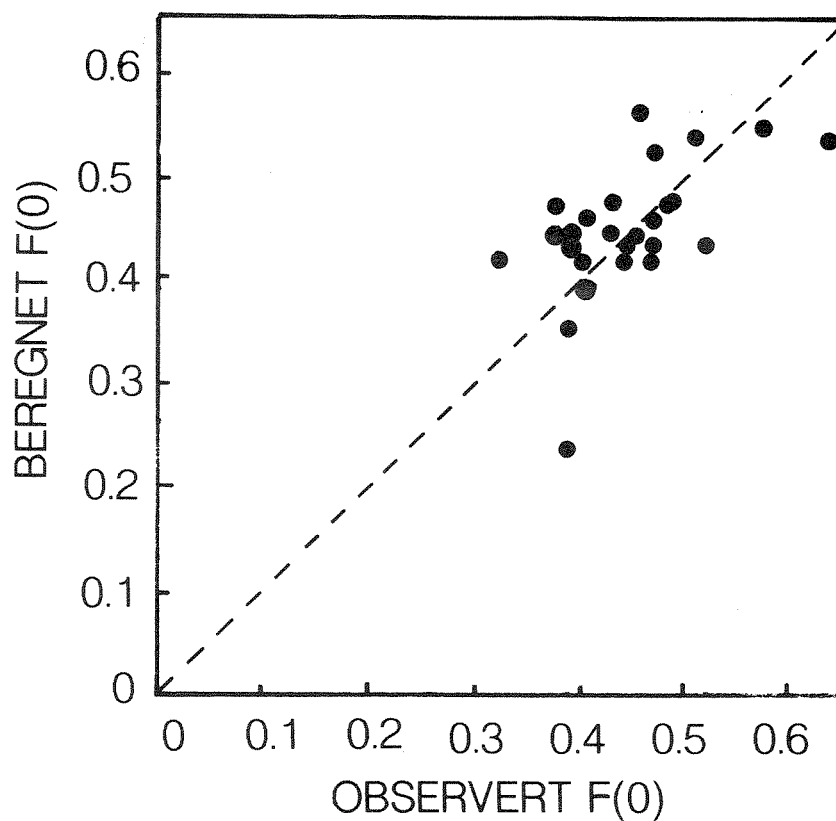
påvirket de nevnte små avvikene forskjellen i fargeindeks, slik at når beregnet og observert fargeindeks ble sammenlignet, ble grupperingen av observasjonene mer skyformet enn ønsket (Figur 17). Det ble allikevel antatt at i middel for et område ville observert og beregnet $F(0)$ stemme bra overens. Antakelsen ble testet på observasjonene fra 13. mai og 1. august 1988. Stasjonene HL2 og HS6 fra henholdsvis Glommas munning og Iddefjorden/Singlefjorden ble sløyfet, siden de adskilte seg sterkt fra de andre stasjonene. Resultatet for middelverdiene av $F(0)$ er vist i Tabell 2. Utfra dette sparsomme materialet synes altså overensstemmelsen mellom middelverdiene å være god.



Figur 16. Radians i overflaten, beregnet ut fra satellittradians, som funksjon av observert radians ved 450 og 520 nm. Radiansbenevning er $W/(m^2 \mu m sr)$. De stiplede linjene er $y=x$.

Tabell 2. Sammenligning av observert og beregnet fargeindeks i overflaten for områder i Ytre Oslofjord og Skagerrak

Område	Antall obs.	F(0)	
		Observed	Beregnet
Ytre Midtfjorden	4	0.52	0.51
Hvaler/Singlefjorden	16	0.43	0.42
Skagerrak	4	0.49	0.51



Figur 17. Fargeindeks i overflaten, beregnet ut fra satellittradians, som funksjon av observert fargeindeks. Den stiplede linjen er $y=x$.

6.3. Geografisk variasjon av den eufotiske sonen

Som påpekt tidligere synes ikke sammenhengen mellom tykkelsen av den eufotiske sonen og lysforholdene å ha blitt undersøkt direkte noengang i Oslofjorden. Prosjektet er derfor henvist til undersøkelser fra andre områder. Disse har vist at enkelte algearter kan vokse på lysnivåer som er mindre enn 0.1 % av den fotosyntetisk aktive irradiansen i overflaten. Likevel anses ofte 1% å være en rimelig middelvei for nedre grense av den eufotiske sonen, og derfor er det denne verdien diskusjonen konsentreres om.

Middelveien av Z(1%) er beregnet for forskjellige områder av fjorden, i første rekke ut fra direkte irradiansobservasjoner, og forøvrig med støtte fra observasjoner av fargeindeksen F(1). De områder som er betraktet er valgt ut fra den oppdelingen som er gjort i fremdriftsrapporten for Eutrofieringsprosjektet (Baalsrud og Magnusson, 1989). Resultatene er framstilt i Figur 18 og i Tabell 3.

Tabell 3. Midlere beliggenhet av 1% lysdyp i Oslofjorden og Skagerrak

Område	Antall obs.	Z(1%) (m)	
		Middel	St.avvik
Indre Oslofjord (B)	13	10	5
Ytre Oslofjord:			
Breidangen (D)	19	14	7
Bastøyområdet (F)	15	14	6
Ytre Midtfjorden (H)	64	13	6
Hvaler/Singlefj. (I)	68	5	4
Skagerrak (S) *	82	23	7

* Definert som alle stasjoner sør for 58°58.4' N

Tallene i parentes på figuren er standardavviket til Z(1%) for området. Tolkes 1%-nivået som nedre grense for den eufotiske sonen, vil dette laget ifølge observasjonene ha en midlere dybde rundt 10 m i Indre fjord, øke til rundt 14 m i Breidangen og Bastøyområdet, og så avta til 13 m i Ytre Midtfjorden. I Hvalerområdet er midlere dybde 5 m, mens 1%-dypet i Skagerrak ligger mellom 16 og 35 m, med en middelvei rundt 23 m.

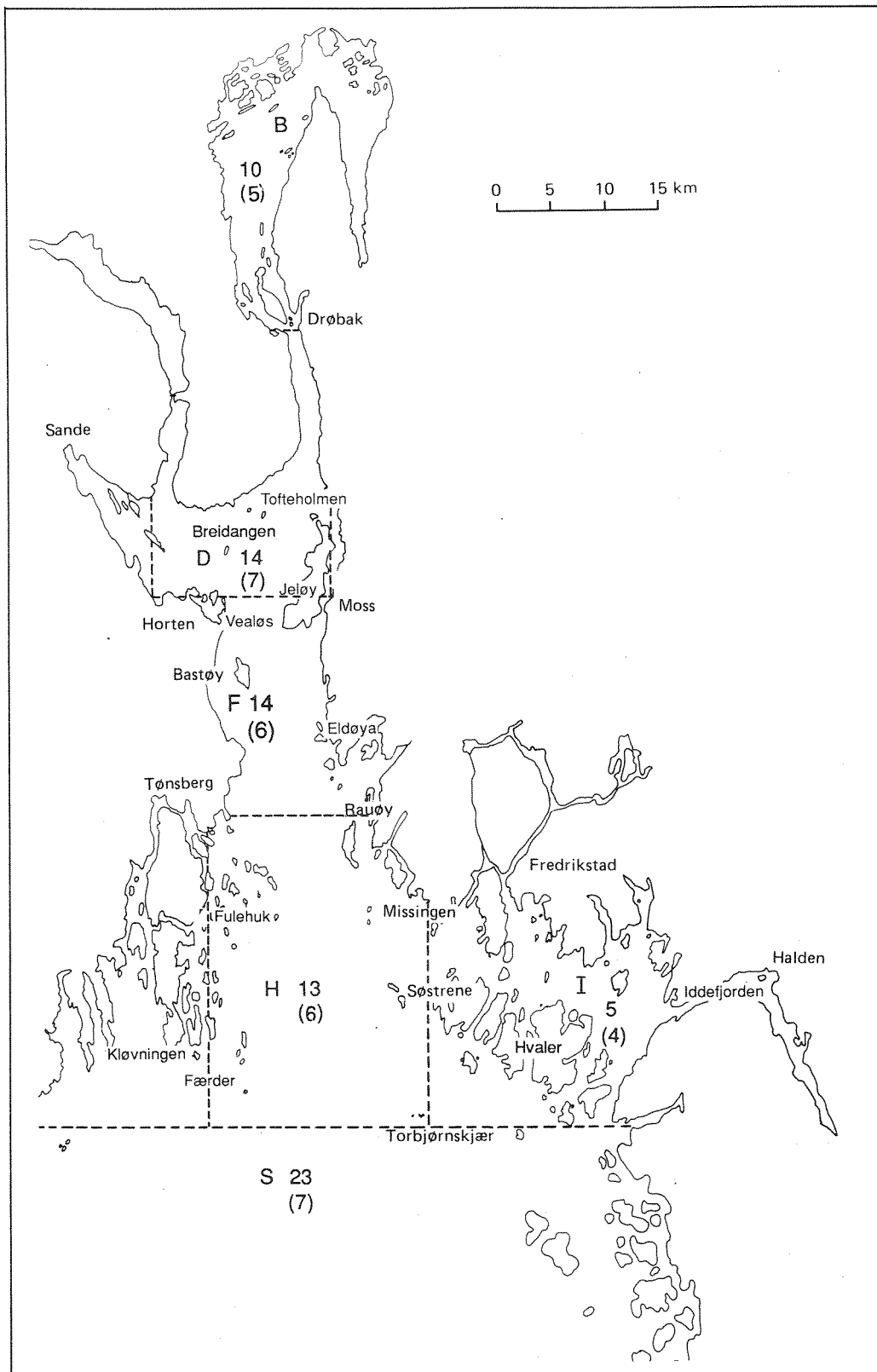
Midlere beliggenhet av 1%-dypet er, med unntak av Hvaler- og Singlefjordområdet, nesten den samme i hele Ytre Oslofjord. Observasjonene i Breidangen kan imidlertid deles i en vestre og østre del, utfra en nord-syd-linje gjennom Mølen ($10^{\circ} 30' E$). Likeledes kan observasjonene i Bastøyområdet deles på samme måte, utfra en linje rett vest for Jeløya ($10^{\circ} 35' E$), og i Ytre Midtfjorden, av linjen $10^{\circ} 40' E$. De middelverdiene som oppstår i de vestre og østre delene av fjorden er vist i Tabell 4.

Tabell 4. Midlere beliggenhet av 1% lysdyp i vestre og østre deler av Ytre Oslofjord

Område	Z(1%) (m)	
	Vest	Øst
Breidangen	12	15
Bastøyområdet	15	12
Ytre Midtfjorden	14	11

Det er klart at forskjellene eller gradientene i de optiske egenskapene går mer på tvers enn på langs av Ytre Oslofjord. Dette skyldes påvirkningen av Glomma- og Drammensfjordvann som skaper betydelige reduksjoner i den eufotiske sonen. I Skagerrakvannet lenger sør gir lysforholdene mulighet for algevekst dobbelt så dypt som i Ytre fjord.

Til sammenligning med tallene over kan det nevnes at ute i Nordsjøen er 1%-nivået funnet ned mot 30 m (Højerslev, 1980), mens det i Norskehavet er målt ned mot 70 m (Aas og Berge, 1976), og i Sargassohavet rundt 100 m (Jerlov, 1976).



Figur 18. 1%-dypets beliggenhet, gitt i meter, i forskjellige områder av Oslofjorden og Skagerrak. (Tallene i parentes er standardavvik for de enkelte områdene).

7. MULIGHETER FOR FORBEDRING AV RESULTATENE

Gjennom 22 toktdøgn har Ytre Oslofjord blitt dekket med stasjoner ca. 10 ganger i perioden mai-august i 1988 og 89. 10 situasjoner er ikke noe stort statistisk materiale, men det gir allikevel idèer om hvordan den midlere situasjonen er. Flere målinger vil kanskje ikke gi så mye nye opplysninger, men middelerverdier og variasjon vil bli mye bedre bestemt. I meteorologi dannes normalene ut fra 30 års målinger, og ingenting tyder på at man kan klare seg med kortere perioder i marin forskning, hvis målet er å oppnå samme nøyaktighet.

De middelerverdier og standardavvik for tykkelsen av den eufotiske sonen som er anslått for forskjellige områder av fjorden, er basert på observasjoner fra perioden mai-august. Hvordan forholdene er de resterende 8 måneder av året, er ikke kartlagt. Kanskje spesielt for å vurdere nedre voksegrense for de fastsittende algene ville det vært av interesse å ha målinger gjennom et år.

I Indre fjord har Institutt for geofysikk foretatt et stort antall irradiansobservasjoner og andre optiske målinger de siste 20 år. Pga. mangel på ressurser ligger disse til dels ubehandlet. Bare data fra 1988 og 89 er tatt med i dette prosjektet. Siden Indre fjord er en av grensene til Ytre fjord, ville en sikrere kjennskap til de optiske egenskapene i Indre fjord også komme Ytre fjord til gode. Siden målingene går 20 år tilbake, gjør de også mulig en vurdering av den forurensningsmessige utviklingen i fjorden. Fra et overvåkingssynspunkt ville det derfor være av interesse å få dette datamaterialet analysert.

Nærmere analyse av forholdene mellom siktedyp og irradians burde kunne gi nyttige resultater, siden store mengder siktedypsdata finnes for Ytre fjord, og spesielt mange fra Hvalerområdet.

L(sat, 450 nm) ble anslått ut fra TM1-kanalen, mens L(sat, 520 nm) ble anslått ut fra TM1 og TM2. Et større observasjonsmateriale kunne gi en bedre og sikrere bestemmelse av disse radiansene, eventuelt ved også å benytte TM3. F.eks. antas det at det store antall refleksjonsspektra som ble målt med de flybårne spektrometrene (Pettersen og medarb., 1990) har muligheter til å gi en slik forbedring.

Det er skissert en mulig metode for direkte sammenheng mellom satellittdata og dybden av den eufotiske sonen, uten å gå veien om fargeindeks. For å kunne si noe mer om denne muligheten er det nødvendig med langt mer enn de 5 stasjoner som ble oppnådd i 1989.

Det er påpekt at dersom man skal utvikle generelle relasjoner mellom satellittobservasjoner og lysklimaet i forskjellige typer sjøvann, er det nødvendig å kunne beregne det bidraget til signalene som kommer fra atmosfæren. Det ble vist at atmosfærebidraget kan beregnes ut fra målinger i sjøen når de atmosfæriske forholdene er konstante utover dagen. Dette er ikke alltid tilfelle, og det hadde derfor vært ønskelig med en metode som ut fra satellittdataene alene kunne anslå atmosfærebidraget, selv om de beste resultatene oppnås i de tilfellene der feltmålinger og fjernmåling kan kombineres. Det er vist at en første tilnærming til radiansbidraget fra atmosfæren kan være den minste observerte satellittradiansen, men det er likevel behov for mer eksakte estimater av dette bidraget. En del litteratur om emnet finnes, men noe enkelt svar er ikke funnet. Dette prosjektet har ikke gitt tid til mer detaljerte litteraturstudier.

Fjernmålingsdata fremkommet gjennom ulike metodeprosjekter ved NIVA den senere tiden burde vært videreanalysert ut fra de erfaringene som er gjort i dette prosjektet. Dette vil kunne bidra til en bedre forståelse av sammenhengen mellom ulike feltmålinger og fjernmålingsdataen, og atmosfærens betydning for disse sammenhengene.

8. LITTERATURLISTE

- BAALSRUD, K. og MAGNUSSON, J., 1989. Eutrofisisituasjonen i Ytre Oslofjord. Fremdriftsrapport. Undersøkelser i 1988. Rapport 376/89 i Statlig program for forurensningsovervåkning.
- HØJERSLEV, N.K., 1978. Daylight measurements appropriate for photosynthetic studies in natural sea waters. J. Cons. Int. Explor. Mer, 38:131-146.
- HØJERSLEV, N.K., 1980. Water color and its relation to primary production. Bound. layer Met., 18:203-220.
- HØJERSLEV, N.K. og JERLOV, N.G., 1977. The use of the colour index for determining quanta irradiance in the sea. Rep. 35, Inst.fys.oceanogr., Univ. Copenhagen, 12 pp.
- HØJERSLEV, N.K., JERLOV, N.G. og KULLENBERG, G., 1977. Colour of the ocean as an indicator in photosynthetic studies. J.Cons.int. Explor. Mer, 37: 313-316.
- JERLOV, N.G., 1974. Significant relationships between optical properties of the sea. In: Optical aspects of oceanography. Ed.:JERLOV og NIELSEN. Academic Press, Aberdeen, 77-94.
- JERLOV, N.G., 1976. Marine optics. Elsevier, Amsterdam, 231 pp.
- LARSEN, G., 1990. Vassdrags og kystområder. Overvåkning 1989. Delrapport: Kystområder. Fylkesmannen i Østfold. Miljøvern-avdelingen. Rapport nr. 1/90.
- MAGNUSSON, J. og SKEI, J., 1984. Basisundersøkelser i Hvaler og Singlefjorden. Hydrografi, vannutskiftning og hydrokjemi. Rapport 170/84 i Statlig program for forurensningsovervåkning. 7/11 1984 103 s.
- PETTERSON, L.H., FRETTE, Ø., JOHANNESSEN, O.M., SØRENSEN, K., SVENDSEN, E., DAHL, E., BORSTAD, G., KERR, R. og GOWER, J.F.R., 1990. Norwegian remote sensing spectroscopy for mapping and monitoring of algal blooms and pollution-NORSMAP'89. NRSC Technical report no. 28 90/02/05, Bergen.

- RØED, L.P., og SKÅTUN, H., 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 3.3b. Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord. Rapport 2. Resultater fra simuleringer. En analyse og oppsummering. Rapport 396/90 i Statlig program for forurensningsovervåking.
- SØRENSEN, K. og LINDELL, T., 1990a. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.7 a: Optiske observasjoner- overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget og fjernmåling. Rapport 387/90 i Statlig program for forurensningsovervåking.
- SØRENSEN, K., NILSEN, J., SÆBØ, H.V., og HOLBÆK-HANSEN, E., 1990b. Satellittfjernmåling av vannkvalitet. Testing av Landsat-5 Thematic Mapper data for kartlegging av Glomma og Iddefjordvannets spredning i Hvaler og Ytre Oslofjord. Rapport 404/90 i Statlig program for forurensningsovervåking.
- SØRENSEN, K., RØED, L.P., MAGNUSSON, J., LINDELL, T., og IRMAN-JACOBSEN, T.B., 1990c. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord 1989. Delprosjekt 4.6b. Verifikasjon av modellresultater mot satellittdata. (Manus).
- AAS, E., ANDRESEN, T., LØYNING, T. og SØRGÅRD, E., 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.7b. Optiske observasjoner - Overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget. Rapport 388/90 i Statlig program for forurensningsovervåking.
- AAS, E. og BERGE, G. 1976. Irradiance observations in the Norwegian and Barents Seas. Rep.23, Inst.geofys., Univ. Oslo, 42 pp.

9. VEDLEGG

A. STATISTISKE RELASJONER MELLOM OPTISKE STØRRELSER

A.1. Relasjoner mellom fargeindeks og irradians

Dypet $Z(p\%)$ der den fotosyntetisk aktive irradiansen har $p\%$ av sin overflateverdi, kan ut fra korrelasjonsanalyse på samtlige observasjoner i 1988 og 1989 uttrykkes som

- (1) $Z(30\%) = -0.4 \text{ m} + F(1) \times 8.5 \text{ m}$, $s' = 0.9 \text{ m}$, $r = 0.92$, $N = 34$,
- (2) $Z(10\%) = -0.8 \text{ m} + F(1) \times 17.5 \text{ m}$, $s' = 1.4 \text{ m}$, $r = 0.94$, $N = 34$,
- (3) $Z(3\%) = -0.9 \text{ m} + F(1) \times 28.8 \text{ m}$, $s' = 2.5 \text{ m}$, $r = 0.94$, $N = 34$,
- (4) $Z(1\%) = -1 \text{ m} + F(1) \times 41 \text{ m}$, $s' = 4 \text{ m}$, $r = 0.92$, $N = 34$,
- (5) $Z(0.3\%) = -1 \text{ m} + F(1) \times 53 \text{ m}$, $s' = 6 \text{ m}$, $r = 0.90$, $N = 34$,
- (6) $Z(0.1\%) = -1 \text{ m} + F(1) \times 65 \text{ m}$, $s' = 8 \text{ m}$, $r = 0.88$, $N = 34$,

der $F(1)$ er fargeindeksen i 1 meters dyp, s' er restavviket til Z (standardavviket mellom estimert og observert Z), r er korrelasjonskoeffisienten og N er antall observasjoner som er benyttet. $F(1)$ har i dette datasettet verdier mellom 0.08 og 0.90, med middelvei lik 0.44 og standardavvik 0.23.

Tilsvarende relasjoner mellom $F(0)$ og de forskjellige irradiansnivåene er gitt under. I datasettet for 1988 og 1989 har $F(0)$ verdier mellom 0.29 og 0.93, middelvei lik 0.56 og standardavvik 0.16.

- (7) $Z(30\%) = -3 \text{ m} + F(0) \times 12 \text{ m}$, $s' = 1 \text{ m}$, $r = 0.87$, $N = 31$,
- (8) $Z(10\%) = -6 \text{ m} + F(0) \times 23 \text{ m}$, $s' = 2 \text{ m}$, $r = 0.87$, $N = 31$,
- (9) $Z(3\%) = -10 \text{ m} + F(0) \times 38 \text{ m}$, $s' = 4 \text{ m}$, $r = 0.86$, $N = 31$,
- (10) $Z(1\%) = -14 \text{ m} + F(0) \times 53 \text{ m}$, $s' = 5 \text{ m}$, $r = 0.85$, $N = 31$,
- (11) $Z(0.3\%) = -18 \text{ m} + F(0) \times 70 \text{ m}$, $s' = 8 \text{ m}$, $r = 0.84$, $N = 31$,
- (12) $Z(0.1\%) = -22 \text{ m} + F(0) \times 85 \text{ m}$, $s' = 10 \text{ m}$, $r = 0.82$, $N = 31$.

$F(0)$ er korrelert til $F(1)$ ved

$$(13) \quad F(0) = 0.22 + 0.65 \times F(1), \quad s' = 0.05, \quad r = 0.93, \quad N = 31.$$

Uttrykkene over gir de forskjellige irradiansnivåene som funksjon av $F(0)$ eller $F(1)$. Ved å eliminere fargeindeksen er det mulig å oppnå relasjoner mellom de forskjellige nivåene, men best resultat fås ved å korrelere direkte. F.eks. gir lineær korrelasjon mellom $Z(1\%)$ og $Z(0.1\%)$ at

$$(14) \quad Z(0.1\%) = 1.64 \times Z(1\%), \quad s' = 3 \text{ m}, \quad r = 0.98, \quad N = 37.$$

A.2. Z(1%) beregnet ut fra fargeindeks og siktedyp

De 6 stasjonene i 1988 viste at forbindelsen mellom Z(1%) og F(1) i Indre fjord var gitt som

$$(15) \quad Z(1\%) = 1 \text{ m} + F(1) \times 23 \text{ m}, \quad s' = 1.0 \text{ m}, \quad r = 0.95, \quad N = 6.$$

Middelverdien av Z(1%) var 7.3 m, slik at restavviket relativt til middelverdien utgjorde 14%. Til sammenligning var forbindelsen til siktedypet S samme sted gitt ved

$$(16) \quad Z(1\%) = 4.4 \text{ m} + 0.67 \times S, \quad s' = 2.3 \text{ m}, \quad r = 0.72, \quad N = 6.$$

Restavviket relativt til middelverdien av Z var i dette tilfellet 32%.

For de samme stasjoner som i (1)-(6), dvs. samtlige stasjoner i Indre og Ytre fjord og Skagerrak i 1988 og 1989, er Z(1%) lineært korrelert til S ved

$$(17) \quad Z(1\%) = 2.1 \text{ m} + 1.9 \times S, \quad s' = 5 \text{ m}, \quad r = 0.88, \quad N = 36,$$

mens restavviket ifølge (4), når Z(1%) estimeres ut fra F(1), er lik 4 m. Middelverdien av Z(1%) var for dette området 16 m. Når Z estimeres ut fra F(1) blir restavviket 25% relativt til middelverdien av Z, mens avviket økes til 31% når S benyttes.

Gevinsten i nøyaktighet ved å bruke F(1) i stedet for S til å estimere Z(1%) blir altså relativt sett betraktelig redusert når observasjonene er fra så heterogene områder som hele Oslofjorden og Skagerrak.

A.3. Relasjoner mellom L(sat) og L(sjø)

L(sat) er oppoverrettet radians målt av kanal TM1 eller TM2 i Landsat-satellitten. L(sjø) er i (18) og (19) oppoverrettet radians rett under havoverflaten, gitt som middelverdien av observert radians ved 450 og 520 nm, og i (20) og (21) som observert radians ved 520 nm.

Korrelasjonsanalyse på radiansobservasjoner fra 13. mai og 1. august 1988 gir de relasjonene som er framstilt ved de rette, stiplede linjene i Figur 15:

TM1, 13. mai 1988:

$$(18) \quad L(\text{sat}) = 33.5 + 1.06xL(\text{sjø}), \quad s' = 0.2, \quad r = 0.99, \quad N = 12,$$

TM1, 1. august 1988:

$$(19) \quad L(\text{sat}) = 28.4 + 0.99xL(\text{sjø}), \quad s' = 0.5, \quad r = 0.96, \quad N = 13,$$

TM2, 13. mai 1988:

$$(20) \quad L(\text{sat}) = 18.3 + 1.38xL(\text{sjø}), \quad s' = 0.8, \quad r = 0.95, \quad N = 12,$$

TM2, 1. august 1988:

$$(21) \quad L(\text{sat}) = 15.7 + 1.31xL(\text{sjø}), \quad s' = 0.9, \quad r = 0.97, \quad N = 13.$$

Benevningen for L i ligningene over er $W/(m^2 \mu m sr)$.

$L(\text{sjø}, 450 \text{ nm})$ kan estimeres ut fra satellittkanalen TM1, og $L(\text{sjø}, 520 \text{ nm})$ ut fra TM1 og TM2. Korrelasjonsanalyse på observasjonene fra 13. mai og 1. august 1988 ($N = 25$) har som resultat at

$$(22) \quad L(\text{sjø}, 450 \text{ nm}) = 0.58x(L(\text{sat}, \text{TM1}) - L(\text{atm}, \text{TM1})),$$

$$(23) \quad L(\text{sjø}, 520 \text{ nm}) = 0.60x(L(\text{sat}, \text{TM1}) - L(\text{atm}, \text{TM1})) \\ + 0.39x(L(\text{sat}, \text{TM2}) - L(\text{atm}, \text{TM2})).$$