



Rapport

376|89

Oppdragsgiver

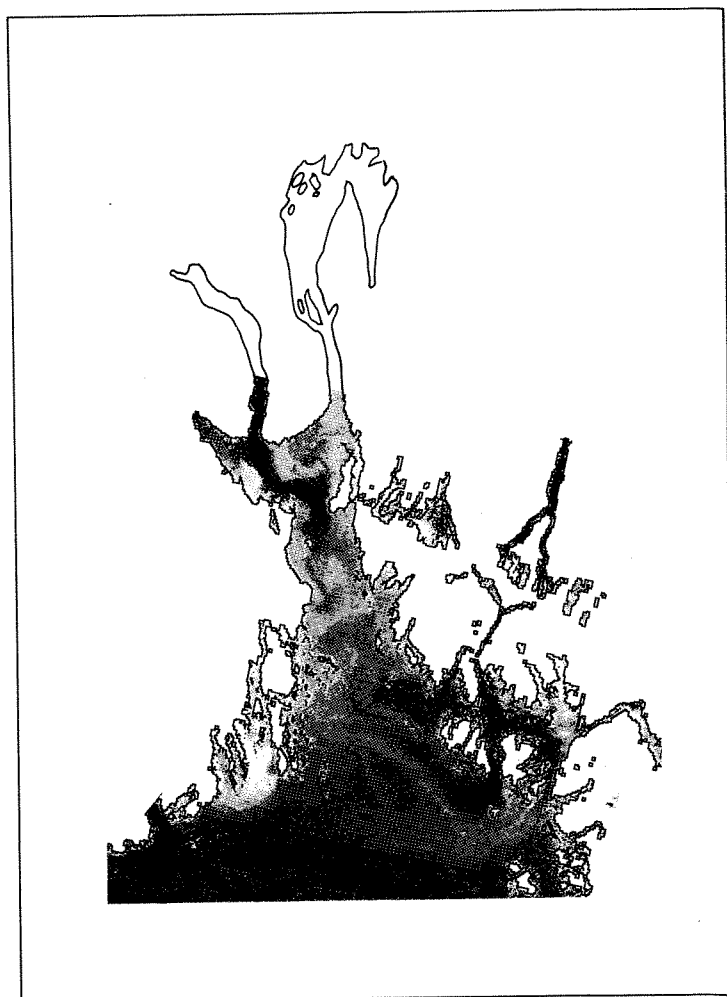
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

NIVA  
UiO  
VERITEC

# Eutrofi- situasjonen i YTRE OSLOFJORD

FREMDRIFTSRAPPORT  
UNDERSØKELSER I 1988





## 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 utslipp 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.: 8801109
Undernummer:
Løpenummer: 2289
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Fremdriftsrapport Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord Undersøkelser i 1988 (Overvåkingsrapport nr. 376/89 )	Dato: 25. august 1989
	Rapportnr.
Forfatter (e):  Kjell Baalsrud Jan Magnusson	Faggruppe: Marin eutrofi
	Geografisk område: Oslofjorden
	Antall sider (inkl. bilag): 90

Oppdragsgiver: <b>Statens forurensningstilsyn (SFT)</b> (Statlig program for forurensningsovervåking)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Det er gjennomført en bred intensivundersøkelse i Ytre Oslofjord med sikte på å vurdere behovet for og muligheten til utslippsreduksjoner. Fremdriftsrapporten beskriver resultater i 1988. Prosjektet føres videre i 1989 med samlet sluttrapport våren 1990. Undersøkelser av sedimenter, bunndyr, oksygenforhold og vannkjemi viser at en eutrofiering finner sted, men ennå ikke er dramatisk. De fysiske forhold i Ytre Oslofjord er meget kompliserte med hurtig skiftende strømmer og virvler. De foreløpige resultater viser at det er nødvendig med reduksjon i utslipp fra tettbebyggelse og industri ved fjorden, og landbruk og andre virksomheter langs vassdragene. Det kan ikke anbefales tiltak mot bare ett næringssalt.
--

4 emneord, norske:

1. Oslofjord
2. Marin eutrofi
3. Skagerrak
4. Strømmålinger

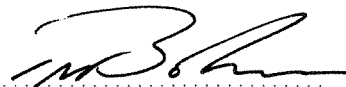
4 emneord, engelske:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-1590-5

Programleder, overvåking



# Statlig program for forurensningsovervåking

FREMDRIFTSRAPPORT

EUTROFISITUASJONEN I YTRE OSLOFJORD

UNDERSØKELSER I 1988

Prosjektleder: Kjell Baalsrud, NIVA  
Prosjektgruppe: Finn-Erik Dahl, VERITEC  
John S. Gray, UiO  
Jan Magnusson, NIVA

Bildet på forsiden av rapporten er tatt fra Landsat-5-satellitten 13. mai 1988, kl 0956 (GMT). Bildet viser temperaturen på overflatevannet. Kaldt (mørk sjattering) vann strømmer fra Drammensfjorden ut mot sør mellom Horten og Jeløya og kaldt vann fra Glomma strømmer vestover, tvers munningen av Ytre Oslofjord.

## I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

Avsnitt	Side
Forord	
1 SAMMENDRAG	1
2 INNLEDNING	9
2.1 Oppdragsgiver	9
2.2 Formål	9
2.3 Geografisk avgrensning av området	9
2.4 Brukerinteresser	11
2.5 Forurensninger	12
2.6 Andre undersøkelser	12
3 ARBEIDSOPPLEGG OG GJENNOMFØRING	13
3.1 Programmet	13
3.2 Feltarbeidet	14

Avsnitt	Side
4 KORT OPPSUMMERING AV DE ENKELTE DELPROSJEKTENE	18
5 HVA VET VI NÅ OM DE FYSISKE FORHOLDENE?	33
5.1 Dypvannsfornyelsen (fra ca. 125 meters dyp til bunnen)	33
5.2 Mellomlagsfornyelse (ca. 50-125 meters dyp)	36
5.3 Overflatelagets vannfornyelse (0-50 meters dyp)	43
5.4 Skagerrak og Ytre Oslofjord	55
6 HVA VET VI OM OKSYGENFORHOLDENE OG DE BIOLOGISKE FORHOLDENE	58
6.1 Oksygenforholdene	58
6.1.1 Oksygenforholdene i hovedfjorden	58
6.1.2 Oksygenforholdene i lokale områder	65
6.2 Næringsalter og plankton	67
6.3 Bunndyr	71
6.3.1 Hovedfjorden	72
6.3.2 Sandebukta og Mossesundet	74
6.4 Sedimenter	76

Avsnitt	Side
7 OM FJORDBELASTNING OG UTSLIPPSBEGRENSNINGER	77
7.1 Innledning	77
7.2 En praktisk problemstilling	78
7.3 Det geografiske området	79
7.4 Gruppering av forurensningskildene	80
7.5 Vurdering av datagrunnlaget	81
8 LITTERATUR	87
8.1 Rapporter innenfor prosjekt: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord (EY0)	87
8.2 Øvrig litteraturhenvisning	89

Figur		Side
1	Oslofjordområdet inndelt i delområder.	10
2	Stasjonsnett for bløtbunnsfaunaundersøkelser i 1988	15
3	Stasjonsnett for hydrokjemi og sediment i 1988	15
4	Stasjonsnett for oksygentokt i 1988	16
5	Stasjonsnett for hydrografiske og optiske observasjoner, samt strømmålinger i 1988 (Dybdekoter i meter)	17
6	Arealer og dyp i Oslofjorden	34
7	Vertikalt dybdesnitt fra Bunnefjorden til Torbjørnskjær	35
8	Temperatur- og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet i perioden februar - desember 1988	37
9	Saltholdighet (‰) den 2-5.8. 1988 fra Drøbak til stasjon S9 i Skagerrak.	39
10	Østkomponenten av strøm mellom stasjonene S1 og S9 i Skagerrak den 2.8. 1988. Observasjonene er tatt med ADCP fra Trygve Braarud.	39
11	Strømhastighet v.h.a ADCP og saltholdighet på 20 meters dyp i Skagerrak den 2-3.8.1988, kombinert med saltholdighetsobservasjoner fra Sveriges meteorologiska og hydrologiska institut (SMHI) den 22-25.8.1988. Satellittbilde (figur 12) er fra samme område den 1.8.1988.	40
12	Temperatur i Skagerrak og Ytre Oslofjord den 1.august 1988. Skagerrakbildet er fra NOAA-9 (AVHRR) k1 1409 (GMT) og utsnittene er fra Landsat-5 (TM) k1. 0956 (GMT).	41



<v>

- 13 Overflatesaltholdigheten i Ytre Oslofjord i perioden 13-16.6. 1988. Observasjonene er tatt kontinuerlig i sjøvannsinntak på forskningsfartøyet. Stiplede linjer vest Hvaler er trukket m.h.a. satellittbildet i figur 14. 44
14. Turbiditeten i Ytre Oslofjord den 14. juni 1988 0956 (GMT). Utsnittene over Breidangen og Hvalerområdet viser den relative fordelingen av suspendert materiale. Data fra Landsat-5 (MSS). 45
- 15 Døgnmiddel av vannstand (cm) i Østersjøen (Stockholm) og Oslofjorden (Oscarsborg) i perioden mai-oktober 1988. 48
- 16 Modellsimulering av "sporstoff" fra Drammensfjorden og Glomma, sommersituasjon. 48
- 17 Overflatesaltholdigheten i Skagerrak og Ytre Oslofjord i perioden 2-5.8. 1988, kombinert med observasjoner fra SMHI i perioden 22-25.8. 1988. 49
- 18 Mengde partikulært aluminium ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevannet i perioden 2-5.8.1988. 50
- 19 Fargeindeks i 1 meters dyp i perioden 1-5.8.1988 51
- 20 Modellsimulering av ferskvannsspredning fra Drammensfjorden og Glomma når de ytre grensebetingelsene (Ekmantransporten, nordgående strøm langs svenskekysten) er fjernet. 52
- 21 Saltholdighetsvariasjonen på 5 meters dyp på ulike steder i Ytre Oslofjord i juni 1988, samt på 10 meters dyp ved Grisebådarna. 57
- 22 Tettheten (saltholdigheten) og nordkomponentene av strømmen på 10 meters dyp ved Grisebådarna, juli 1988 57
- 23 Oksygen ( $\text{ml/l}$ ) i Bunnefjorden til Bastøy i perioden 19-21.10.1987 59

<vi>

24	Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i Drøbaksundet i perioden februar - desember 1988	60
25	Oksygenobservasjoner i Ytre Oslofjord i perioden juni-august 1988	61
26	Oksygenobservasjoner i Ytre Oslofjord i perioden september- november 1988	62
27	Oksygenutviklingen i oktober måned i Drøbaksundet i tidsrommet 1936 til 1987. (Data fra Dannevig 1945, Statens biologiske stasjon i Flødevigen 1945-51 og 1953-61 samt NIVA 1962-65 og 1973-87).	63
28	Oksygenforholdene (%-metning) i Sandebukta og Mossesundet, oktober 1988	66
29	Ortofosfat og nitrat i Ytre Oslofjord i perioden 1.11 - 2.11.1988	69
30	Integrert klorofyll a (0-50 meters dyp) i Ytre Oslofjord og Skagerrak i perioden 1-5.8.1988	72
31	Bløtbunnsfaunabiomasse (g/m <sup>2</sup> ) i Ytre Oslofjord 1914, 1985 og 1988.	73
32	Utberedelse av sterkt og betydelig forurenset bunn i Sandebukta (øverst) og Mossesundet (nederst)	75
33	Gruppering av forurensningstilførsler	82

#### Tabeller.

1	Tokt i Ytre Oslofjord i 1988	14
2	Totale forurensningstilførsler til Ytre Oslofjord	19
3	Foreløpig anslag over tilførsler til Oslofjorden. Alle tall i tonn pr. år.	86

## Forord

Denne fremdriftsrapporten omhandler en undersøkelse av eutrofi-situasjonen i Ytre Oslofjord, begrenset av Drøbakerskelen i nord og 59. breddegrad i sør. Undersøkelsen har vært utført for Statens forurensningstilsyn, SFT, som ledd i Statlige program for forurensningsovervåking. Arbeidet har vært utført av Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA, i samarbeid med VERITEC og Universitetet i Oslo, UiO. Avdelingsleder F-E Dahl ved VERITEC har hatt koordinerende ansvar ved VERITEC, og professor J.S. Gray ved Universitetet i Oslo. I delprosjekt 3.7A (fjernmåling) har det vært et uformelt samarbeid med docent Tommy Lindell ved Centrum for Bildanalys, Universitetet i Uppsala.

Denne fremdriftsrapporten bygger på feltarbeid gjennomført i 1988, som har resultert i en rekke delrapporter. Sent i 1988 ble det bestemt at undersøkelsen skulle videreføres i 1989 for å utdype og supplere det allerede innhentede materialet. Senere ble det også bestemt at de foreløpige resultatene skal sammenfattes og presenteres i en fremdriftsrapport, mens en mer omfattende og fullstendig rapport for begge undersøkelsesårene skal fremlegges våren 1990.

Det foreligger 20 delrapporter, hvorav 5 er rene datasamlinger. Delrapportene er produsert omtrent samtidig, slik at hver enkelt bare i liten grad har kunnet trekke inn materialet fra de andre. I fremdriftsrapporten vil resultatene bli behandlet på tvers av delprosjektene med sikte på å gi en oversikt over det nye kunnskapsnivået. Det vil imidlertid bare til en viss grad bli gjort de sammenfattende tallbehandlinger som mye av datamaterialet egner seg for.

Hovedansvarlige for de større delprosjektene har vært M.I. Abdullah, J.Gray og E. Aas (UiO), F.-E.Dahl og L.-P. Røed (VERITEC), K.Baalsrud, H.O.Ibrekk, K.Sørensen og Jan Magnusson (NIVA).

I fremdriftsrapporten har i tillegg til nevnte medarbeidere, følgende bidratt med sammenfatning av delresultater: R. Konieczny, S.-R. Erga og B. Rygg, samtlige fra NIVA. I kapitel 7 har prosjektledelsen laget en foreløpig vurdering av den relative betydning av de forskjellige forurensningstilførsler.

Prosjektet har hatt karakter av intensivundersøkelse med kort tid mellom planlegging, gjennomførelse og rapportering. Feltarbeidet har tildels vært tøft med lange dager og vanskelige værforhold.

Alle deltagere i felt, laboratorier og ved skrivebord takkes for en helhjertet innsats.

Oslo den 25. august 1989

Kjell Baalsrud Prosjektleder

## **1 SAMMENDRAG**

### **Formål**

Formålet med denne undersøkelsen er å anslå behovet for utslippsreduksjoner av eutrofierende stoffer og organisk stoff til Ytre Oslofjord, og å vurdere de forurensede nærområders effekt på Ytre Oslofjord.

### **Konklusjoner**

Undersøkelsene har bekreftet at deler av Ytre Oslofjord viser klare tegn på eutrofiering. Eutrofieringen synes å ha størst effekt i Breidangen/Drøbaksundet. Undersøkelsen har vist at forklaringen til dette i hovedsak ligger i vannutskiftningen og overflatelagets sirkulasjon. Viktige tilførsler vil være lokale utslipp, tilførsler fra Glomma, Drammensfjorden og Indre Oslofjord samt tilførsler fra Skagerrak.

Det er nødvendig med lokale tiltak for å redusere næringssalttilførslen til Ytre Oslofjord for å stoppe eutrofiutviklingen. Derimot har det foreløpig ikke vært mulig ut fra gjennomførte observasjoner å kunne anbefale fjerning av enten fosfor eller nitrogen.

Reduksjon av utslipp av organisk stoff er helt nødvendig i enkelte områder som f.eks. Mossesundet og Sandebukta. Det er ikke klart hvor nødvendig ytterligere tiltak er.

Det er behov for å se nærmere på de biologiske forholdene i de ytre delene av Ytre Oslofjord for å avgjøre eutrofitilstanden i dette området.

I hovedrapporten som forelegges våren 1990, vil en mer fullstendig konklusjon bli fremlagt.

## Gjennomførelse

For å kartlegge eutrofisituasjonen ble det i 1988 tatt observasjoner av bløtbunnsfauna (21 stasjoner), sediment (34 stasjoner), hydrokjemiske forhold i vannmassene (fra 20-40 stasjoner inklusive 18 stasjoner i Skagerrak) og undersøkelse av oksygenforholdene (43 stasjoner). Det ble foretatt et par observasjoner av begrensende næringssalt for planteplankton (3 tokt).

For å forbedre kjennskapen til hydrografi og strømmer i området, ble det gjennomført strømmålinger i 6 posisjoner i tillegg til observasjoner med akustisk vertikalprofilerende strømmålere (ADCP) på tokt i Ytre Oslofjord/Skagerrak august 1988. Som følge av omfattende havari av strømmåleriggjer, ble datagjenfangsten begrenset.

For å få synoptiske informasjoner om spredning av ulike vannmasser i Ytre Oslofjord/Skagerraks overflatelag ble det gjennomført optiske observasjoner på 9 tokt, hvorav 3 tokt med bearbejdede satellittdata. De optiske observasjonene ble også gjort for å karakterisere vannmassene i det øvre vannlaget hvor fotosyntesen foregår.

En første versjon av en numerisk (tyngderedusert) modell for overflatelagets sirkulasjon er utviklet og kontrollert mot feltobservasjoner.

Det er i tillegg utført mindre undersøkelser av Sandebukta og Mossesundet m.h.p. hydrografi, bløtbunnfauna, sedimenter og strandbiologiske befaringer.

## Resultater

De enkelte delundersøkelsene har vist:

### 1. Eutrofieringstilstanden.

Bløtbunnsfaunaundersøkelsene har påvist en betydelig eutrofiering av Ytre Oslofjord siden 1914 da det også ble gjort undersøkelser. Biomassen har økt kraftig på dyp større enn 55 meter (gjennomsnittlig med 55 gram pr. m<sup>2</sup>). Dette er anslagsvis en firedobling av biomassen i 1914. Det var tydelig forskjell i artssammensetning og biomasse på ulike dyp i fjorden. Det var ikke mulig å påvise tydelige geografiske gradienter i fjorden. Økningen i biomasse skyldes økt tilgang på næring, dvs. organisk stoff.

Sedimentanalysene bekreftet resultatene av bløtbunnsfauna-

undersøkelsene ved en registrert anrikning av karbon i sedimentet. Karbonvariasjonen var avhengig av dypet og det ble ikke konstatert store geografiske forskjeller, unntatt i nærheten av utslipp til treforedlingsindustrien, samt på to "grunne" stasjoner på begge sider av Ytre Oslofjord. Analysene viste videre en anrikning av nitrogen og fosfor i de øverste 10 til 50 cm av sedimentet. Fosforinnholdet var noe høyere i Breidangen/Drøbaksundet enn i øvrige deler av fjorden. Karbon/nitrogen forholdet viste at det organiske materialet i hovedsak stammer fra planteplankton og andre marine organismer.

Analyser av næringssalter og oksygen har vist horisontale gradienter, med størst konsentrasjoner av næringssalter i Breidangen/Drøbaksundet som sammenfaller med lavere oksygenkonsentrasjoner. De laveste oksygenkonsentrasjonene ble observert i Mossesundet og Sandebukta. I indre havn i Horten ble det registrert hydrogensulfid.

En sammenligning av oksygenkonsentrasjonen i Drøbaksundet og Breidangen i oktober måned i perioden 1973-87 med observasjoner i periodene 1936-39 og 1962-65 viste klart lavere oksygenkonsentrasjoner i 1973-87 fra underkant av fotosyntesesonen til bunnen. I oktober 1987 ble laveste konsentrasjon i hovedfjorden registrert like under sprangsjiktet, samt nær bunnen i Breidangen, på 200 meters dyp. I 1988 ble det også registrert reduserte oksygenkonsentrasjoner ved Missingen/Rauøy på 350 meters dyp. Tilsynelatende oksygenforbruk i fjorden august 1988 var størst i dypvannet i ytre del av fjorden fra ca. 300 meters dyp til bunn (Hvalerdypet), fra ca. 250 meters dyp til bunn ved Rauøy, og fra ca. 20-100 meters dyp i Breidangen og Drøbaksundet. Oksygenkonsentrasjonen var dog på disse dyp større enn 3 ml/l, som kan regnes som en grense for tilfredsstillende forhold.

Den økte tilførselen av organisk materiale til de dypere vannmasser og til bunn har påvirket bunnfaunaen og bunnmiljøet (sedimentene). Det er ikke registrert ekstremt lave oksygenkonsentrasjoner i hovedvannmassene, men sedimentanalysene viste områder som var nær oksygenfrie.

Sammenfattes nåværende kjennskap til eutrofitilstanden i Ytre Oslofjord, viser foreløpige resultater en klar eutrofiering av området. Det er ikke konstatert direkte negative effekter (dvs. en kvalitativ forandring av økosystemet som f.eks. kan påvirke fiskeproduksjonen i negativ forstand) av overgjødning i hovedfjorden, men sedimentanalysene og oksygenforholdene i fjorden viser at grensen til å registrere negative effekter kan være nær. Imidlertid er forholdene slik at det under perioder med en naturlig reduksjon av vannutskiftningen noen år kan oppstå negative effekter i området. Uten å foreløpig kunne

kvantifisere dette, viser trendene i bunnfauna og oksygenkonsentrasjon at forholdene hurtig kan bli kritiske ved en uheldig kombinasjon av dårlig vannutskiftning og ekstra gunstige betingelser for algeoppblomstring.

Indre Oslofjord er helt avhengig av at det dypvannet som vinterstid tilføres fjorden er oksygenrikt. Den registrerte reduksjonen i oksygen i mellomnivåer i Drøbaksundet/Breidangen er tilstrekkelig til å ha en klar negativ effekt på oksygenforholdene i Indre Oslofjord, under forutsetning av at det er dette vannet som danner nytt dypvann i Indre Oslofjord.

## 2. Årsaker til eutrofieringen.

Eutrofiering forårsakes av en økning av næringssaltstilførselen, slik at planteplanktonbiomassen øker. Dette kan gi negative effekter ved økt belastning av sedimenterende alger på dypvannet og derved redusert oksygeninnhold med vanskeligere forhold for dyrelivet i vann og på bunn. Andre konsekvenser er dårligere sikt i overflatevannet, med tynnere fotosyntesesone. Man får derved en forandring av grunnlaget for konkurransen mellom ulike arter av fastsittende alger og således forandrede gruntvannssamfunn. Forekomsten av giftige alger vil også kunne øke når næringsgrunnlaget er godt.

Ved tiltak mot eutrofiering er hovedoppmerksomheten rettet mot vekst av planteplankton og oksygenbalansen i de dypere vannlag og ved bunn. Det er derfor viktig å kunne beregne den totale biomasseproduksjonen og hvor stor del av denne produksjon som skyldes ulike tilførelskilder. Likeså er det av vekt å få klarlagt de ulike kilders bidrag til oksygenforbruket i dypvannet.

De største lokale tilførsler av næringsalter kommer fra Glomma/Hvalerområdet, Drammensfjorden, Indre Oslofjord, Tønsberg-Larvik og Mossområdet. Utslipp fra disse områdene utgjør ca 90% av fosfor og nitrogentilførselen. Tilførslene fra Glomma/Hvalerområdet er klart størst, ca. 50%. Tilførslene fra Drammenselva og Glomma skjer i overflatelaget, mens øvrige dominerende tilførsler skjer tildels som dyp-utslipp som bare i begrenset utstrekning direkte påvirker overflatelaget. Totalt tilføres hele Oslofjorden ca. 1 600 tonn fosfor og ca. 28 000 tonn nitrogen pr. år fra land. Mengden organisk stoff er av beregningsmessige grunner ikke summert, men utslipp av trefiber fra treforedlingsindustrien er ca. 14 000 tonn pr. år. De beregnede tilførsler fra randområdene til Ytre Oslofjord viser imidlertid ikke den korrekte belastningen. Det skjer en betydelig sedimentering av fosfor i f.eks. Indre Oslofjord og Drammensfjorden, tildels også reduksjoner



av tilført nitrogen og organisk stoff.

For å kunne beregne de egentlige tilførsler som belaster Ytre Oslofjord er det nødvendig å kjenne nettotransporten fra de lokale randområdene Drammensfjorden, Indre Oslofjord, Hvalerområdet og Larvikfjorden (søndre Vestfold). I tillegg kommer transporter fra Skagerrak, som igjen er påvirket av Kattegatt (Østersjøen) og søndre Nordsjøen.

Foreløpig er det satt opp et meget forenklet budsjettanslag for å illustrere en slik beregning. Resultatet viser at Ytre Oslofjord mottar et overskudd av nitrogen i tilførslene i forhold til planteplanktonets gjennomsnittlige behov av fosfor og nitrogen. Anslagsvis er det potensielle oksygenforbruket som tilførslene forårsaker, mellom 105 000 til 183 000 tonn pr år. Tilførsel av organisk stoff fra land står for 30 til 40 % av det potensielle oksygenforbruket. Her utgjør utslipp fra industri en betydelig del. Tilførsler fra Skagerrak utgjør 35 til 40 % av det potensielle oksygenforbruket. De foreløpige beregningene viser at ca. 1/3-del av beregnet potensielt oksygenforbruk skyldes "tilførsler" fra Skagerrak, 1/3-del organisk stoff fra land og 1/3-del skyldes algeproduksjon som følge av utslipp av næringsalter fra land.

Det anslag som er gjort på tilførslene til Ytre Oslofjord, er et foreløpig regneksempel, og vil bli gjenstand for en ny gjennomgang og justering ved den endelige rapporteringen fra prosjektet våren 1990.

For å kunne avgjøre de enkelte tilførslers relative effekt på Ytre Oslofjord er det nødvendig å kjenne til tilførslenes influensområde. For Glomma og Drammenselva har det blitt utført en rekke analyser av parametre som forteller oss om elvenes influensområder. I tillegg til kjemiske analyser av vannet har elvenes influensområde blitt undersøkt med optiske metoder og satellittdata. Disse observasjoner er også blitt brukt til å kontrollere resultatene fra en ny modell av overflatestrømmene i Ytre Oslofjord. Modellen er siden brukt eksperimentelt for å kunne forklare normalsituasjoner såvel som noen ekstrem-situasjoner.

Ved optiske observasjoner er vann fra Drammensfjorden, Glomma og Skagerrak skillt ut. Dessverre har det foreløpig ikke vært mulig å skille ut vann fra den Baltiske strømmen. Sammen med observasjoner fra satellitt og observasjoner av partikulært materiale kan følgende influensområder defineres: Brakkvann fra Drammensfjorden er observert og identifisert i Breidangen i hovedsak på vestsiden, men ved enkelte tilfeller inn mot Drøbak. I syd ble spredningen av brakkvannet i overflaten registrert ned til den sydlige delen av Bastøy. Ut fra felt-

observasjonene synes et primært influensområde for Drammenselva å være vestre del av Breidangen og området mellom Horten og Gullholmen.

Brakkvann fra Glomma ble registrert så langt nord som ved Larkollen samt så langt sør som til et område mellom Væderøene og Sydkoster ved svenskekysten. Normal spredning sommerstid synes å være mot vest, dvs. tvers over munningen av fjorden mot Tjøme/Færder. Kun ved enkelte tilfeller strømmer Glommavann sørover mot Koster og nordover mot Larkollen. Vann fra Skagerrak ble i overflaten ikke funnet lengre nord enn Færder.

Eksperimenter med modell (numeriske tyngderedusert modell) av overflatestrømmer i Ytre Oslofjord, viste at den i store trekk klarer å simulere ulike observerte situasjoner. Sammenligningen med feltobservasjoner er ikke ferdig, men foreløpige resultater viser at: Den normale sommersituasjonen er at brakkvann fra Drammenselva strømmer mot Horten og ut mellom Horten og Gullholmen. En ofte forekommende hvirvel i Breidangen nord for Horten forlenger oppholdstiden på store deler av vannet fra Drammensfjorden i området. Modellresultater viser også en spredning av vann inn mot Drøbaksundet, men dette er mest vanlig i situasjoner med sterk sørlig vind.

### 3. Tiltak mot eutrofieringen.

Foreløpig er det sannsynliggjort at det er tiltak mot tilførsler av næringsalter fra Drammensfjorden og Glomma som i første rekke er aktuelt. Subsidiært vil muligens også tilførsler fra Indre Oslofjord bli aktuelt å begrense ytterligere. Lokalt spiller også utslipp fra treforedlingsindustrien en ikke uvesentlig rolle som f.eks. i Mossesundet.

Hvilke tilførselskilder som er viktigst å begrense og hvor stor reduksjonen bør være, er ikke klarlagt. Det er gjort innledende undersøkelser av begrensende næringsalter for planteplankton, og observasjoner av lysklima og biomasse samt enkelte kvalitative observasjoner av planteplanktonet. Videre er hydrokjemiske observasjoner gransket m.h.t. potensiell næringsbegrensning i området.

I begynnelsen av juli ble det ved direkte observasjoner konstatert at planktonveksten var samtidig, men bare svakt begrenset av nitrogen og fosfor, mens den i august var klart begrenset av fosfor. De hydrokjemiske observasjonene fra sommeren 1988 viste heller ikke noen klar nitrogen eller fosforbegrensning i området. Ut fra foreliggende feltobservasjoner kan det således ikke anbefales tiltak mot kun ett nærings salt.

Klare effekter av utslipp av organisk stoff er konstatert i nær-områdene til utslippene fra treforedlingsindustrien. Sedimentanalyser og kjemiske vannanalyser peker på at også andre kilder enn planteplankton kan ha betydning for oksygenforholdene på mellomnivåer og i dypvannet.

#### 4. Langtransporterte forurensninger.

Innenfor prosjektet er det også startet observasjoner for å forstå dypvannsfornyelsen i Ytre Oslofjord. Hensikten med dette er å få undersøkt størrelsen på vannutskiftningen mellom Skagerrak og Ytre Oslofjord og transporter av næringssalter fra Skagerrak til Oslofjorden. Dessuten er det også av betydning for forholdene i fjorden å få kjennskap til ulike vannmassers oppholdstid.

Observasjonene i 1988 har gitt verdifull informasjon om strømforholdene i Skagerrak. Det ble bl.a. registrert en situasjon hvor vann fra Hvaler/Singlefjorden strømmet mot sør langs svenskekysten. Hydrokjemiske observasjoner gav bakgrunnsdata for å kunne sammenligne forholdene i Skagerrak med forholdene i Ytre Oslofjord. Satellittobservasjoner og optiske observasjoner under augusttoktet gav også mulighet for å se overflatestrømmene i området. Detaljerte strømobservasjoner med ADCP, kombinert med hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner, er grunnlaget for å kunne beregne transporten av næringssalter i denne delen av Skagerrak.

## 2 INNLEDNING

### 2.1 Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn, SFT, tok høsten 1987 initiativet til en bred og intensiv undersøkelse av eutrofieringsproblemer i Ytre Oslofjord. Norsk Institutt for Vannforskning, NIVA, ble bedt om å utarbeide et forslag til program. Arbeidet skulle foregå som ledd i Statlig program for forurensningsovervåking. Det endelige forslaget er datert 4. mai 1988 og ble lagt til grunn for undersøkelsen. Prosjektledelsen har vært hos NIVA. Gjennomføringen er basert på et nært samarbeid med Universitetet i Oslo (UiO) og VERITEC.

### 2.2 Formål

Formålet med undersøkelsen har vært å anslå behovet for utslippsreduksjoner av eutrofierende stoffer og organisk stoff til Ytre Oslofjord, og å vurdere de forurensede nærområders effekt på Ytre Oslofjord.

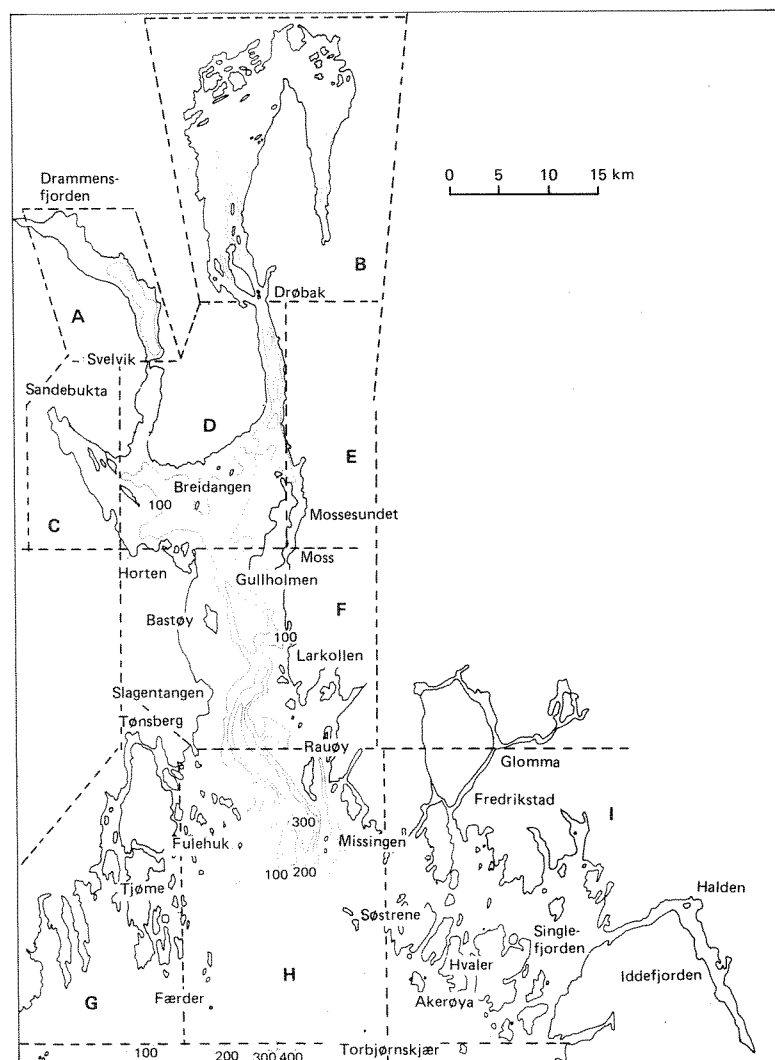
### 2.3 Geografisk avgrensning av området

Oslofjorden begrenses i sør av 59 breddegraden dvs. en linje fra omlag Dynekilen til Stavern. Ytre Oslofjord begrenses i nord av Drøbakterskelen ved munningen av Indre Oslofjord og ved Svelvikterskelen i munningen til Drammensfjorden. Ved beregningen av forurensningstilførsler har det vært hensiktsmessig å dele Oslofjorden i delområder som vist i figur 1.

A. Drammensfjorden, B. Indre Oslofjord

Ytre Oslofjord:

C. Sandebukta, D. Breidangen, E. Mossesundet, F. Bastøyområdet, G. Tjømeområdet, H. Ytre Midtfjorden, I. Hvaler og Iddefjorden.



Figur 1. Oslofjordområdet inndelt i delområder (EYO 3.1).

## 2.4 Brukerinteresser

Det er en rekke brukerinteresser som direkte og indirekte knytter seg til Ytre Oslofjord og som vil være negativt berørt av en tiltagende forurensning.

- A. Friluftslivs- og rekreasjonsinteressene i området er meget store. Båtliv og badeliv er meget omfattende og har lange tradisjoner. Stat, fylker og kommuner har brukt betydelige ressurser på sikring av arealer og tilrettelegging for friluftsliv. I områdene rundt fjorden bor det omlag 1.5 millioner mennesker som har Ytre Oslofjord som et viktig område for dagsbesøk og ferieopphold.
- B. Det er store fiskeinteresser i dette fjordområdet. For medlemmer av Oslofjordens Fiskarlag, er fangstforholdene i Ytre Oslofjord av sentral betydning. Det er betydelige interesser for oppdrett av fisk og blåskjell. Hobbyfisket er stort, idet en stor del av småbåtfolket driver fiske.
- C. Det er store naturvernverdier i området. Ytre Oslofjord har en blanding av bukter, øyer og skjær med avvekslende grunne og dype sjøområder imellom. Disse har gitt grunnlag for et meget variert dyre- og planteliv. Det er opprettet flere reservater i området for å ta vare på utsatte biotoper. Det er blant annet viktige områder for stedege fugler og trekkfugler. En lokal selstamme har tilhold her. Grunne og beskyttede områder er viktige gyte- og oppvekststeder for fisk. Det er store rekeforekomster i området.
- D. Ytre Oslofjord brukes som resipient for avløp fra en rekke byer, tettbebyggelser og bedrifter. Hittil har det vært antatt at fjordens evne til å ta imot avløpsvann er stor. Kommunalt avløpsvann slippes med få unntagelser ut med lite eller ingen rensing. De større industribedriftene har utslippstillatelser, men kravene til begrensnig av forurensningsutslippene har hittil stort sett vært små.

## 2.5 Forurensninger

I nærområdet rundt Ytre Oslofjord bor det ca. 440.000 mennesker. Totalt bor 1.1 mill. mennesker rundt Oslofjorden. Vestfold, Buskerud, Oslo/Akershus og Østfold fylker har tilsammen ca. 1.9 mill. innbyggere. Utslipp fra byer, tettbebyggelser og industribedrifter blir idag lite rensset før utslipp. Flere store vassdrag munner i Ytre Oslofjord, og i fylkene på begge sider av fjorden er det et betydelig jordbruk. Dette gir tilsammen betydelige forurensningsbidrag. Videre har de tilstøtende vannmassene i Indre Oslofjord, Drammensfjorden og Skagerrak forurensningsmessige bidrag av forskjellig størrelse. Forurensningstilførslene fra land er delvis godt kartlagt, men må kompletteres i det videre arbeidet. Tilførselsberegninger i dette prosjektet er konsentrert omkring eutrofierende stoffer som nærings-salter og organisk stoff.

## 2.6 Andre undersøkelser

Det foreligger en del eldre, vitenskapelige undersøkelser som vil være til stor hjelp for å påvise biologiske endringer over lengre tid. Havforskningsinstituttet, Statens biologiske stasjon i Flødevigen og Universitetet i Oslo har foretatt målinger og biologiske undersøkelser i området i mesteparten av dette århundret.

Fra de senere 35 år foreligger det en rekke rapporter om vannkvaliteten og forurensningssituasjonen i avgrensede deler av Ytre Oslofjord. Best studert i denne forbindelse er Iddefjorden og Singlefjorden/Hvalerområdet. I de tilstøtende ytre havområder har det gjennom mange år foregått rutinetokter og enkeltobservasjoner, for en del koordinert gjennom det Internasjonale Råd for Havforskning, ICES.

Det er gjort en enkel sammenstilling av tidligere forurensningsundersøkelser i området i dette prosjekt (EY0 3.2).

### 3 ARBEIDSOPPLEGG OG GJENNOMFØRING

#### 3.1 Programmet

I 1988 ble det gjennomført et relativt omfattende feltarbeid for å undersøke bløtbunnsfauna, sedimenter, hydrografiske og hydrokjemiske forhold, optiske forhold, satellittfjernmåling og strømmålinger. I begrenset omfang ble det også gjennomført undersøkelser av planteplankton og begrensende næringssalt. Videre ble det foretatt nye beregninger av tilførsler, en gjennomgang av tidligere forurensningsundersøkelser, samt utvikling av en tyngderedusert modell av overflatestrømmer.

Feltarbeid og analysearbeid ble avsluttet i 1988. Rapporter for de enkelte delprosjektene skulle opprinnelig ferdigstilles senest 28. februar 1989 og en samlerapport skulle foreligge innen mai 1989.

I dette programmet har det blitt gjort to endringer:

1. Arbeidsrammen ble utvidet ved at Sandebukta og Mossesundet ble egne delprosjekter og oksygen- og hydrokjemiskundersøkelsene ble utvidet.
2. I løpet av høsten 1988 bestemte SFT at et tilleggsprosjekt skulle utføres i 1989 med sikte på en samlet hovedrapport våren 1990.

Den praktiske virkning av disse endringer er at 1988-prosjektet er blitt noe forskjøvet i tid, og at det for første års undersøkelser ikke lages en endelig rapport, men en fremdriftsrapport med foreløpige konklusjoner.



### 3.2 Feltarbeidet

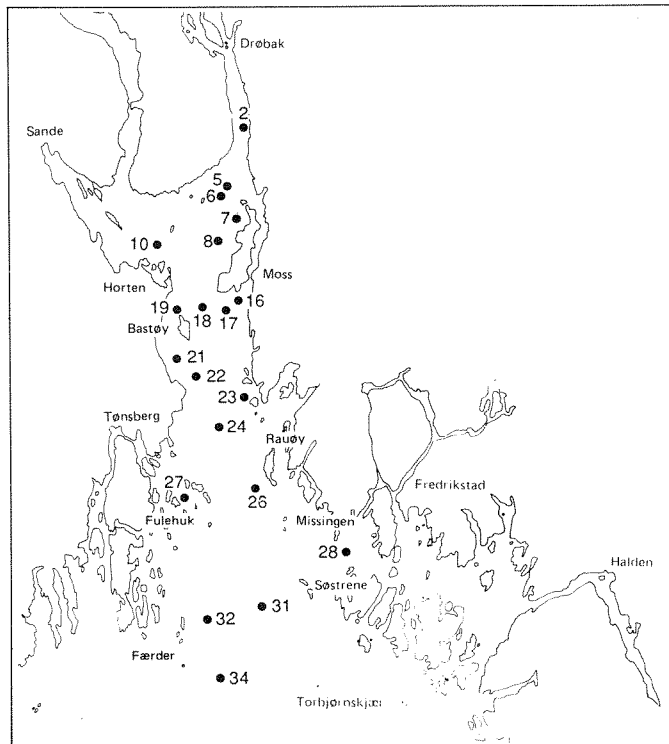
Tabell 1 og Fig. 2-5 viser en oversikt over tokt, tema og hovedstasjoner.

Tabell 1. Tokt i Ytre Oslofjord i 1988.

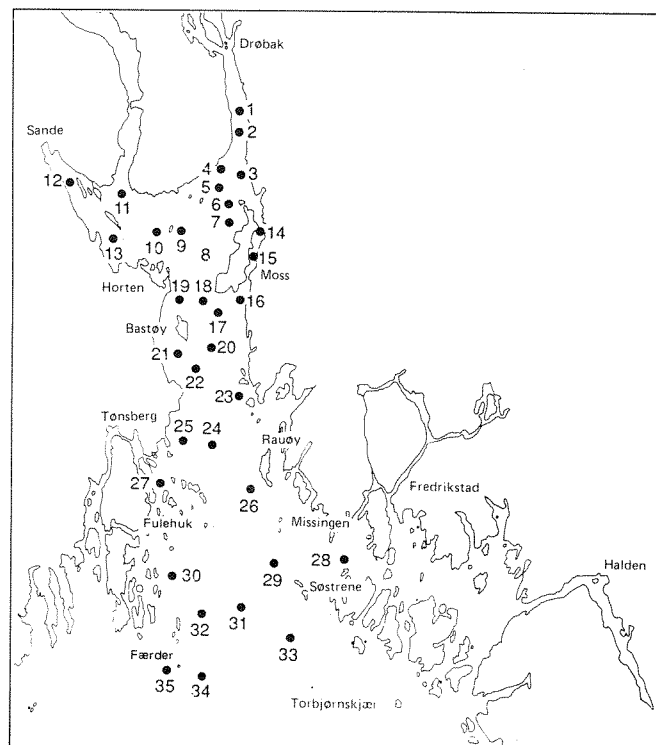
Undersøkelser	Toktdato
Sediment	August 1988
Bløtbunnsfauna	August 1988
Hydrokjemi	11.8-16.8, 28.9-29.9, 24-28.10 og 1.11-2.11.1988
Vekstbegrensende nærings salt	6.6, 9.8 og 30.8.1988
Hydrografi, hydrokjemi og strøm (ADCP)	13-16.6.1988 og 1-5.8.1988
Fjernanalyse/optikk	4.5,6.5,13.5,23.5,13-16.6, 6.7, 1-5.8 og 17.8.1988
Strøm, vind og vannstand	Fra mai til oktober 1988

De hydrofysiske målingene har dels vært basert på direkte målinger fra båt, dels på kontinuerlige registreringer fra utsatte instrumenter.

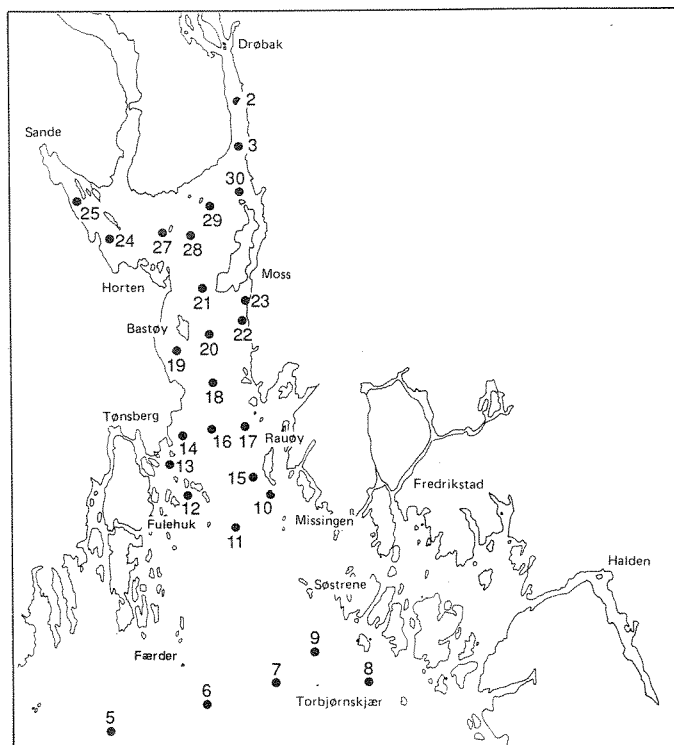
Et nytt akustisk instrument, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), ble installert i "Trygve Braarud" i mai 1988. Det sender ut signaler i fire retninger som ved dopplereffekt registrerer hastigheten på partiklene i vannet. Strømmen i de enkelte vannlagene kan registreres direkte også når båten er i fart. VERITEC har stått for instrumentkjøring og software. Det kan ta tid før det oppnås full erfaring i å utnytte dette instrumentet, men allerede i 1988 ble det oppnådd meget interessante resultater.



Figur 2. Stasjonsnett for bløtbunnsfaunaundersøkelser i 1988 (EYO 3.11).



Figur 3. Stasjonsnett for hydrokjemi og sediment i 1988 (EYO 3.10).



Figur 4. Stasjonsnett for oksygentokt i 1988 (EY0 3.9).

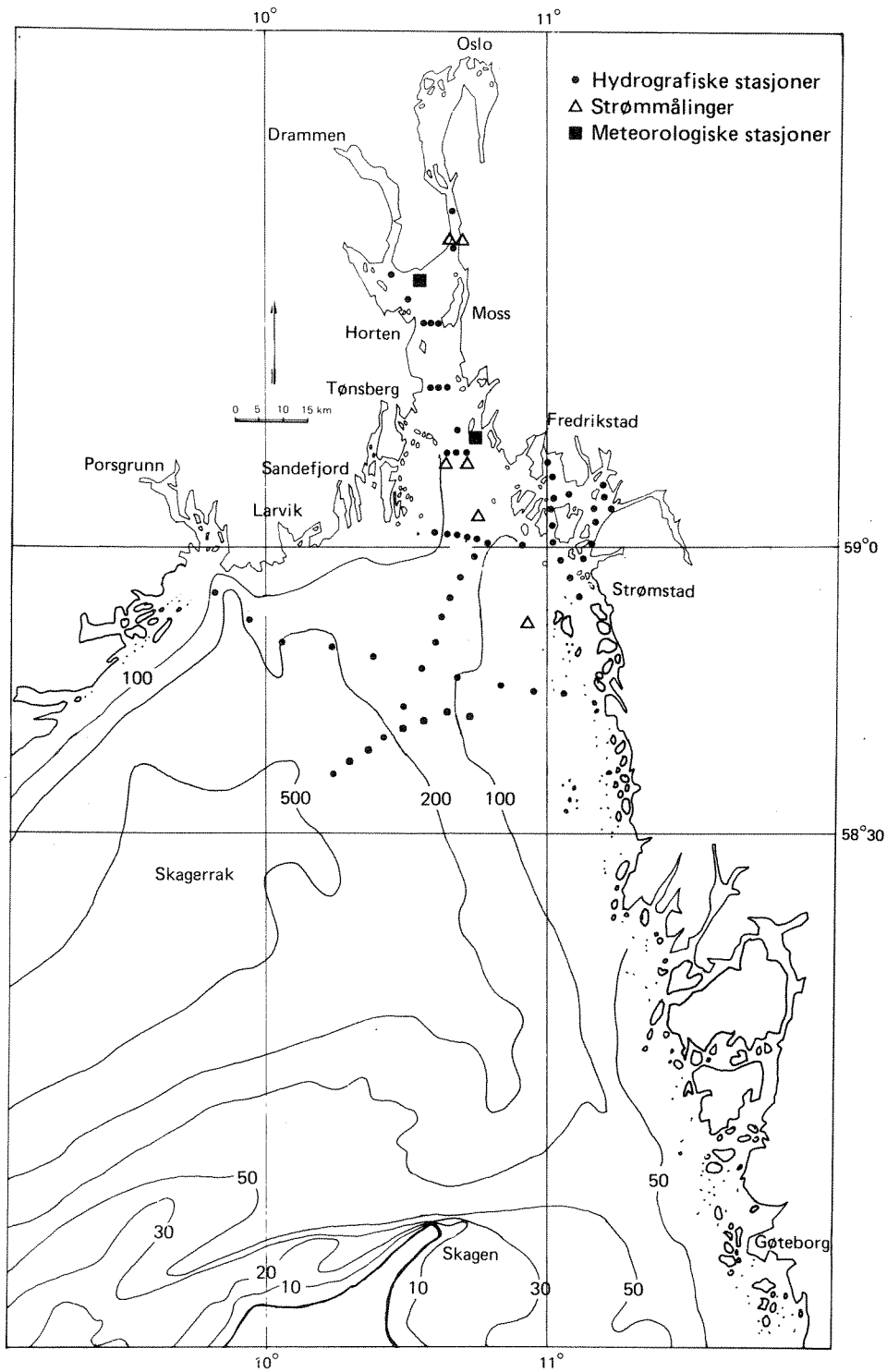
For tradisjonelle målinger av strøm, saltholdighet og temperatur ble det satt ut 5 strømrigger med målere (Aanderaa) i forskjellige dyp. Det ble dessuten gjort observasjoner av vind og vannstand i tillegg til innhentede observasjoner fra Meteorologisk institutt. Dessverre ble 3 av riggene påkjørte med tap av ialt 5 målere. Datafangsten ble derfor mindre enn planlagt. En ADCP ble satt ut på 80 meters dyp.

Uten den relativt velutstyrte forskningsbåten ("T.Braarud") til universitetet i Oslo og dets dyktige og innsatsvillige mannskap, hadde programmet ikke latt seg gjennomføre. Det aktuelle fjordområdet er stort og farvannet er tildels sterkt utsatt for vær og vind. Noen tokt måtte begrenses på grunn av høy sjø.

I tillegg til målinger som ble gjort i felt, ble det tatt et stort antall prøver av vann, bunndyr og sedimenter. Disse ble analysert på UiO og på NIVA.

Det foreligger et omfattende datamateriale. Noe av dette er presentert i de enkelte delrapportene og noe i egne datasamlinger (data-atlas).

Den praktiske gjennomføringen har vært styrt gjennom månedlige møter i SFT. Det har vært skrevet toktrapporter.



Figur 5. Stasjonsnett for hydrografiske og optiske observasjoner samt strømmålinger i 1988 (EY0 3.4-3.7). (Dybdekoter i meter).

#### 4 KORT OPPSUMMERING AV DE ENKELTE DELPROSJEKTENE

Som det fremgår av programmet, ble prosjektet delt opp i en rekke delprosjekter. I tillegg til de 13 som er listet i programmet av 4. mai 1988, er det senere kommet til ytterligere to:

3.14 Sandebukta og 3.15 Mossesundet.

SFT ønsket at disse to områdene skulle få en noe mer detaljert behandling.

Delprosjektene ble ført frem og rapportert samtidig, slik at det var begrenset mulighet for å behandle dataene på tvers av delprosjektene. Denne fremdriftsrapporten vil i dette kapittel referere summarisk fra de enkelte delrapportene, og i de følgende kapitler behandle stoffet under ett. Den fulle utnyttelsen av alt materialet vil måtte vente til den endelige rapporten utarbeides i 1990.

I omtalen nedenfor er brukt de samme betegnelsen som i prosjektprogrammet. Oksygenundersøkelsen i oktober 1987, ble gjennomført som et eget prosjekt, finansiert av SFT. Det er nå tatt inn i dette prosjektet som et forprosjekt med betegnelsen 3.0.

##### **Delrapport 3.0 - Forprosjekt. Oksygenforholdene i Ytre Oslofjord.**

Formålet var å undersøke om den tidlige konstaterte negative oksygenutviklingen i Drøbaksundet om høsten også berørte andre deler av Ytre Oslofjord. Oktober 1987 ble det tatt ialt 24 stasjoner mellom Drøbak og Bastøy. Enkelte av stasjonene hadde tidligere blitt observert i oktober måned og utgjorde derfor et godt grunnlag for bedømmelse av utviklingen.

Oksygenkonsentrasjonene i Drøbaksundet viste liten forskjell fra gjennomsnittet av oktoberobservasjonene i perioden 1973-86, men var klart lavere enn i periodene 1936-39 og 1962-65. Det ble konstatert samme negative utvikling i Breidangen som i Drøbaksundet, sammenlignet med data fra oktober måned i tidsrommet 1936 til 1965.

Observasjonene fra 1987 viste laveste konsentrasjoner i Sandebukta og Mossesundet og for øvrig et minimumssjikt mellom 25 til 50 meters dyp i hele området fra Drøbak til Bastøy. I mellomdypet var konsentrasjonen noe lavere enn 4 ml/l, mens den var ned mot 2 ml/l i

Mossesundet.

Oksygenkonsentrasjonene var over kritiske nivåer i de sentrale deler av Ytre Oslofjord, slik at negative effekter foreløpig ikke er registrert. En ytterligere reduksjon vil derimot først kunne påvirke bunnfaunaen mellom 25 og 50m, det dybdeintervallet som trolig er mest utsatt, og de dypeste områdene i de enkelte bassengene. Foruroligende er også den negative oksygenutviklingen i dypvannet i store deler av fjorden, selv om konsentrasjonene fortsatt ligger over 4 ml/l.

### Delrapport 3.1 – Forurensningstilførsler.

Målet med dette delprosjekt var å beregne den totale tilførselen av organisk stoff, nitrogen og fosfor og enkelte miljøgifter til 7 delområder i Ytre Oslofjord. Beregningene baseres på data fra SFT, miljøvernnavdelinger og kommuner i området. Tabell 2 viser en sammenstilling av beregningene.

Tabell 2. Totale forurensningstilførsler til Ytre Oslofjord.

Delområde	Tot-P tonn P/år	Tot-N tonn N/år
Område A	184,7	4584
Område B	277,5	4117
Område C	17,2	303
Område D	15,3	238
Område E	43,3	1172
Område F	79,8	720
Område G	162,0	2913
Område H	24,2	592
Område I	875,0	14354
Bidrag fra:		
Hytter	1,6	7
Skipstrafikk	0,5	3
Fritidsbåter	0,2	2
Sum tilførsler:	1681	29005

Det største forurensningsbidraget kommer fra området nær svenskegrensen til nord for Fredrikstad, med Glomma som hovedbidragsyter. Delområdet er også belastet med omfattende industrivirksomhet. Transportmålinger viser at mer enn halvparten av nitrogen og fosfortilførslen skyldes elvene i nedbørfeltet.

Forurensningskildene i dette området er mange og treforedlings-

industriens bidrag er bla. beregnet til 14.000 tonn fiber pr. år. Foreløpig er data vedrørende forekomsten av tungmetaller begrenset, da det ikke har latt seg gjøre å fremskaffe en total oversikt over tilførslen av miljøgifter til Ytre Oslofjord. Imidlertid har ikke kartlegging av miljøgifter vært noen prioritert oppgave i dette prosjekt.

### **Delrapport 3.2 - Tidligere forurensningsundersøkelser.**

Formålet med dette delprosjektet har vært å sammenfatte resultater fra tidligere gjennomførte forurensningsundersøkelser i området, samt registrerte undersøkelser som kan være referanse i pågående undersøkelser eller bli nyttiggjort i fremtidige undersøkelser. Fylkenes miljøvern-avdelinger og SFT har bidratt med verdifull informasjon.

Gjennomgangen av rapportmaterialet og presentasjonen er lagt opp geografisk, fra svenskegrensen til Larviksfjorden. Det gis en kortfattet oversikt over tilførslen, de største forurensere og tilstanden i resipienten. Rapporten sammenfatter resultater og konklusjoner fra undersøkelser utført før april 1988.

### **Delrapport 3.3a - Transportmodellen og dens åpne grenseflater.**

Rapporten beskriver den numeriske modellen som har blitt utviklet og brukt i prosjektet for delområdet 3.3b. Videre blir det gjort rede for de grensebetingelsene som anvendes i modellen. Modellen beskrives som en ikke-lineær tyngderedusert modell med en gitteravstand på ca. 375 m. Modellen bruker sentrerte differanser i rom og tid i området som strekker seg fra Drøbak i nord til Rakkeåene i sør. Resultatene er presentert og oppsummert i delrapport 3.3b.

### **Delrapport 3.3b - Resultater fra transportsimuleringen.**

Denne rapporten beskriver resultatene fra de numeriske simuleringene med transportmodellen for Ytre Oslofjord. Modellområdet strekker seg fra Drøbaksundet til Larvikfjorden i sør. Simuleringene er tredelt med etablering av klimatologisk sirkulasjon vha. gjennomsnittlige verdier for ytre krefter, undersøkelse av virkningene av å endre disse kreftene og en simulering for perioden 14. juli - 4. august 1988 vha. observerte aktuelle verdier for vind og innstrømning fra elver.

#### **Delrapport 3.4a – Data atlas: Strøm, vær og hydrografiske målinger.**

Rapporten er en datasamling over strømmålinger, temperatur- og saltholdighetsmålinger og vær- og vannstandsmålinger foretatt fra faste punkter i Ytre Oslofjord. Målingene fant sted i perioden mai til oktober 1988 og inkluderer observasjoner av strøm, temperatur og saltholdighet. De ble fremskaffet med forankrede selvregistrerende strømmålere (Aanderaa) i flere posisjoner og dyp. Det ble i samme periode observert vind, lufttrykk og vannstand fra en selvregistrerende værstasjon ved Rauøy. Dataene er anvendt i delprosjekt 3.5c.

#### **Delrapport 3.4b – Data atlas: Strømmålinger med ADCP ved Søstrene.**

Rapporten inneholder dataene fra den forankrede akustiske doppler strømmåleren ved Søstrene i tidsrommene 13.06. – 26.07. og 04.08. – 24.10.1988. Vanndybden var 80m og målingene besto av vertikalprofiler mellom 6m over bunnen og 16m under overflaten, med vertikaloppløsning på 4m. Målingene viste at strømmen retter seg etter den lokale topografien, enten innover eller utover fjorden. I vertikalen er en 2-lags deling typisk, der strømmen i de øvre og nedre lag er motsatt rettet. Resultatene er videre brukt og oppsummert i delprosjekt 3.5c.

#### **Delrapport 3.5a – Data atlas: Strømmålinger med ADCP fra F/F "Trygve Braarud".**

Rapporten er et data atlas over strømobservasjoner som ble foretatt fra F/F "Trygve Braarud" i august 1988. Kontinuerlige strømprofiler ble målt under fartøyets gang over en periode på 4 dager. Sammenhengende snitt er valgt ut og presentert som konturplott av øst- og nordkomponenten i vertikalplanet. Et nær synoptisk kart over strømmen i overflatelaget viser en hvirvel i grenseområdet Oslofjord/Skagerrak. Resultatene er videre brukt i delprosjekt 3.5c.

#### **Delrapport 3.5b – Data atlas: Hydrografiske målinger.**

Denne rapporten er et data atlas over de hydrografiske målingene tatt fra F/F "Trygve Braarud" i Ytre Oslofjord i juni og august 1988. Atlaset inneholder konturplott av temperatur, saltholdighet, tetthet og geostrofisk strøm for en rekke snitt i fjorden. Resultatene er anvendt i delprosjekt 3.5c og presenteres nærmere der.



### **Delrapport 3.5c - Strømmålinger i Oslofjorden - et sammendrag.**

Formålet med rapporten har vært å samle ny informasjon om strømforholdene i overflatelaget i midtre og ytre Oslofjord. Rapporten er basert på de fem rapportene som kort er summert ovenfor ( EY0 3.4a og b og EY0 3.5a, b og c).

Strømmålingene er utført med forankrede og skipsmonterte strømmålere. I tillegg er det gjennomført en numerisk simulering av strømforholdene i Oslofjordområdet (se delrapport EY0 3.3a og b).

Dataene viser at det er god sammenheng mellom vind og strøm i overflatelagene i Ytre Oslofjord, samt god sammenheng mellom strømretning og saltholdighetsendringer. Strøm fra nord fører til reduksjon i saltholdigheten. Saltholdigheten øker igjen ved strømmer fra syd. Reversering av den nordgående kyststrømmen langs svenskekysten ble registrert i den undersøkte perioden, noe som fører til transport av overflatevann fra Ytre Oslofjord mot syd.

### **Delrapport 3.4c/3.5d - Hydrografiske observasjoner.**

Formålet med dette delprosjekt har vært å beskrive hydrografiske korttidsvariasjoner, samt forholdene i fjordens overflatelag i juni og august 1988.

1988 var et år med ekstrem stor ferskvannstilførsel fra Drammenselva og Glomma. Vårflommen i begge elver var omrent dobbelt så stor som normal. Det var flere og større flomtopper i løpet av sommeren og høsten enn normalt.

Den store ferskvannstilførselen resulterte i ekstremt lave overflatesaltholdigheter i Drøbaksundet (< 11 ‰ i 0-10 meters dyp), da sydlige vinder førte vann fra Breidangen/Drammensfjorden mot nord.

Sydlige vinder gav oppstuing av overflatevann fra Ytre Oslofjord i Drøbaksundet, mens nordlige vinder førte til uttransport. Forholdene skiftet raskt i Drøbaksundets overflatelag og oppholdstiden på dette vannet er anslått til ca. 1 uke. Muligens vil interne bølger generert ved Drøbaksterskelen gi inntrykk av kortere oppholdstid enn reellt.

På tross av store vanntransporter i Drøbaksundet var oksygenkonsentrasjonen sensommer og høst lavere enn 4.5 ml/l. Dette kan bety at innstrømmende vannmasser fra Breidangen heller ikke hadde høyere konsentrasjoner. Observerte vannpakker med lavere oksygenkonsentrasjoner (< 4 ml/l) kan være tilført fra andre områder.

Siktedypet varierte med saltholdigheten i Drøbaksundet, hvilket viser elvenes store betydning for vannets turbiditet.

Overflateobservasjonene fra juni og august viste at ferskvann fra Glomma i hovedsak ble spredt mot vest i juni og både mot vest (Færder) og sør langs svenskekysten ned til et sted mellom Sydkoster og Væderøene i august. Augusttoktet ble gjennomført under synkende middelvannstand i Oslofjorden. Dette kan forklare spredningen mot sør (se også kap. 5).

Brakkvann fra Drammensfjorden strømmet mot Drøbaksundet via Breidangen i juni. I august strømmet det på vestsiden av Breidangen over mot østsiden av fjorden, etter å ha passert Horten.

Avtagende saltholdighet i fjordens mellomlag (20-55 meters dyp) fra juni til august skyldes trolig innstrømming av vann fra Skagerrak. Dette kunne ha vært vann fra den Baltiske strømmen.

### **Delrapport 3.6a - Hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord juni og august 1988.**

Formålet med dette delprosjektet har vært å studere:

- Fordeling og transport av næringssalter, suspenderte partikler og organisk materiale.
- Enkelte forurensningskomponenter for å spore sannsynlige kilder og transportretninger.
- Eventuelle forskjeller mellom ulike vannmasser.

Observasjonene er fra to tokt i Ytre Oslofjord (juni og august 1988) samt fra et tokt i Skagerrak (august 1988).

#### Overflatevann:

Observasjonene viste vesentlig lokale tilførsler av nitrogen fra Drammensfjorden og Hvaler/Singlefjorden samt tilførsel av fosfor også fra Indre Oslofjord. Tilførslene fra Drammensfjorden influerte i hovedsak Breidangen-Bastøy-Drøbaksområdet. Tilførslene fra Hvaler/-Singlefjorden synes primært å påvirke munningsområdet i Ytre Oslofjord, spesielt fronten mellom brakkvann og sjøvann.

Ut fra gjennomsnittskonsentrasjoner av løste næringssalter i over-

flatelaget (0-10 meters dyp) varierte nitrogen og fosfor som potensielt begrensende nærings salt både i tid (juni og august) og rom. Silikat var ikke begrensende i området nord for Horten. Ut fra observasjonene i juni og august er det ikke mulig å trekke noen konklusjon om begrensende nærings salt i Ytre Oslofjord.

#### Dypvann:

Oksygenkonsentrasjonene var lavest i bunnvannet ved Torbjørnskjær, Rauer, Mølen og Drøbaksundet. De laveste konsentrasjonene ble observert i august. I de frie vannmassene var konsentrasjonen stort sett over 5 ml/l, unntatt i Drøbaksundet mellom 20 og 50 meters dyp.

Augustobservasjonene viste økende nitrogen- og fosforgradient innover i fjorden, med høyest konsentrasjon i Drøbaksundet.

Regresjonsanalyser av silikat, nitrogen og fosfor mot AOU (tilsynelatende oksygenforbruk) i juni og august, viste større akkumulering av fosfor i dypvannet enn en enkel nedbrytning av planteplankton skulle tilsvare, samt mindre akkumulering av nitrogen. Akkumuleringen av silikat korrelerer derimot bra med nedbrytningen av planteplankton.

#### Partikulært materiale (august 1988):

Leirtransporter i vassdragene gir de høyeste konsentrasjonene av aluminium i Hvaler/Kosterområdet, samt i utløpet av Drammensfjorden og ned mot Horten/Tønsbergområdet. Den høye konsentrasjonen i Kosterområdet indikerer et utbrudd av vann fra Hvalerområdet mot syd som når halveis mellom Sydkoster og Væderøyene.

I Skagerrak viste vertikalprofiler av aluminium høyere konsentrasjoner nær bunn, noe som tyder på erodering av sedimenter. Selv i Hvalerdypet på 450 meters dyp ble det målt høyere aluminiumskonsentrasjoner enn i overflaten.

De høyeste konsentrasjonene av organisk materiale og partikler ble observert i fronter mellom brakkvann og vann med høyere saltholdighet, øst for Langesundsbukta og vest for Hvaler- og Kosterøyene. Her ble det også målt mellom 4-5 begunstiger oppsamling av lettere partikler og planteplankton og er ofte et gunstig område selv for planteplanktonvekst.

Det ble påvist forhøyede nivåer av jern/titan i Hvalerområdet, munningen av Iddefjorden, vest for Torbjørnskjær og ned til Nord-Koster. Jern/titan slippes ut fra Kronos Titan ved Glommas munning i

Fredrikstad og spredningen viser influensområdet til Glomma august 1988.

Det ble også påvist høyt jern/titan innhold i Drammensfjordens munning. Kilden er ikke klarlagt, men det kan være av naturlige mineralogiske årsaker i Drammenfjordens nedslagsfelt.

#### Transporter i Skagerrak august 1988:

Hovedtransporten fra syd mot nordvest i den sentrale Skagerrak-hvirvelen var ca. 0.8 Sverdrup, hvilket ligger nær beregnet middeltransport på 0.5 Sverdrup av Rohde (1987). Den sørlige transporten langs den svenske vestkysten var ca. 0.4 Sverdrup.

Brakkvannsutbrudd, kortvarig plutselig transport av brakkvann, fra Hvaler/Singlefjorden mot sør langs svenskekysten ble observert i august. Dette skjedde etter en periode med sterke sydvestlige vinder som ble svake vekslende, tildels nordlige og sammenfallende med lokalt kraftig synkende vannstand i Oslofjorden og stigende vannstand i Østersjøen. I juni, ved vårflom i Glomma, strømmet brakkvannet fra Hvaler/Singlefjorden mot vest, tvers av Oslofjordens munning og inn i den norske kyststrømmen ved Svenner. De to situasjonene er trolig karakteristiske for spredningsforløpet til brakkvann fra Hvaler/-Glomma. Hyppigheten av vær-situasjonen er avgjørende for spredningsveien.

#### **Delrapport 3.6b – Hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord.**

Formålet med denne delundersøkelse har vært å undersøke graden av anrikning av næringsalter i vannmassene. I tillegg skulle graden av forurensning fra industriutslipp undersøkes ved å fastslå innholdet av utvalgte spormetaller i overflatevannet.

Det ble foretatt hydrokjemiske observasjoner på 35 stasjoner på tre tokt i august, september og november.

Klorofyllobservasjoner viste at den produktive sonen var begrenset til de øverste 10 metrene i august 1988. Oksygenmetningen i fjorden var generelt lavest i bunnvannet, men en kile av vann med lav metning ble funnet i Drøbaksundet mellom 30 til 50 meters dyp på samtlige tokt.

Ut fra salinitets- og næringsaltsdata ble det observert en inn-trengning av dypvann fra Skagerrak under observasjonsperioden. Dette ble registrert ved økende oksygenmetning og lave næringssalt-konsentrasjoner. I tillegg ble en kile med lavt oksygeninnhold og høyt

nitratinnhold i Drøbaksundet antatt å være utstrømmende vann fra Indre Oslofjord.

Regresjonsanalyser av tilsynelatende oksygenforbruk (AOU), silikat og fosfat viste at anrikningen av næringssaltene i dypvannet skyldes mineralisering av organisk materiale. Den betydelige forandringen i oksygenkonsentrasjon og fosforkonsentrasjon mellom toktene i bunnære vannmasser viser betydningen av prosesser i overgangen vann/sediment. Det ble registrert en gradient av oksygenforbruk og næringssaltanrikning fra Breidangen og ut fjorden i de dypeste delene. Dette var i overensstemmelse med resultatet fra den geokjemiske undersøkelsen (EYO 3.10). Gradienten avspeiler hyppigheten av inntrengning av vann fra Skagerrak.

Det ble ikke registrert noen alvorlig forurensning av Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cd og Al i området. I vannmassene ble det kun funnet overkonsentrasjoner av jern i Sandebukta. Stasjonen nærmest Glomma/Hvalerområdet viste høyere konsentrasjoner av Cd, Cu, Fe, Pb og Zn enn de andre stasjonene. Særlig var blykonsentrasjonen høy i dette område.

### **Delrapport 3.7a – Optiske observasjoner – observasjoner i overflatevannet og fjernmåling.**

Formålet med dette delprosjekt har vært å tolke resultater fra satellittbilder for å kunne få synoptiske observasjoner av ulike vannmassers spredning. Fra delprosjekt 3.7.b fåes samtidige observasjoner i overflatevannet. Derved kan man bidra til forståelse av strømforhold i området samt influensområdene for vann fra Drammensfjorden og Glomma.

Det er gjennomført fire tokt i Ytre Oslofjord, hvorav tre med tilstrekkelig klart vær til å få bra bilde fra satellittpasseringer. Et av toktene inkluderte også Skagerrak.

Satellittdataene viste at influensområdet til Glomma/Iddefjordvann i Ytre Oslofjord dekket områdene fra Larkollen/Rauøy i nord til Bolærene/Færder i vest og til Kosterøyene i sør. Vann fra Drammensfjorden påvirket i hovedsak områdene i de vestre delene av Breidangen/Sandebukta til noe syd for Bastøy. Mens spredningen av ferskvann fra Glomma varierte under toktene, var det tilnærmet samme spredningsmønster for vann fra Drammensfjorden. Under normale sommerforhold synes Glommavannet i hovedsak å spres mot vest. Særlig spredning synes å sammenfalle med kraftig vannstands senkning i hele Oslofjorden.

Feltobservasjonene viste også høye konsentrasjoner av planteplankton i

fronter mellom ferskvann og sjøvann spesielt i Hvaler/Singlefjord-området og i Ytre Oslofjords munning mellom Torbjørnskjær og Færder.

### **Delrapport 3.7b - Optiske observasjoner - overflatevannets kvalitet.**

Formålet med dette delprosjektet har vært dels å utvikle en enkel metode for å måle dypet av den eufotiske sone, dels å bruke den samme metoden for å identifisere forskjellig vannmasser. Med et nært samarbeid med prosjekt 3.7.a skulle resultatet også brukes til tolking av satellittbilder. Sett ut fra et eutrofisynspunkt er det viktig informasjon å innhente fra fotosyntesesonens dyp og overflatelagets lysklime (eufoti), samt også for spredning av forskjellige vannmasser.

Metoden som ble brukt bygger på bruk av et fargeindeksmeter som måler forholdet mellom oppoverspredt blått og grønt lys i 1 meters dyp.

Ingen av de fire hovedtilførselene for vann i Ytre Oslofjord: Glommavann, Drammensfjordvann, Kattegattvann og Skagerrakvann hadde så spesielle optiske egenskaper at det var mulig å kvantifisere innholdet av dem i en vilkårlig vannmasse. To dominerende vanntyper ble registrert. Glommavann, med høyt partikkel- og gulstoffinnhold, hadde vanligvis fargeindeks mindre enn 0.2 og siktedyp mindre enn 3 meter, mens Skagerrakvann, med lavt partikkel- og gulstoffinnhold, hadde fargeindeks større enn 0.5 og siktedyp større enn 7 meter. En tredje vanntype, med lavt partikkelinnhold og høyt gulstoffinnhold, av ukjent kilde hadde fargeindeks 0.2 og relativt stort siktedyp. Dette kan være gammelt fjordvann.

Spredning av Glommavann i overflatelaget var svært vindavhengig. Glommavann ble observert mellom Sydkoster og Væderøene i sør og langs østsiden av fjorden forbi Larkollen i nord. Dette kan muligens være en bakevjeeffekt. Det ble ikke observert Skagerrakvann lengre nord enn Færder i overflaten, selv under gunstige vindforhold.

Fargeindeksen i 1 meters dyp synes å være meget godt korrelert med lysklimeet. Antas at 1%- nivået av nedtrengende lys definerer nedre grense for fotosyntesesonen, varierte denne grensen fra 2 til 5 meter i Hvalerområdet i mai, og fra 3 til 7 meter i juni og august. Mellom Torbjørnskjær og Færder varierte denne dybden fra 10 til 20 meter.

Den funne relasjonen for observasjonsområdet mellom fargeindeks og lysklime synes å være uavhengig av tidspunkt. Siden den er bestemt ut fra observasjoner i Indre Oslofjord, er det behov for observasjoner i Ytre Oslofjord for å få bekreftet at den gjelder også der.

### Delrapport 3.8 - Begrensende nærings salt i ytre Oslofjord..

Formålet med dette delprosjektet var å undersøke eventuelle gradienter i planteplanktonbegrensende nærings salt i området. Undersøkelsen er å betrakte som orienterende.

Det ble foretatt tre observasjoner ved Rauøy i Ytre Oslofjord, en i juli og to i august. I tillegg til kjemiske analyser, klorofyll og mikroskopering av planteplanktonet, ble det gjort tilveksteksperimenter med fortynningsteknikk. Tilvekstforsøkene på siste tokt i august ble misslykkede p.g.a. for stor planktonbiomasse.

I juli og tidlig i august bestod planktonet for det meste av kiselalger, mens dinoflagellatene Gyrodinium aureolum og Ceratium furca dominerte en enorm oppblomstring i slutten av august (total biomasse ble målt til 50 µg klorofyll a/l).

De atomære forholdstall i planteplanktonet tyder på samtidig fosfor og nitrogenbegrensning i juli og begynnelsen av august. Forholdstallene var nær Redfieldforholdene i slutten av august, dvs. ikke noen tydelige tegn på næringsbegrensning.

Tilveksteksperimentene viste ikke sterk næringsbegrensning i juli, og at det ikke lar seg avgjøre om det var fosfor eller nitrogen som var mest begrensende. I begynnelsen av august viste forsøkene fosforbegrensning.

En samlet tolking viser at planteplanktonveksten ved Rauer i Ytre Oslofjord i begynnelsen av juli var samtidig, men bare svakt begrenset av nitrogen og fosfor, mens den var klart fosforbegrenset i begynnelsen av august. I slutten av august var planteplanktonmengden unormalt stor og de kjemiske målingene tyder ikke på noen næringsbegrensning.

### **Delrapport 3.9 - Oksygenforholdene i oktober 1988.**

Formålet med delprosjektet har vært å samle inn detaljert informasjon om oksygenkonsentrasjonen i Ytre Oslofjord på en årstid hvor det dels er stor sannsynlighet for at konsentrasjonen er lav, dels en årstid hvor det er relativt bra med observasjoner fra før. Oksygenkonsentrasjonen i en vannmasse i et område er et godt uttrykk for vannets tilstand, forutsatt at vannutskiftningen er kjent.

Som i 1987 ble det i 1988 påvist at vannmasser mellom 20 og 50 meters dyp hadde lav oksygenkonsentrasjon fra Drøbaksundet og ut i Breidangen. I 1988 ble dette laget registrert så langt ut som til Søstrene. Selv om det ble funnet noe lavere verdier høsten 1987 enn i 1988, viser resultatene fra disse to årene at det er større oksygenforbruk i dyplaget nå enn for noen tiår tilbake.

Bortsett fra i indre havn ved Horten, hvor det var betydelige konsentrasjoner av hydrogensulfid, ble det ikke funnet så lave oksygenverdier at det kan bety akutt fare for dyrelivet i fjordens hovedbassenger.

### **Delrapport 3.10 - Sedimentanalyser**

Målsettingen for undersøkelsen var å fastslå innholdet av karbon, nitrogen og fosfor i organisk materiale, samt spormetaller i sediment fra Ytre Oslofjord. Studiet av kjemiske og fysisk-kjemiske dybdeprofiler i sedimentene, belyser fortidens hendelser i området. Spesielt er det av interesse å kunne påvise starten på en eventuell organisk anrikning og/eller metallforurensning.

Det ble tatt 34 stasjoner (figur 3) i Ytre Oslofjord i 1988. På samtlige stasjoner ble de øverste 0-2.5 cm av sedimentet analysert, mens ti kjerner ble delt i seksjoner ned til 50 cm dyp. De sistnevnte kjernene ble også analysert på næringsalter og alkalinitet i porevannet.

Overflatesedimentet var oksiskt på samtlige stasjoner i Ytre Oslofjord med unntak av en stasjon i Mossesundet og en stasjon ved Larkollen, hvor sedimentoverflaten var anoksisk. Flere stasjoner grunnere enn 100 meters dyp nær land var mildt suboksiske. Noen av disse stasjoner lå nær utslipp.

Det ble funnet forhøyede konsentrasjoner av karbon på stasjoner nær utslipp til treforedlingsbedrifter. Konsentrasjonen av karbon, nitrogen og fosfor var vel korrelerte. Det ble kun funnet dybde-



avhengige gradienter. Sammen med C/N-forhold på ca. 12:1 (på atom-basis) tyder dette i hovedsak på sedimentasjon av planktonisk materiale.

I de seksjonerte kjernene var det en anrikning av karbon, nitrogen og fosfor i det øvre lag, varierende fra 10 til 50 cm dyp, med klart tykkere lag på de dypeste stasjonene. Dette betyr høyere sedimentasjonsrate på dypt vann.

Analyse av C:N:P-forholdene i sedimentet viste en horisontal forskjell, hvor sediment fra Breidangen/Missingen innholdt relativt mer fosfor, sammenlignet med ytre del av fjorden. Forklaringen på dette er sannsynligvis en større organisk produksjon i de indre deler av Ytre Oslofjord.

Spormetallanalysene viste ikke forhøyede konsentrasjoner i sedimentet untatt i Mossesundet hvor det ble observert høye nivåer av kadmium, kobber og bly. Det er således intet som indikerer at området er generelt forurensset av metaller, selv om det ble observert høyere nivåer av enkelte metaller bundet til den organiske fraksjonen. Konsentrasjonene var betydelig lavere enn f.eks i forurensede områder av Indre Oslofjord.

Analysen av porevann viste områder som er suboksiske. Det er foreløpig ikke mulig å gi svar på om en økning i organisk tilførsel vil gjøre disse områdene anoksiske.

### **Delrapport 3.11 - Bløtbunnsfaunaobservasjoner;**

Formålet med undersøkelsen har vært å studere trender i eutrofierings-effekter på bløtbunnsfaunaen, spesielt eventuelle horisontale og vertikale variasjoner. Undersøkelsene bygger på tidligere gjennomførte undersøkelser i området fra 1985 (Rosenberg, Gray, Pearson & Josefsson, 1987), samt Petersens undersøkelser (1913 og 1915). Imidlertid er det en klar forskjell mellom de ulike undersøkelsene i at dagens undersøkelser er langt mer omfattende.

Det ble tatt ialt 21 stasjoner i Ytre Oslofjord fordelt på 79 replikater. Det ble funnet 245 arter. Analyse av data viste at dypet har størst innflytelse på artssammensetning og fordeling av biomasse. Det er derfor ikke mulig å detektere horisontale gradienter i fjorden som kan tilskrives eutrofiering, når variasjonen i dypet på de forskjellige stasjoner dominerer.

Grunne stasjoner (24-32 m) har et relativt lavt antall individer og

høy diversitet, men lavere biomasse enn dypere stasjoner. Sannsynligvis er det fysiske forhold som strømmer og erosjon som er årsaken.

Med økt grad av eutrofiering kan man forvente store effekter på grunne områder siden sedimenteringsraten vil minke og mineraliseringsraten øke med dypet. Dermed kan man forvente høyere biomasse på de grunne stasjonene. Nedenfor 48 meter er minkingen av biomassen som forventet.

Det kan med sikkerhet konkluderes at det har funnet sted en betydelig økning i graden av eutrofiering fra 1914 til 1988. Biomassen har økt med et gjennomsnitt på 55 g/m<sup>2</sup> på stasjonene dypere enn 50 meter. Dette er en økning på 4 ganger. Imidlertid er grunnlaget fra undersøkelserne i 1985 for dårlig til å bedømme om eutrofieringen har økt siden.

Det anbefales at en dypstasjon undersøkes årlig og at stasjoner dypere enn 48 meter undersøkes hvert tredje år for å følge utviklingen. Det er ingen grunn til å undersøke bløtbunnsfauna grunnere enn 48 meter på grunn av fysiske forstyrrelser av strøm og bølger.

### **Delrapport 3.14 - Sandebukta.**

Målet var å klarlegge virkningene av forurensningstilførslene og å sammenholde dem med de viktigste brukerinteressene i området for å se behovet for utslippsbegrensninger.

Resultatene viste ingen markerte endringer i forhold til tidligere undersøkelser. Analyser av vannet og vurdering av bunndyrene og sedimenter viste en klar belastning som hovedsakelig må tilskrives Sande Paper Mill. Vannet er tidvis sterkt grumset og bakterieholdig i overflaten. Denne situasjon oppstår etter nedbør og flom i Sandeelva.

Det nåværende utslippsarrangementet til treforedlingsindustrien med innlagring like under overflaten kan neppe forbedres vesentlig, slik at utslippsreduksjoner er det eneste som kan redusere belastningen. Også tiltak mot erosjon og forurensning av Sandeelva er aktuelt for å få bukta bedre skikket for brukergruppene.

### **Delrapport 3.15 - Mossesundet.**

Målet har vært å klarlegge virkningene av forurensningstilførslen og vurdere effekten av utslippsbegrensninger med hensyn på brukerinteressene i området.

Strandbefaring, tokt for sediment- og bunndyrundersøkelser, samt hydrografi- og oksygenmålinger ble gjennomført i oktober 1988. Opplysninger om friluftsliv, båtfart, fiske, bolig- og hytteområde, er vurdert opp mot anvendelsen av Mossesundet som resipient for industrielt og kommunalt avløpsvann.

Utslipp fra den lokale treforedlingsbedriften har ført til tydelig forurensning i den sydlige delen av Mossesundet. Overflate, strender, bunndyr og sediment er sterkt belastet med organisk stoff og fiber. Videre er skumdannelse og vannets lukt og farge markerte trekk ved forurensningssituasjonen. De bakteriologiske forholdene påvirkes ved direkte utslipp av husholdningskloakk og utslipp via Mosseelva. Det ble ikke observert noen eutrofieffekt i selve Mossesundet.

## 5 HVA VET VI NÅ OM DE FYSISKE FORHOLDENE?

### **Innledning**

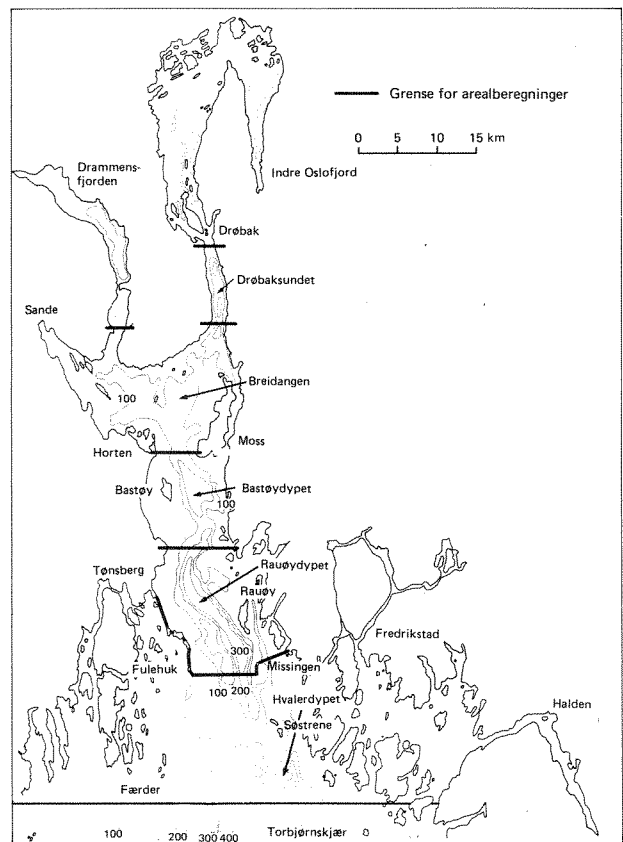
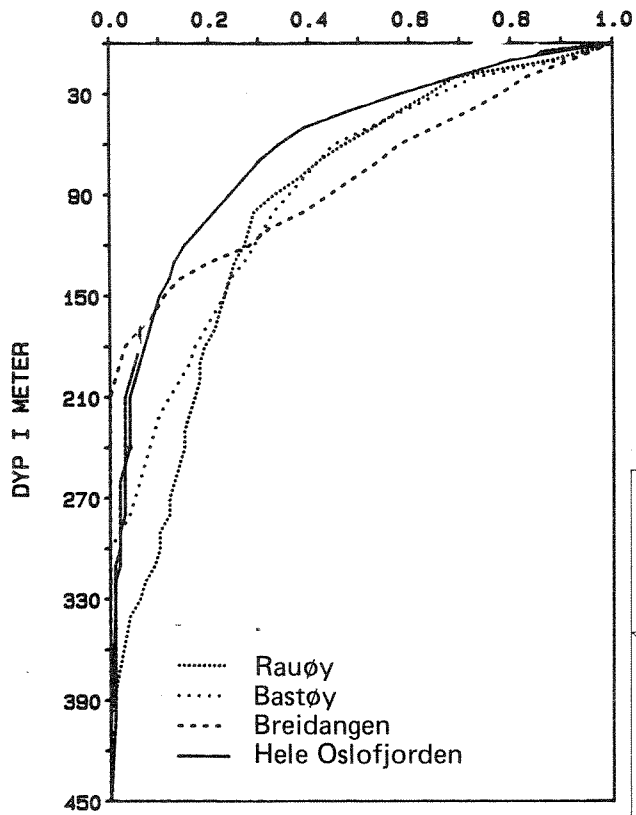
Det undersøkte området i Ytre Oslofjord strekker seg fra svenskegrensen til Larvikfjorden langs N 59<sup>0</sup> i syd til munningen av Drammensfjorden og Indre Oslofjord i nord. Hele Oslofjordområdet har et overflateareal på 1820 km<sup>2</sup> og et volum på 155 km<sup>3</sup>. Selve Ytre Oslofjord har et overflateareal på 1583 km<sup>2</sup> og et volum på ca. 147 km<sup>3</sup>.

Figur 6 viser arealfordelingen som funksjon av dypet for hele Oslofjorden og noen delområder. Midlere dyp for området er ca. 40 meter. Ca. 80% av bunnarealet ligger mellom 0-100 meters dyp. De store grunnområdene i Ytre Oslofjord ligger mellom Larvik og Iddefjorden. Området fra Bastøy til Missingen har et større dypvannsvolum. Bunnarealet under 165 meters dyp er ca. 20% av det totale overflatearealet i dette området.

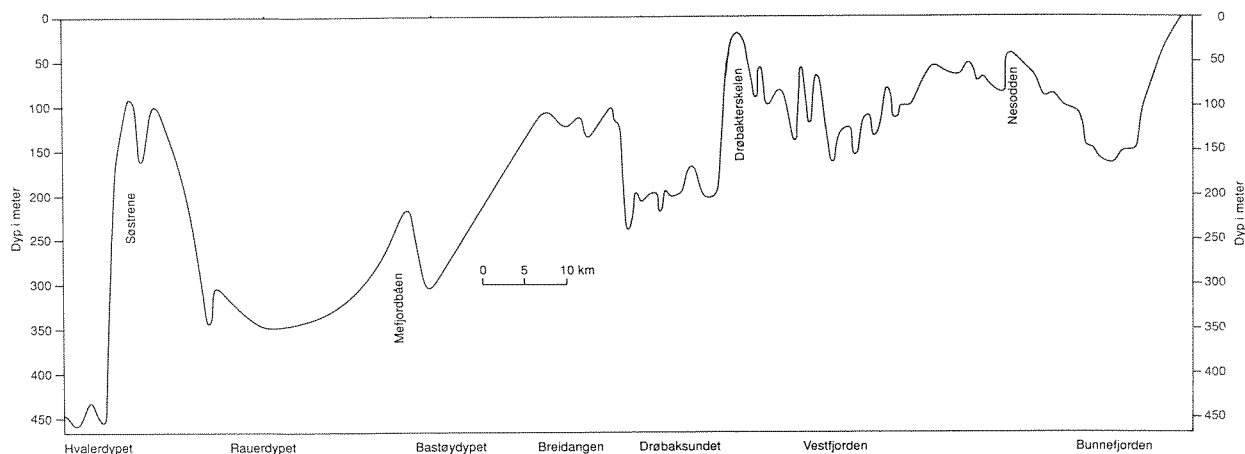
De dypere vannmassene og bunnområdene utgjør således en relativt liten del av Ytre Oslofjord. Figur 7, som viser et lengdesnitt av fjorden, gir derimot, ved en overdreven vertikaloppløsning, inntrykk av store dypvannsvolumer. Volumet av vann på dyp større enn 200 meter er 9.5 km<sup>3</sup>, dvs. ca. 6% av fjordvolumet. Volumet mellom terskeldypet til Skagerrak (ca. 125 meters dyp) og til bunnen, er ca. 18% av hele Oslofjordens volum.

### 5.1 Dypvannsfornyelsen (fra ca. 125 meters dyp til bunnen)

Med dypvannsfornyelsen menes utskiftning av vann under terskeldyp. Terskeldypet til Ytre Oslofjord ligger på ca. 125 meters dyp mot Skagerrak (se figur 7). For å få en fornyelse av dypvannet i Ytre Oslofjord må tyngre vann fra Skagerrak strømme inn over terskeldypet og ned i Oslofjordens dypbassenger. Dette er en langsom prosess med typiske perioder på år. En beregning av dypvannsfornyelse forutsetter derfor flere års regelmessige observasjoner i fjorden. Dette har ikke vært formålet med denne undersøkelsen.



Figur 6. Arealer og dyp i Oslofjorden.



Figur 7. Vertikalt dybdesnitt fra Bunnefjorden til Torbjørnskjær.

Det foreligger en større undersøkelse av hydrografien fra perioden 1973-78 (Anon, 1975) De hydrografiske undersøkelsene viste årlige dypvannsfornyelser i Ytre Oslofjord (Dahl, 1982). Dypvannsfornyelse kan forekomme fra oktober til juni, men er mest vanlig i februar-april. I 1988 var det en fornyelse av dypvannet i Ytre Oslofjord i perioden mai/juni.

Antar vi at alt dypvannet under terskeldypet fornyes i gjennomsnitt en til 2 ganger pr år, tilføres fjorden årlig mellom  $22000-45000 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  vann. Hele Hvalerdypet er ikke med i disse beregningene. Dette tilsvarer en årstransport i middel på ca. 70 til  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  fra Skagerrak.

Temperaturen på dypvannet i Hvalerdypet varierer normalt mellom  $5-6^\circ\text{C}$ . Saltholdigheten ligger omkring  $34.5-35 \text{ ‰}$ . Dette er vann som i januar til april ligger på 30-100 meters dyp i Skagerrak. Skagerrakvannet har relativ høy oksygenkonsentrasjon, 95-100% metning og lav fosforkonsentrasjon  $18 - 30 \text{ µg/l}$  (Svanesson, 1975). Det foreligger ikke noen tilsvarende bearbeidet informasjon om nitrogenkonsentrasjonen.

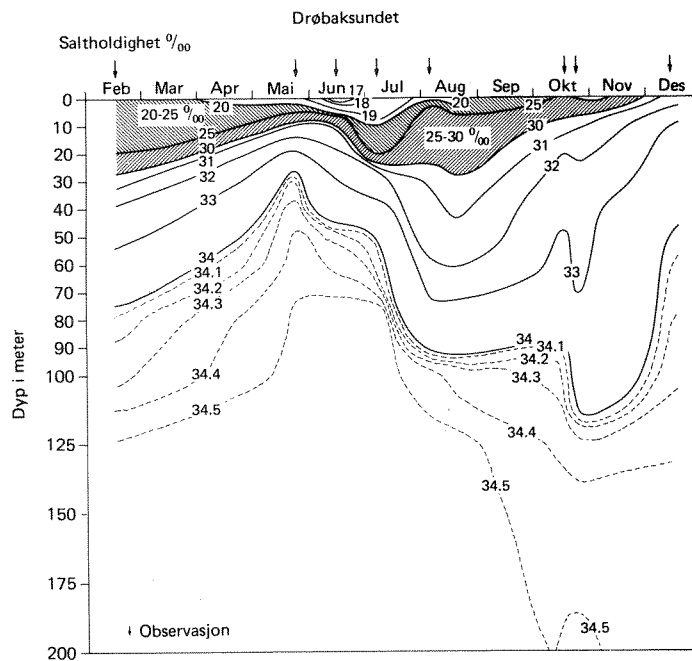
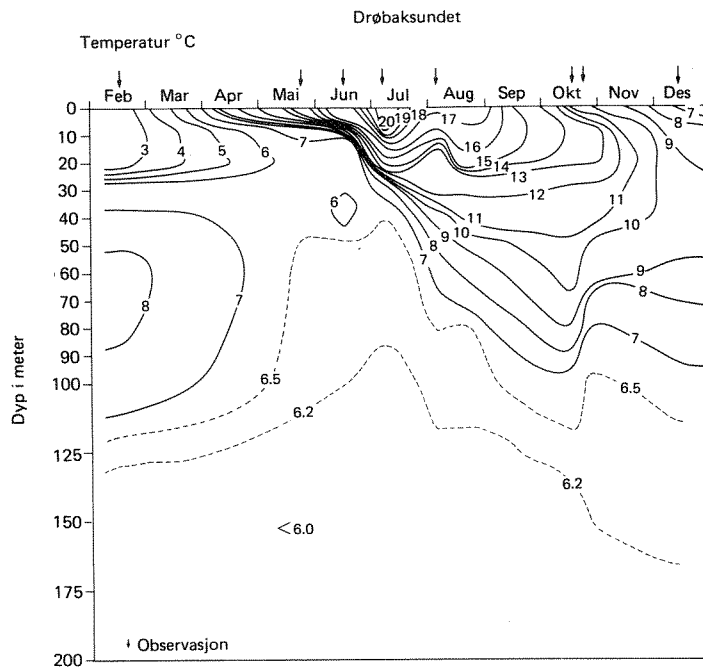
## 5.2 Mellomlagsfornyelse (ca. 50–125 meters dyp)

Nedre grense for mellomlaget er valgt ved terskeldypet til Skagerrak. Øvre grense er valgt ved det dyp variasjonen av tettheten avtar mest. Strømobservasjoner ved Søstrene viste også svake strømmer under 50 meters dyp (EY0 3.4 b). Dette er samme dyp som Gade (1963) definerte som nedre grense for overflatelaget.

I dette nivået er det liten topografisk begrensning for vannutskiftningen. Den vil derfor også være nærmest kontinuerlig. For å studere vannfornyelsen i dette vannlaget må det foretas hyppige hydrografiske observasjoner over flere år. Dette har ikke vært en målsetning for dette prosjektet. Allikevel vil tidligere observasjoner kunne brukes for å si noe om vannutskiftningen.

Tidligere observasjoner viser at de store hydrografiske variasjonene i Oslofjordens munning også viser seg i Breidangen og Drøbaksundet. Saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet i 1988 (figur 8) viser at mellomlaget har hatt tre store vannfornyelser (mai, august og oktober/desember). Det er ikke sikkert at alt det innstrømmende vannet kommer direkte fra Skagerrak. Noe av vannet kan ha hatt et mellomopphold i de ytre bassengene i fjorden.

Hvis man antar at det maksimalt har funnet sted tre utskiftninger pr. år gir dette en vannfornyelse på ca  $100.000 * 10^6 \text{ m}^3$  vann eller en transport på ca.  $3100 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur 8. Temperatur-og saltholdighetsvariasjonen i Drøbaksundet i perioden februar - desember 1988 (EY0 3.4c og d).



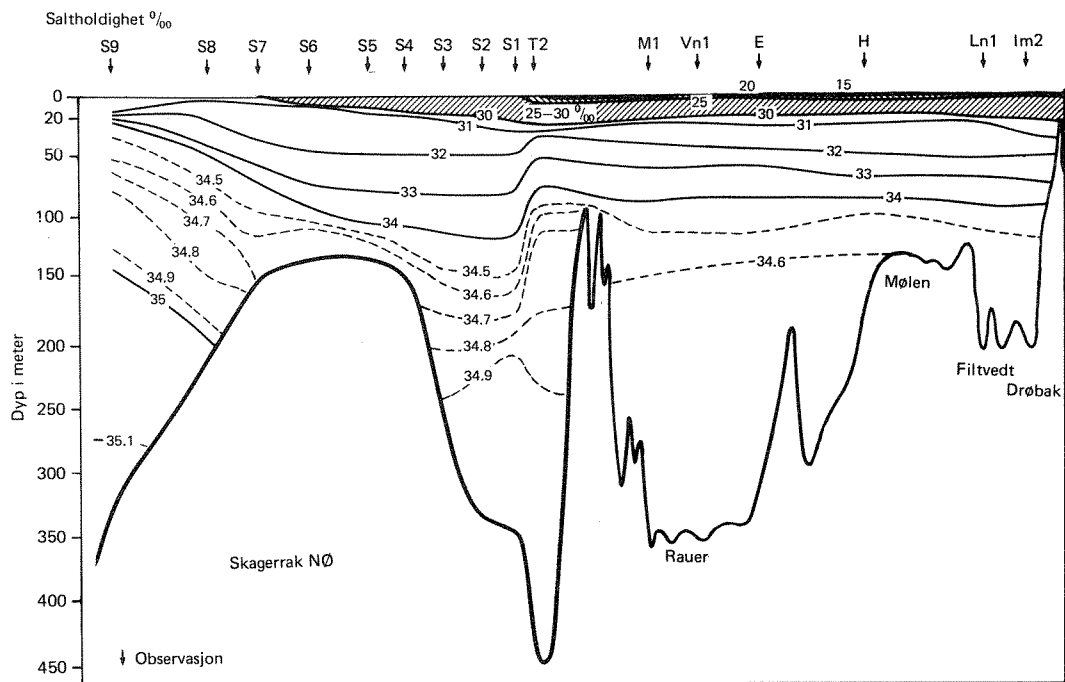
Vinterstid er det det samme vannet som danner dypvann som strømmer inn fra Skagerrak på fjordens mellomnivåer. I sommerhalvåret har vannet som ligger på mellom 10-20 meters dyp i Skagerrak samme egenskaper som vannet i Oslofjordens mellomnivåer. Om høsten kan det strømme inn vann med høy temperatur og relativt lav saltholdighet (Gade, 1963). Vann med slike egenskaper befinner seg normalt på 20- 50 meters dyp i Skagerrak (Svansson, 1975). Andre egenskaper for dette vannet er en oksygenmetning på 95% og fosfatkonsentrasjoner på ca. 12 µg/l.

August 1988 ble det gjennomført observasjoner av strøm v.h.a. ADCP og saltholdighet i nordøstlige Skagerrak og Ytre Oslofjord. Resultatene fra dette toktet (EY0 3.5b og EY0 3.6a) viste at haloklinen steg fra Oslofjorden og ut i Skagerrak (figur 9). Strømmålingene (figur 10) viste at de store vannmassene i Skagerrak strømmet tvers over munningen av Ytre Oslofjord på terskelområdet. Innenfor en vestgående strøm ble det observert en østgående strøm (figur 11).

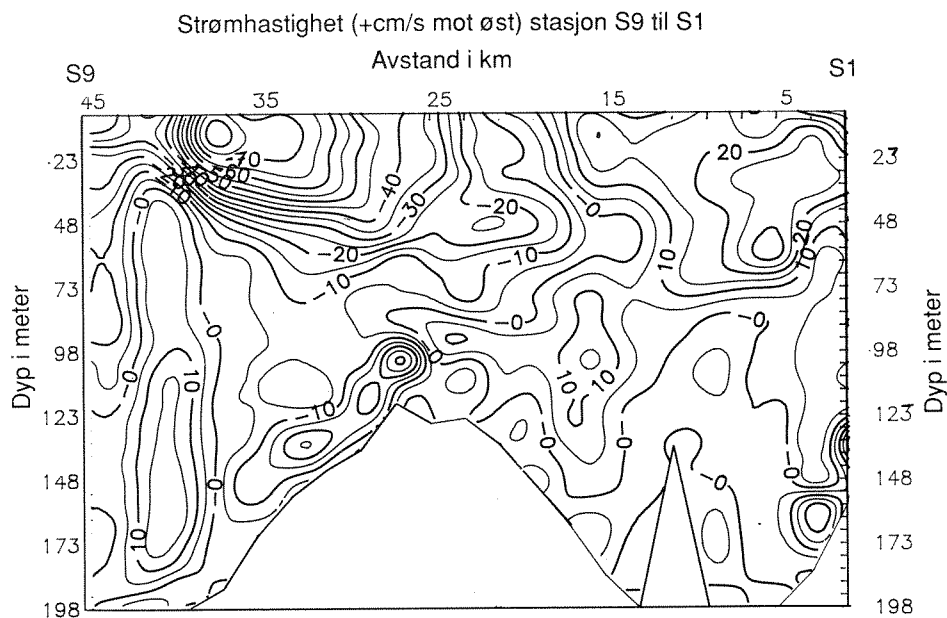
Figur 12 viser et satellittbilde fra området i samme tidsrom. Bildet gir detaljert informasjon om vannmassenes posisjon og styrker tolkingen av strøm- og saltholdighetsobservasjonene (figur 11). Figuren viser temperaturfordelingen i overflaten i Skagerrak og Ytre Oslofjord den 1. august. Skagerrakbildet er tatt kl 1409 (GMT) og er basert på data fra NOAA-9 satellitten. De to mindre utsnittene over Breidangen og Ytre Oslofjord/Hvalerområdet er fra Landsat-5 kl. 0956 (GMT) og er noe forstyrret av sensorstriper. På Skagerrakbildet strømmer kaldt vann mot nordvest i sentrale Skagerrak. Ved Kosterområdet strømmer varmere vann mot syd og sydøst (se også figur 12). På de mindre utsnittene ser man vannmasser fra Drammensfjorden strømme mot syd i Breidangen. Glommavann synes å strømme mot syd/sydvest.

Observasjoner av Rohde (1987) viste at en sirkulasjon mot urviserne (syklonal) i Skagerrak trolig er en normalsituasjon, men at en sirkulasjon med urviserne (antisyklonal) også forekommer. Rohde konstaterte videre at strømmen i de øvre vannlagen er generert av lokal vind og konsistent med Ekmantransporten.

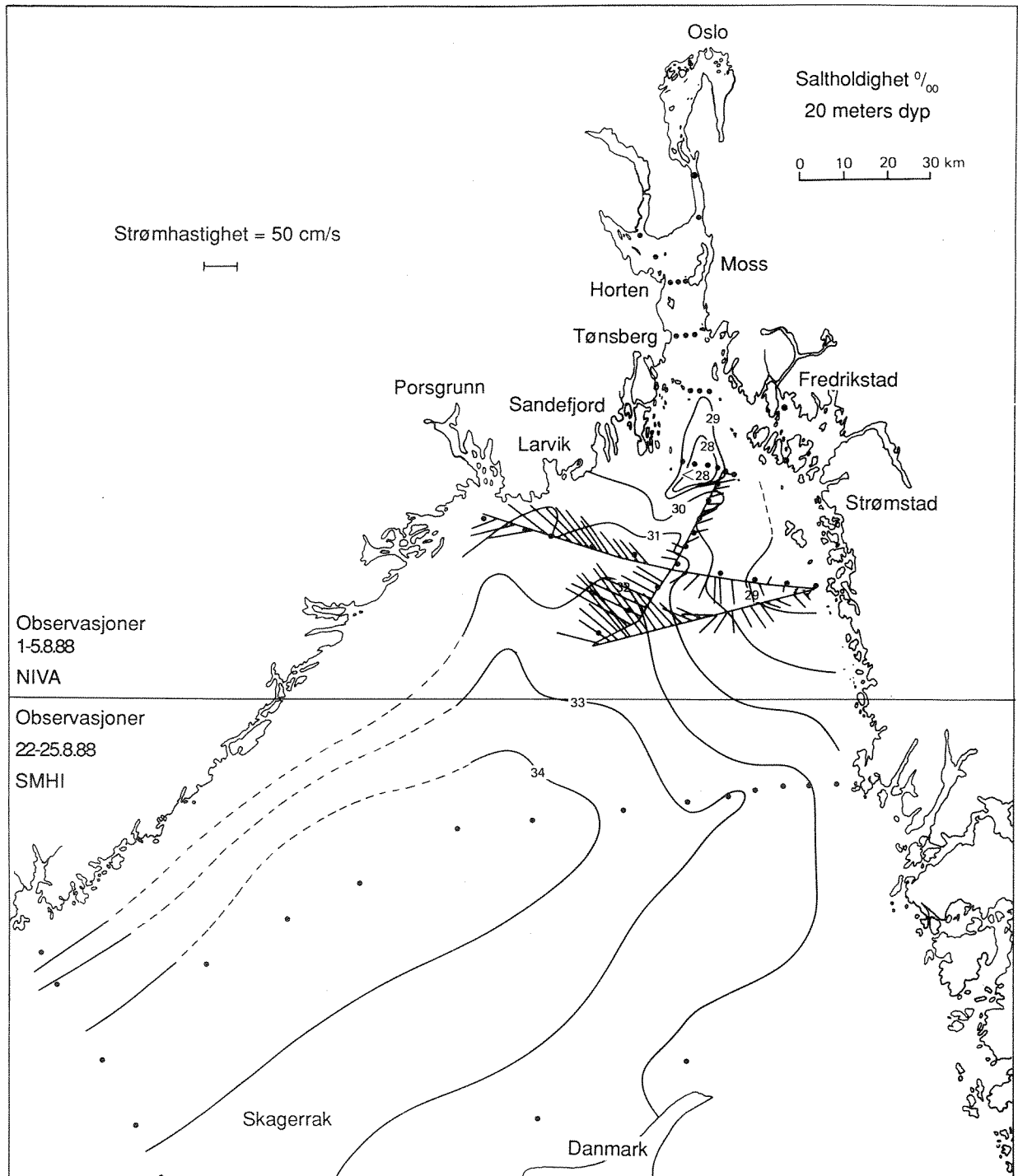
For å få det tyngre Skagerrakvannet inn i Oslofjorden må strømmene i Skagerrak svekkes slik at det dannes en gravitasjonsstrøm mot Ytre Oslofjord. Dette betyr en svekkelse av de(n) drivende kreften(ne). Sammenfallende stigende vannstand i Østersjøen og svake eller vekslende vinder er en situasjon som, hvis den vedvarer over mer enn noen dager, skulle kunne gi vannutskiftning i Oslofjorden. For å forstå vannutskiftningen i mellomlaget i Oslofjorden, er det viktig å få bedre kjennskap til denne mekanismen.



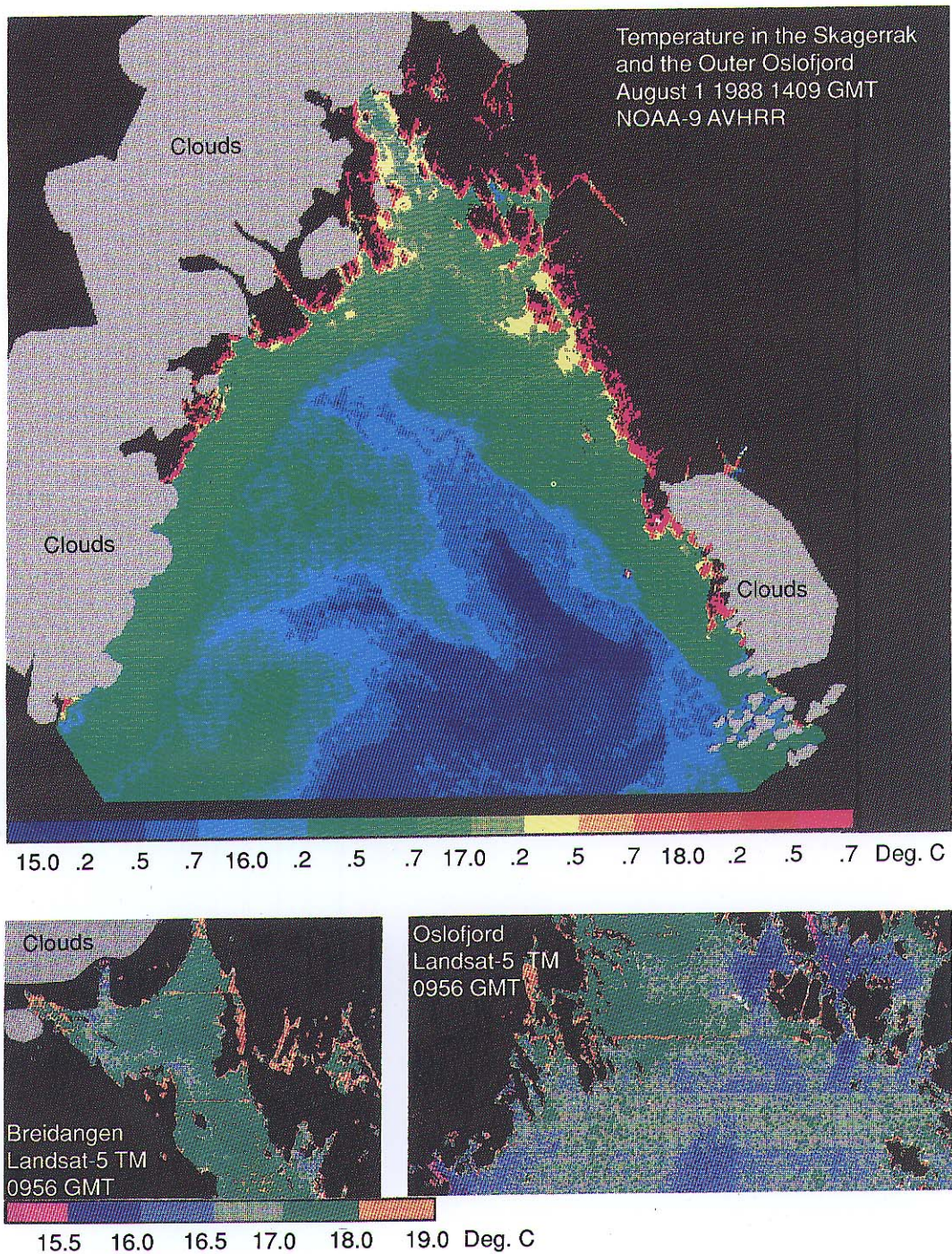
Figur 9. Saltholdighet (‰) den 2-5.8.1988 fra Drøbak til stasjon S9 i Skagerrak (EY0 3.6 a).



Figur 10. Østkomponenten av strøm mellom stasjonene S1 og S9 i Skagerrak den 2.8.1988. Observasjonene er tatt med ADCP fra Trygve Braarud. (Konturintervall 10 cm /s; nederste tall angir avtandsintervall for hvert merke). (EY0 3.5 a.)



Figur 11. Strømhastighet v.h.a. ADCP og saltholdighet på 20 meters dyp i Skagerrak den 2-3.8.1988, kombinert med saltholdighetsobservasjoner fra Sveriges meteorologiska og hydrologiska institut (SMHI) den 22-25.8.1988 (EYO 3.6 a). Satellittbildet (figur 12) er fra samme område den 1.8.1988.



Figur 12. Temperatur i Skagerrak og Ytre Oslofjord den 1. august 1988. Skagerrakbildet er fra NOAA-9 (AVHRR) kl 1409 (GMT) og utsnittene er fra Landsat-5 (TM) kl. 0956 (GMT). (EYO 3.7 a).

### 5.3 Overflatelagets vannfornyelse (0-50 meters dyp)

I dette prosjektet har det vært lagt mest vekt på forståelsen av transporter og sirkulasjon i overflatelaget, ettersom det er her mesteparten av forurensningene tilføres, fortynnes og spres.

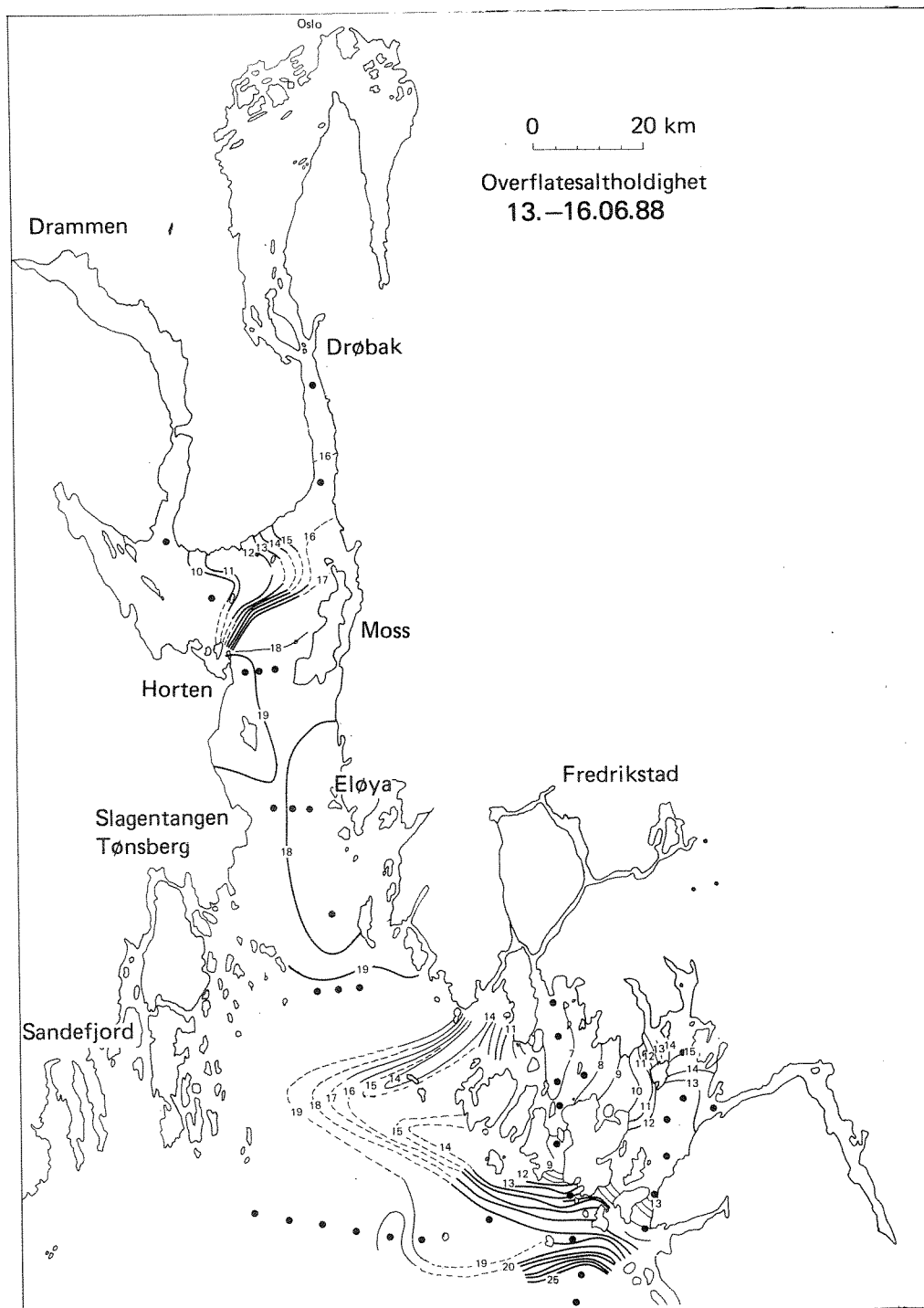
Strømmer og transporter i overflatelaget er et resultat av forskjellige mekanismer som generer strøm. For å kunne beskrive denne sirkulasjonen er det først nødvendig å isolere de enkelte mekanismene, for deretter å sette dem sammen i f.eks. matematiske modeller. Dette er gjort i dette prosjektet. Til nå er det utført feltobservasjoner av strøm og spredningsstudier av overflatelaget med naturlige sporstoffer i kombinasjon med fjernanalyse og hydrografiske undersøkelser. Samtidig er det utviklet en numerisk modell for overflatelagets sirkulasjon.

Resultatet av dette arbeidet er ikke ferdigbehandlet. Arbeidet skal fortsette i 1989. Her gis kun foreløpige resultater.

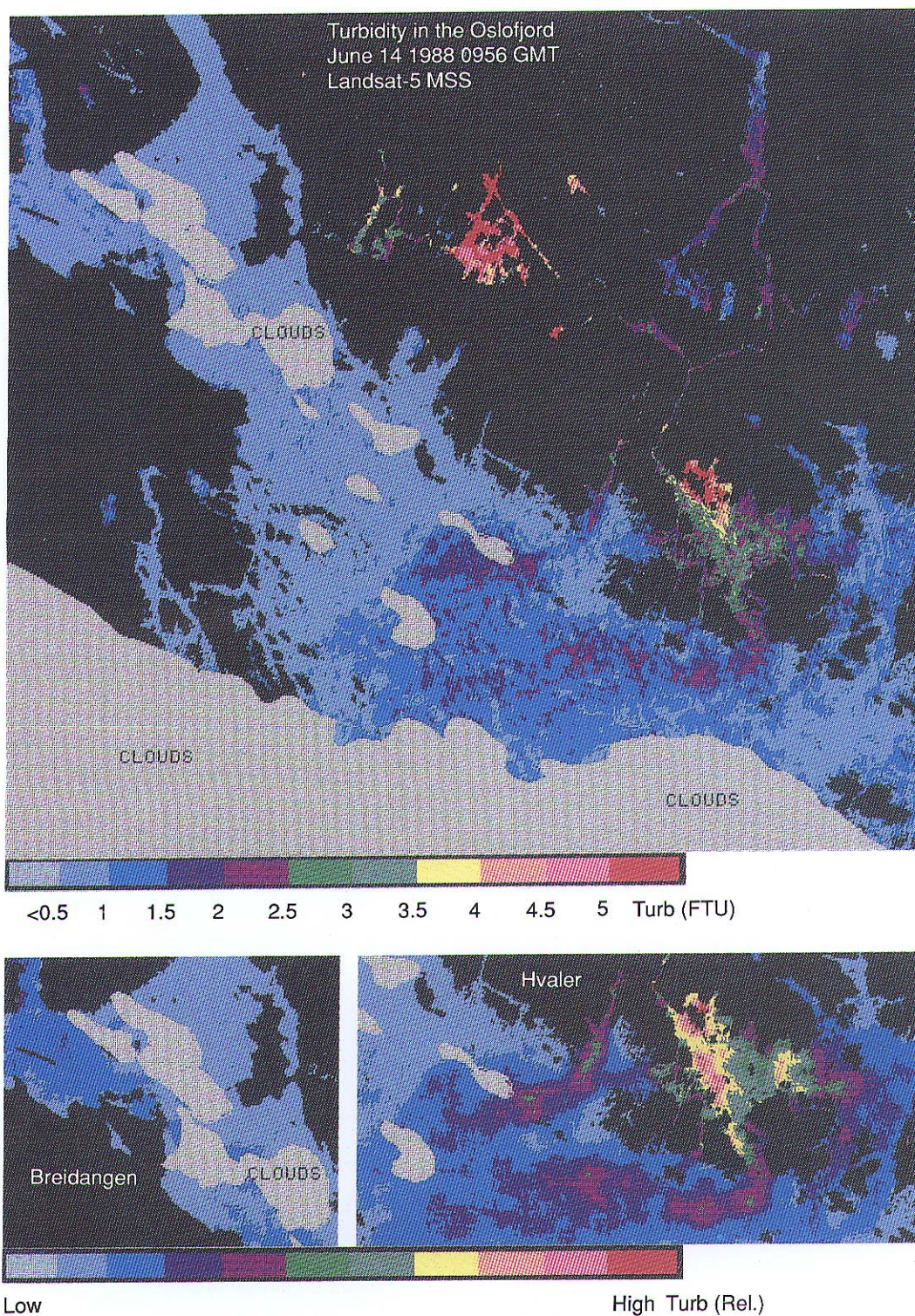
Vannutskiftningen i de øvre 50 meter er avhengig av meteorologiske variasjoner (adveksjon av vannmasser p.g.a. vind og lufttrykksvariasjoner), tidevann (adveksjon av vannmasser ved gravitasjonskrefter fra sol og måne) og ferskvannstilførsel (adveksjon og medrivning).

Spredning av ferskvann i Ytre Oslofjord er studert ved satellitt- og "in-situ-optiske" observasjoner samt observasjoner av saltholdighet og ferskvannsspesifikke sporstoffer. Figur 13 viser saltholdigheten i overflatelaget den 13-16.6.1988, hvor også informasjon fra et satellittbilde er blitt brukt (Figur 14). Vannføringen i Glomma og Drammenselva var stor henholdsvis  $1400 \text{ m}^3/\text{s}$  og  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  og vindene var svakt sørlige (2-4 m/s) med enkelte perioder med frisk bris. Middelvannstanden i Oslofjorden var svakt stigende (figur 15).

Figur 14 viser et bilde fra Landsat-5 satellitten den 14. juni kl. 0956 (GMT). Bildet er kalibrert mot felldata og uttrykt i reelle turbiditetsverdier. To mindre utsnitt fra h.h.v. Breidangen og Hvalerområdet viser den relative fordeling av vannmassene og gjengir flere detaljer.



Figur 13. Overflatesaltholdigheten i Ytre Oslofjord i perioden 13-16.6.1988. Observasjonene er tatt kontinuerlig i sjøvannsinntak på forskningsfartøyet (EY0 3.6 a). Stiplede linjer vest Hvaler er trukket m.h.a. satellittbildet i figur 14.



Figur 14. Turbiditeten i Ytre Oslofjord den 14. juni 1988 0956 (GMT). Utsnittene over Breidangen og Hvalerområdet viser den relative fordelingen av suspendert materiale. Data fra Landsat-5 (MSS). (EYO 3.7 a).

Figur 13 og figur 14 viser at brakkvann fra Glomma strømmet i hovedsak mot vest. Drammensfjordvann strømmet dels mot Horten, dels norøstover mot Drøbaksundet (figur 13), mens satellittbildet, som er tatt ved et noe annet tidspunkt enn overflateobservasjonene, kun viser spredning av Drammensfjordvann mot sør. Strømmålingene (EY0 3.4a) viste nordgående strøm i Oslofjordområdet. I slike situasjoner stues vann opp i Oslofjorden. Brakkvann fra Breidangen kan føres langt inn i Drøbaksundet og videre inn i Indre Oslofjord (EY0 3.4c og d).

Den numeriske modellen (EY0 3.3a og b) beskriver en situasjon med relativt stor ferskvannstilførsel og sørlige vinder (eksperiment STD1, se rapport 3.3 del 2). Figur 16 viser resultatet av en simulering av brakkvannstransporten som "sporstoff" fra Drammensfjorden og Glomma. Helt ytterst i modellområdet er overensstemmelsen mellom modell og observasjoner meget god (se figur 14 og figur 13).

Observasjonene og modellresultatene viser at det må være en strøm mot nord langs svenskekysten og i Kosterområdet (Ekmantransport). Denne strømmen presser overflatevann fra Oslofjorden mot nord og vest. Brakkvannet fra Glomma strømmer vestover mellom Akerø og Færder. Det synes som om valget av grensebetingelser i modellen (dvs. Ekmantransport) gir overensstemmelse med observasjonene.

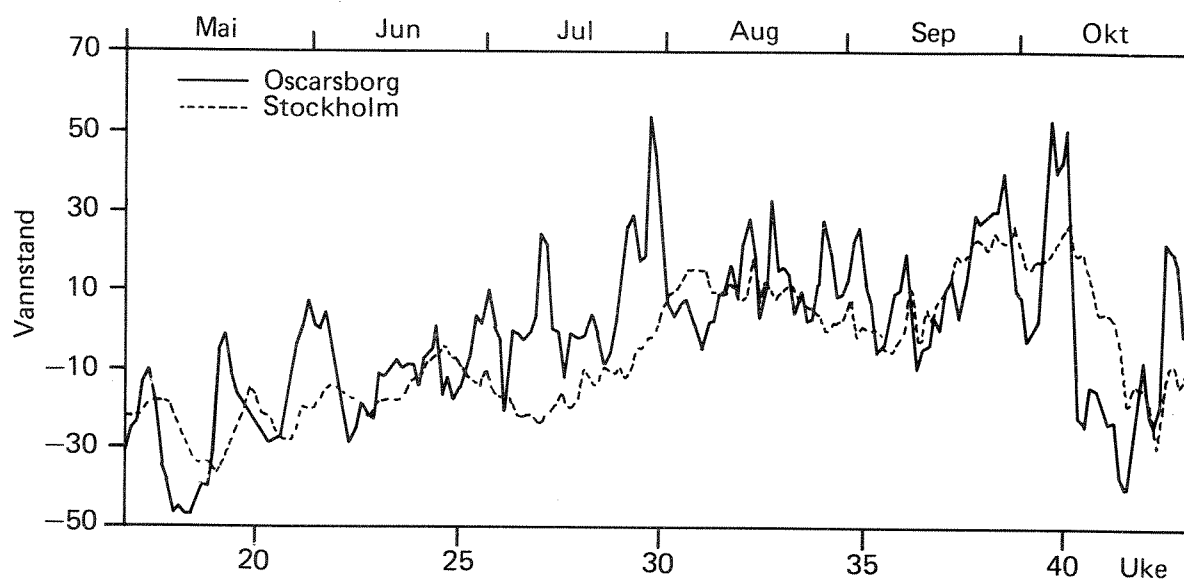
Figur 13, 14 og 16 viser spredning av vann fra Drammensfjorden. Modellen gir i store trekk samme bilde som observasjonene, men her er det også avvik. Spredning av brakkvann fra Drammensfjorden viser svært liten eller ingen transport av brakkvann mot Drøbaksundet i modellen, men derimot i observasjonene. I den numeriske modellen (EY0 3.3b) er imidlertid en slik transport av brakkvann inn i Drøbaksundet transient, dvs. det skjer de første tre døgn etter en overgang til rådende værtype. Resultatet fra oppstart av modellen og sammenligning av strømmålerresultatene i Drøbaksundet stemmer med en tredøgnperiode. Ukentlige observasjoner i Drøbaksundet (EY0 3.4c og d) viser også store variasjoner i overflatelagets saltholdighet. Dette viser at transporten av brakkvann fra Drammensfjorden via Breidangen bør være av transient natur.

Sammenlignes observasjonene fra den 13-16.6.1988 med den numeriske modellens "klimatologiske situasjon", fremgår at modellen i hovedsak klarer å beskrive situasjonen (EY0 3.3b).

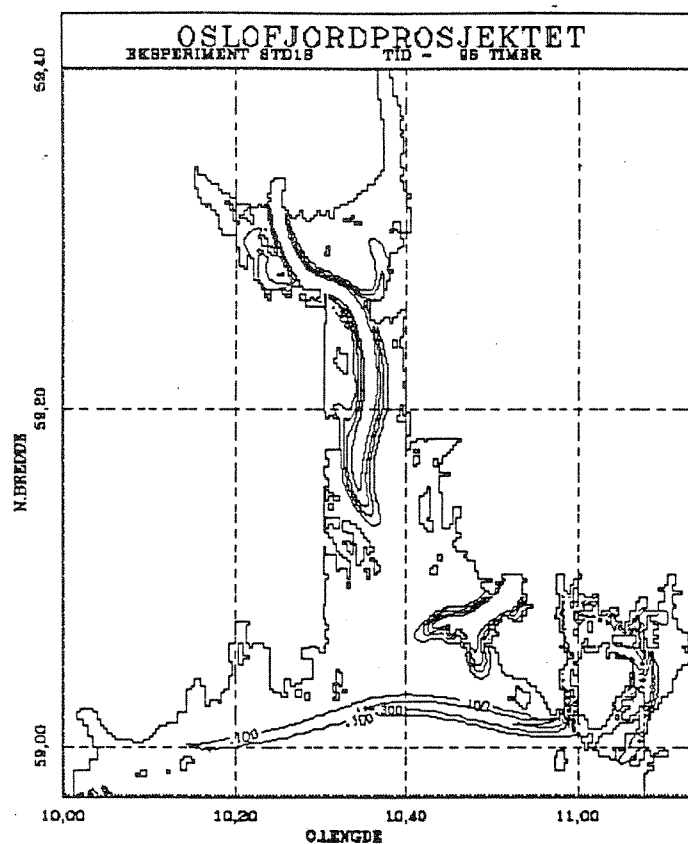


### Vannstand mai–oktober 1988

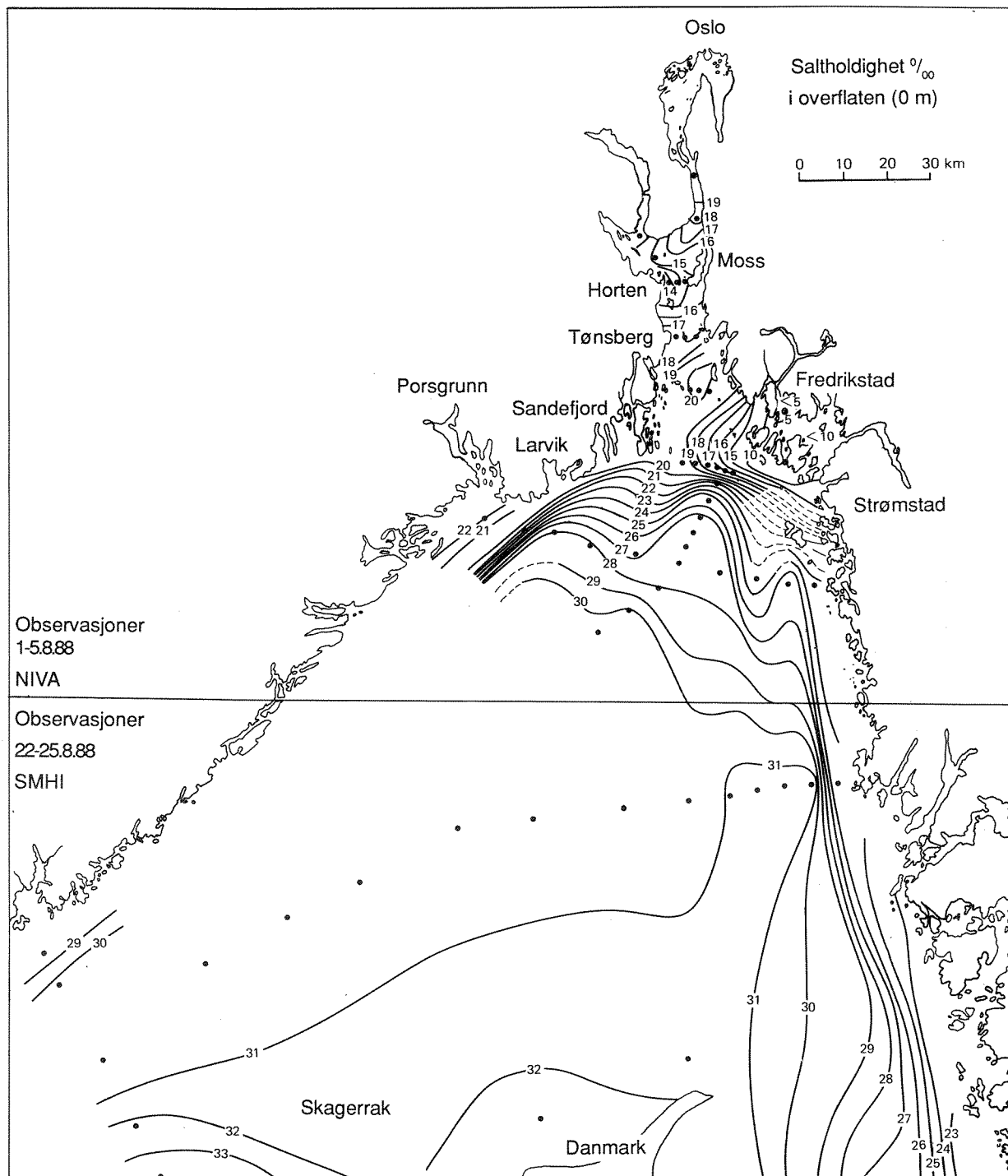
Stockholm og Indre Oslofjord .



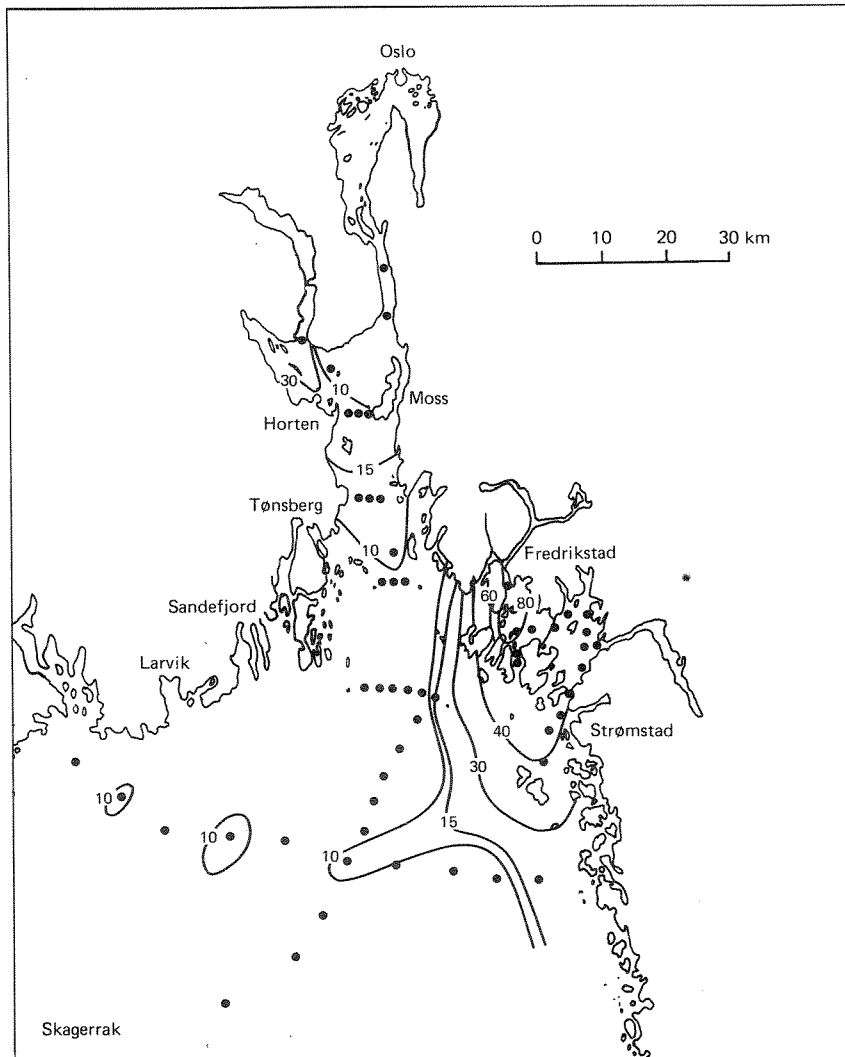
Figur 15. Døgnmiddel av vannstand (cm) i Østersjøen (Stockholm) og Oslofjorden (Oscarsborg) i perioden mai til oktober 1988.



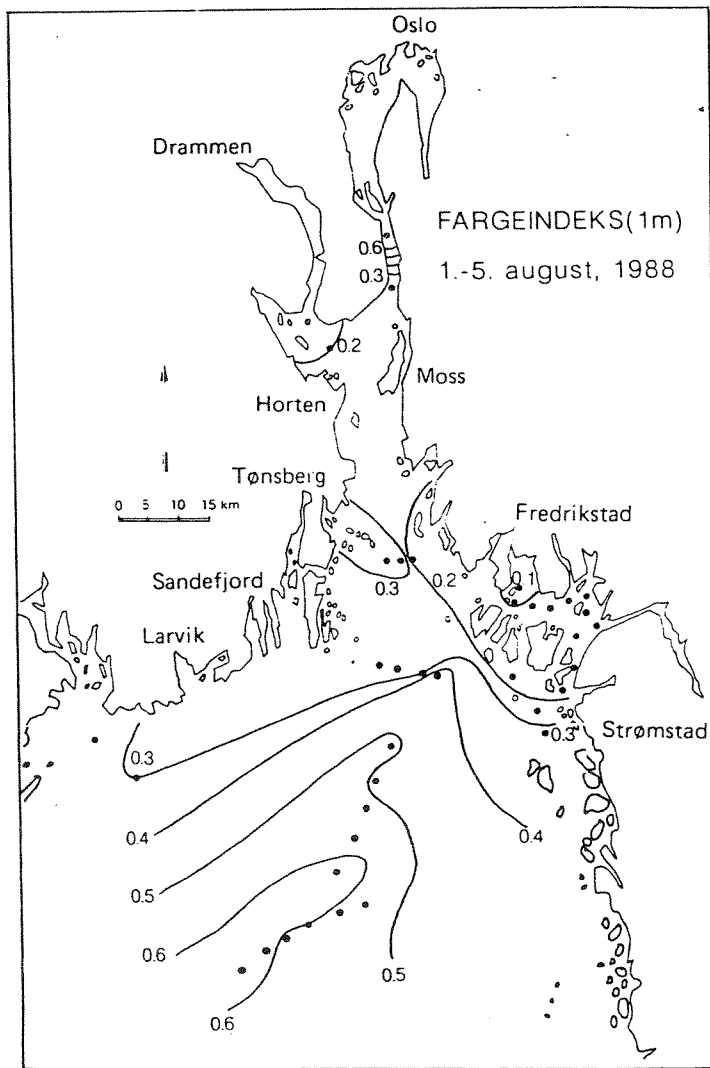
Figur 16. Modellsimulering av "sporstoff" fra Drammensfjorden og Glomma, sommersituasjon (EY0 3.3 b).



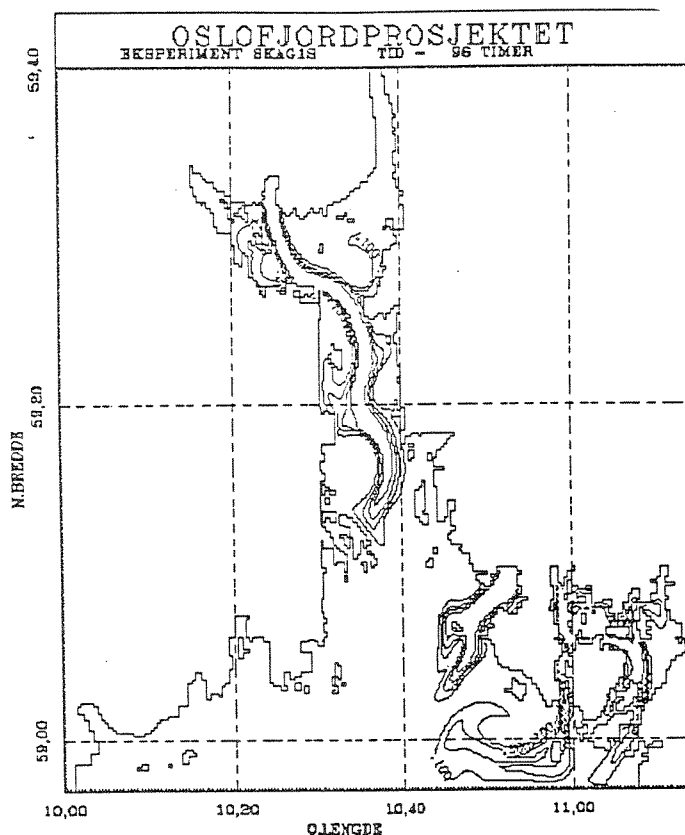
Figur 17. Overflatesaltholdigheten i Skagerrak og Ytre Oslofjord i perioden 2-5.8.1988, kombinert med observasjoner fra SMHI i perioden 22-25.8.1988 (EY0 3.6 a).



Figur 18. Mengde partikulært aluminium ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevannet i perioden 2-5.8.1988 (EY0 3.6 a).



Figur 19. Fargeindeks i 1 meters dyp i perioden 1-5.8.1988 (EYO 3.7 b).



Figur 20. Modellsimulering av ferskvannsspredning fra Drammensfjorden og Glomma når de ytre grensebetingelser (Ekmantransporten, nordgående strøm langs svenskekysten) er fjernet. Stasjonær slutttilstand, 96 timer. Konturlinjer for nivåene 0.1, 0.3, 0.7 og 0.9. (EY0 3.3 b).

Ved gradvis å "strupe" ferskvannstilførselen fra Drammensfjorden i modellen (EY0 3.3b) ble hele sirkulasjonsmønsteret forandret innenfor Rauer/Fulehuk. Tilsvarende struping av Glomma gav liten forandring på grensen av Ytre Oslofjord. Dette eksperiment viser betydningen av strømforholdene i Skagerrak for de ytre delene av fjorden, samt den forholdsvis store innflytelsen av Drammenselva på fjordområdet innenfor Fulehuk/Missingen.

Overflatesaltholdigheten den 2-5 august 1988 i Ytre Oslofjord (figur 17) viser en situasjon etter en periode med sterk sønnavind og stigende vannstand i hele Oslofjorden. Vannstanden i Oslofjorden sank ca. 55 cm på 2-3 døgn (se figur 15). Modellsimuleringen (EY0 3.3b) viste en kraftig utstrømming av vann fra Oslofjorden i samme periode. Flere observasjoner fra overflatelaget den 2-5/8 (EY0 3.7b, 3.7a 3.6a samt 3.5a) viste en utstrømming av overflatevann fra Oslofjorden. Vann fra Singlefjorden/Hvaler strømmet sørover og kunne spores så langt som sør for Kosterøyene. Konsentrasjonen av partikulært aluminium viser spesielt tydelig utstrømmingen av vann fra Oslofjordområdet (figur 18). Den sørlige spredningen kan også ses av fargeindeksobservasjoner på 1

meters dyp i figur 19 samt i satellittbildet i figur 12.

En situasjonen som minner om forholdene i august (figur 17-19) er simulert i strømodellen (EY0 3.3 a). I et eksperiment med modellen har forfatterne sett bort fra kyststrømmen, dvs. Ekmantransport som ytre randvilkår i Skagerrak. Figur 20 viser vann fra Singlefjorden/-Hvaler som strømmer mot sør og inn i Kosterfjorden. Samtidig er det en kraftig strøm ut Oslofjorden via Færder og den norske sørkysten. Imidlertid viser strømmålingene i Skagerrak (EY0 3.4a) at strømmen i hovedsak var østlig utenfor Torbjørnskjær i august 1988 (figur 10 og figur 11). Det har blitt dannet en lokal virvel som transporterer vann med høyere saltholdighet inn mot Oslofjorden og vann med lavere saltholdighet sørover langs svenskekysten.

Strømobservasjonene i august 1988 mellom Færder og Torbjørnskjær (EY0 3.5a) viste ofte en inngående strøm ved Torbjørnskjær, av og til mot NV, samt sørgående strøm ved Færder. Resultater fra modellen viser samme hovedtrekk, men mangler selvfølgelig variabiliteten. Observasjonene tyder på et strømskjær midt i snittet mens modellen gir en strømslynge gjennom snittet. Dette kan bero på at dette er nær modellens ytre grense, hvor randvilkårene lett fører til avvik.

Den tyngdereduserte modellen klarer således i store trekk å simulere overflatevannets bevegelser i Oslofjorden. Avvikene mellom modell og observasjoner synes foreløpig å kunne forklares med at observasjonene ofte inkluderer ustabile overgangssituasjoner.

Fortsatt gjenstår beregninger av vannmassenes oppholdstid og den estuarine sirkulasjonen.

Strømmålinger fra Grisebådarna i sør til Drøbaksundet i nord viser at saltholdighetsvariasjonene er omtrent samvarierende på Missingen og i Drøbaksundet. I store trekk gjenfinnes samme mønster på Grisebådarna som utenfor Koster (EY0 3.4b). Figur 21 viser også at saltholdigheten øker ut over i fjorden. Det er vist at strømmen i Oslofjorden varierer med den lokale vinden (EY0 3.5c) med faseforskyvninger. Imidlertid er strømmen ved Grisebådarna et unntak. En forklaring på dette kan være at det regelmessig oppstår store virvler i dette området når vindfeltet forandres.

Gjennom strømobservasjoner og modellutvikling har man fått et bra kvalitativt bilde av sirkulasjonen i Ytre Oslofjords overflatelag. Det har vist seg meget nyttig å kunne avklare drivende krefter bak sirkulasjonen ved modelleksperimenter. Dette er avgjørende for å kunne trekke konklusjoner om observasjonenes representativitet.

Det mangler fortsatt en kvantifisering av vannutskiftningen i overflatelaget. EY0 3.3b skiller kvalitativt mellom tre geografiske områder: Breidangen (dvs. fra Drøbak til Horten/Gullholmen), den sentrale delen fra Horten/Gullholmen til Fulehuk/Missingen, samt området sør for Fulehuk/Missingen. I Breidangen vil overflatevannet ha en lengre oppholdstid ettersom det ofte vil være en stor virvel der. Området utenfor Breidangen betraktes som en transportsone av vann ut og inn av fjorden. Det siste området er et grenseområde mellom Skagerrak og Oslofjorden med korte oppholdstider på vannmassene.

Det er gjort forsøk på å anslå kvantitative transporter i Ytre Oslo fjord. Ut fra de hydrografiske observasjonene er oppholdstiden i Drøbaksundet ned til 20-30 meters dyp anslått til ca. 1 uke (EY0 3.4 c og 3.5d). Dette betyr en transport på 600-900 m<sup>3</sup>/s. Ut fra hydrografiske variasjoner i Breidangen er det tidligere anslagsvis beregnet en effektiv vannutskiftning mellom 160 - 1100 m<sup>3</sup>/s (middelverdi på 350 m<sup>3</sup>/s). Innenfor Slagentangen-Larkollen er den beregnet til 230 til 1600 m<sup>3</sup>/s pr. 10 meters dyp i nivåer omkring 40-60 meters dyp (Bjerkeng, Knutzen og Magnusson, 1979). Oppholdstiden for dette vannet varierte mellom 0.5 til 3 måneder, beregnet på observasjoner fra 1973/1974. Dette er vannmasser som ligger nederst i overflatelaget og som skiftes ut ved adveksjon generert av vind og vannstandsvariasjoner.

Resultatet av strømmålingene med ADCP i august 1988 viste store øyeblikkstransporter i Ytre Oslofjord (EY0 3.6a). Det er imidlertid en ikke uvesentlig del tidevannstransporter og transporter som gir lave nettotransporter over tid. Transportene på 10 meters dyp ble beregnet til ca. 500 m<sup>3</sup>/s i Drøbaksundet, ca. 800 m<sup>3</sup>/s mellom Horten og Moss, ca. 1600 m<sup>3</sup>/s mellom Slagentangen og Eløya og ca. 6000 m<sup>3</sup>/s mellom Færder og Torbjørnskjær. Dette er nettotransporter gjennom snittet. Sammenlignet med de tidligere beregningene tyder de avledede observerte transportene i august 1988 ikke på noen ekstremisituasjon.

Ferskvannets oppholdstid ble grovt anslått ved å beregne ferskvannsandelen i overflatelaget og fordele den på Glomma og Drammenselva (EY0 3.4c). I juni ble oppholdstiden anslått til ca. 1 uke og i august til ca. 2 uker. Hvis den estuarine sirkulasjonen anslås ut fra de to observasjonene, blir utstrømmende brakkvannet ca. 3.900 m<sup>3</sup>/s og innstrømmende kompensasjonstrøm ca. 1.900 m<sup>3</sup>/s ved en ferskvannstilførsel på ca. 2000 m<sup>3</sup>/s. Tilsvarende tall for august blir 2.400 m<sup>3</sup>/s ut av fjorden, ca. 950 m<sup>3</sup>/s inn fjorden ved en ferskvannstilførsel på ca. 1400 m<sup>3</sup>/s. En bedre beregning av den estuarine sirkulasjonen forutsetter flere observasjoner over året av saltholdighet, og at det skilles mellom Glomma og Drammenselvas influensområder.

#### 5.4 Skagerrak og Ytre Oslofjord

Betydningen av strømforholdene i Skagerrak for vannutskiftningen i Oslofjorden er tidligere nevnt. Dahl (1982) har, ut fra en enkel observasjon, beregnet at innstrømmende ferskvann (<35 ‰) fra Skagerrak var ca. 6 ganger den lokale ferskvannstilførselen fra Glomma og Drammenselva. Han definerte sjøvannet til 35 ‰, hvilket er høyt for Skagerrakvann. Den egentlige tilførselen av brakkvann fra områdene utenfor Oslofjorden blir således mindre. Hensikten er å vise at brakkvannet i Oslofjorden ikke alltid er lokalt dannet.

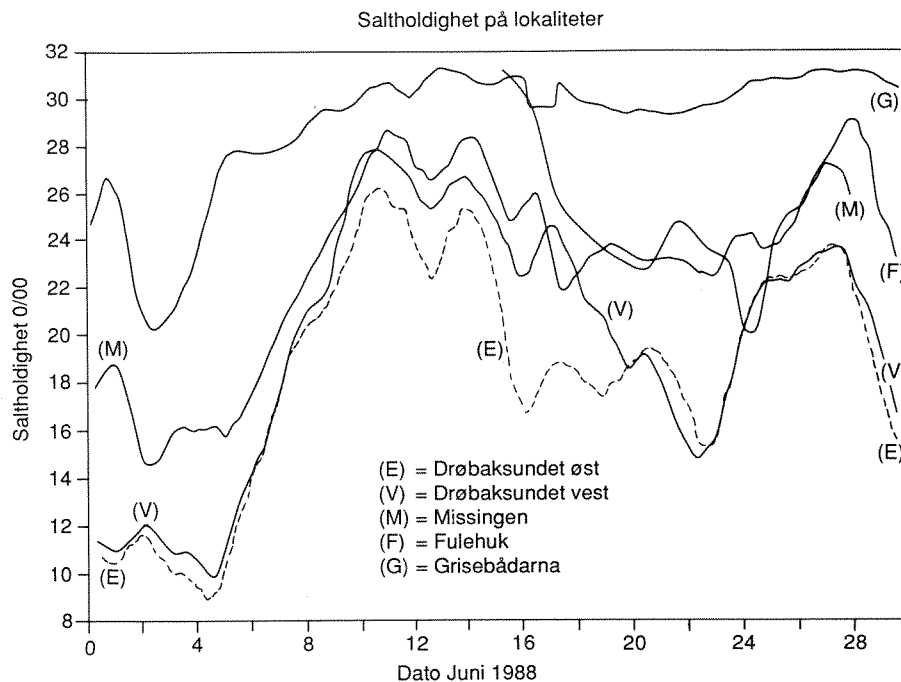
Ut fra strømmålingene fra augusttoktet i Skagerrak (figur 13) er transportene anslått (EY0 3.6a). Den sydøstgående transporten langs svenskekysten var ca. 0.4 Sverdrup og like stor som den sydvestgående strømmen utenfor Frierfjorden. Transporten i Skagerrak mot NV var ca. 0.9 Sverdrup. Rohde (1987) beregnet den midlere barotrope transporten i Skagerrak til ca. 0.5 Sverdrup. Augustobservasjonene ligger således nær Rohdes middelverdi.

Den sørgående transporten i august 1988 fra Singlefjorden/Hvaler er ikke en helt vanlig forekommende situasjon. Strømmålinger ved Grisebådarna viste riktignok ofte lavere saltholdighet ved sørgående strøm, men også ved enkelte tilfeller med nordgående strøm (EY0 3.5c) (figur 22). Strømobservasjonene fra august 1988 viste virvler i området som vanskeliggjør tolkingen av hva som måles. Svansson og Sætre (1988) viste at saltholdigheten var klart lavere enn midlere saltholdighet i ca 10% av daglige observasjoner i perioden 1923-28. I maiaugust var lave saltholdigheter vanligst, men enkelte år manglet brakkvannsutbrudd. Analyse av saltholdighet i Kosterrennen mot vindhastighet og vindretning, viste at vinder mellom 1-4 m/s fra S til NW ga høyeste frekvens med lav saltholdighet. Dette strider klart mot resultatene fra både modellstudiene og observasjonene i 1988. SMHI forklarer anomalien med at flommen i Glomma inntreffer på årstider med hyppigere sørlige og vestlige vinder (Svansson og Sætre, 1988). Ut fra våre undersøkelser kan forklaringen ligge i at brakkvannsutbruddet skjer i overgangen mellom ulike vær-situasjoner.

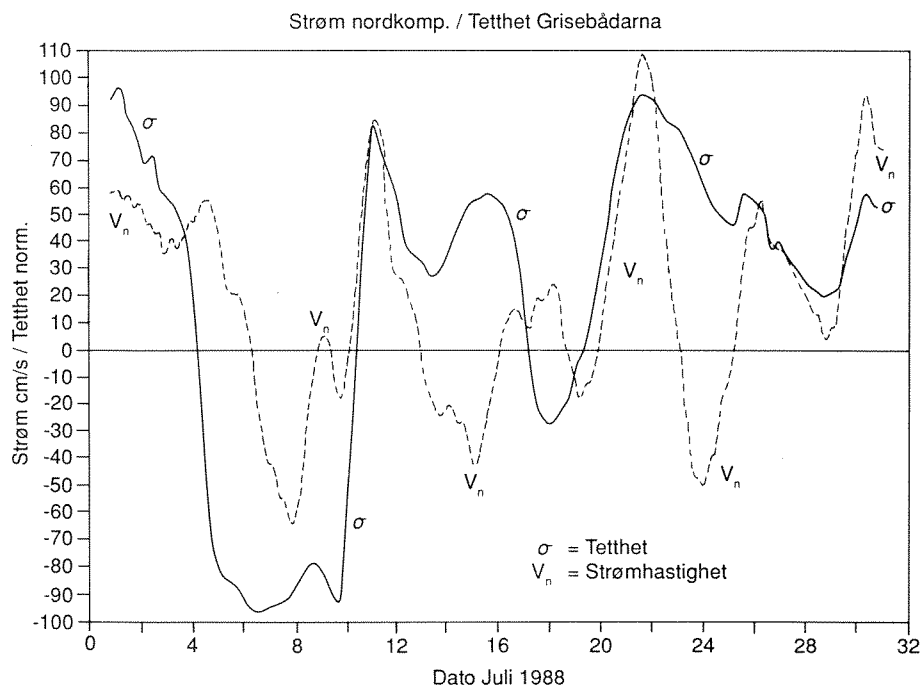
Ytterligere en faktor kan være av betydning for brakkvannsutbrudd. Svansson (1972) viste sammenhengen mellom overflatesaltholdigheten i Kattegat og Gullmarsfjorden og synkende middelvannstand i Østersjøen. Transporten i den Baltiske strømmen øker således ved synkende vann-



stand i Østersjøen. Magnusson m.fl. (1976) viste en parallell sprangsjiktsvariasjon i Ytre Oslofjord vinterstid 1973/74 ved synkende vannstand i Østersjøen og avtakende saltholdighet i Gullmaren (Bornø). Ved brakkvannsutbruddet august 1988 var vannstanden i Østersjøen stigende og den svekkelse dette har på den Baltiske strømmen kan ha vært en sterkt bidragende årsak til den observerte strømvirvelen ved Grisebådarna og til utbruddet av brakkvann fra Hvaler (figur 15).



Figur 21. Saltholdighetsvariasjonen på 5 meters dyp på ulike steder i Ytre Oslofjord i juni 1988, samt på 10 meters dyp ved Grisebådarna. Stasjonskart se figur 5. (EY0 3.5 c.)



Figur 22. Tettheten (saltholdigheten) og nordkomponentene av strømmen på 10 meters dyp ved Grisebådarna juli 1988 (EY0 3.5 c.).

## 6 HVA VET VI OM OKSYGENFORHOLDENE OG DE BIOLOGISKE FORHOLDNE

### 6.1 Oksygenforholdene

Som følge av de kompliserte topografiske og hydrografiske forholdene kan oksygenforholdene ikke beskrives under ett. Fremstillingen her er delt i to områder:

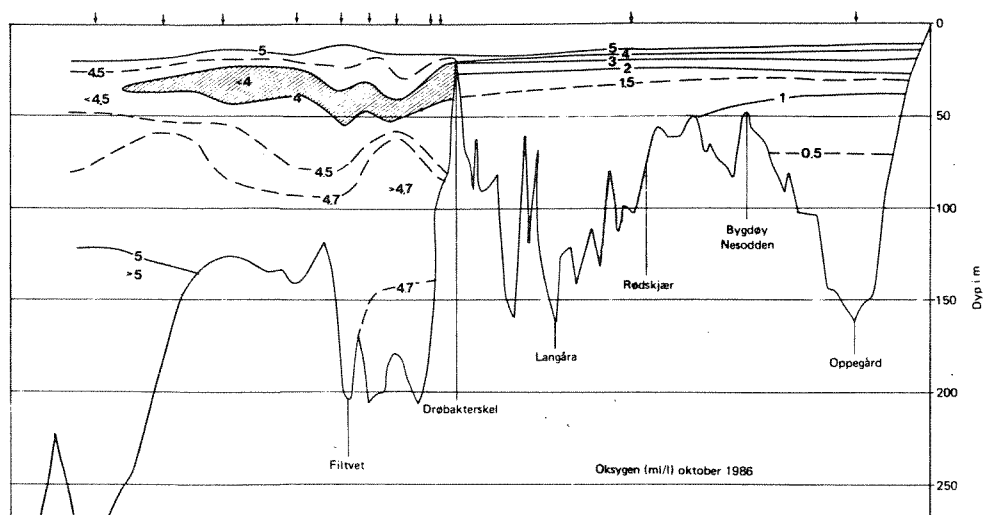
1. Hovedfjorden, som beskrives med et snitt langs dypålen fra Drøbakterskelen til Hvalerdypet. Langs dette snittet er det tatt prøver på en rekke stasjoner på tvers for å se hvor representativ midtfjordsstasjonen er. Dataene viser til nå at snittet langs midtfjordsstasjonene gir et meget godt bilde av situasjonen i fjordens hovedvannmasser.
2. Lokale områder, som er mer eller mindre avstengt fra hovedfjorden. I dette prosjektet gjelder undersøkelsene Sandebukta, Mølendypet, Mossesundet og Indre havn ved Horten. Fra andre undersøkelser finnes det opplysninger om en del andre områder: Hankøundet, Tønsbergfjorden, Singlefjorden og Glommas utløp, Iddefjorden, Sandefjorden og Larvikfjorden.

#### 6.1.1 Oksygenforholdene i hovedfjorden

Figur 23 viser oksygenkonsentrasjonen (ml/l) langs lengdesnittet fra Indre Oslofjord og ut til Bastøy høsten 1987. Figur 24 viser oksygenkonsentrasjonen i Drøbaksundet i februar-desember 1988, mens figurene 25 og 26 viser lengdesnittet i Ytre Oslofjord fra juni til november 1988.

Oksygenforholdene vil skifte gjennom året som følge av de hydrografiske årsvekslingene (figur 24). Vinterstid er situasjonen gunstig for større vannutskiftninger i hele Ytre Oslofjord, mens forholdene er roligere i sommerhalvåret. Imidlertid vil det stadig kunne skje vannutskiftninger over terskeldypet til Skagerrak også sommerstid. Som følge av tilførsler av forurensninger og algevekst i løpet av våren og sommeren vil fjorden bli belastet med organisk stoff. Den nedbrytningen av organisk stoff som skjer i dypvannet og på bunnen, vil redusere innholdet av oksygen i vannet. Reduksjonen vil pågå inntil

det skjer en fornyelse av dypvannet. Denne foregår vanligvis på høsten eller i løpet av vinteren. Sannsynligheten for å registrere lave oksygenkonsentrasjoner i Ytre Oslofjord er derfor størst mellom august og oktober.



Figur 23. Oksygen (ml/l) i Bunnefjorden til Bastøy i perioden 19-21.10.1987 (EY0 3.90).

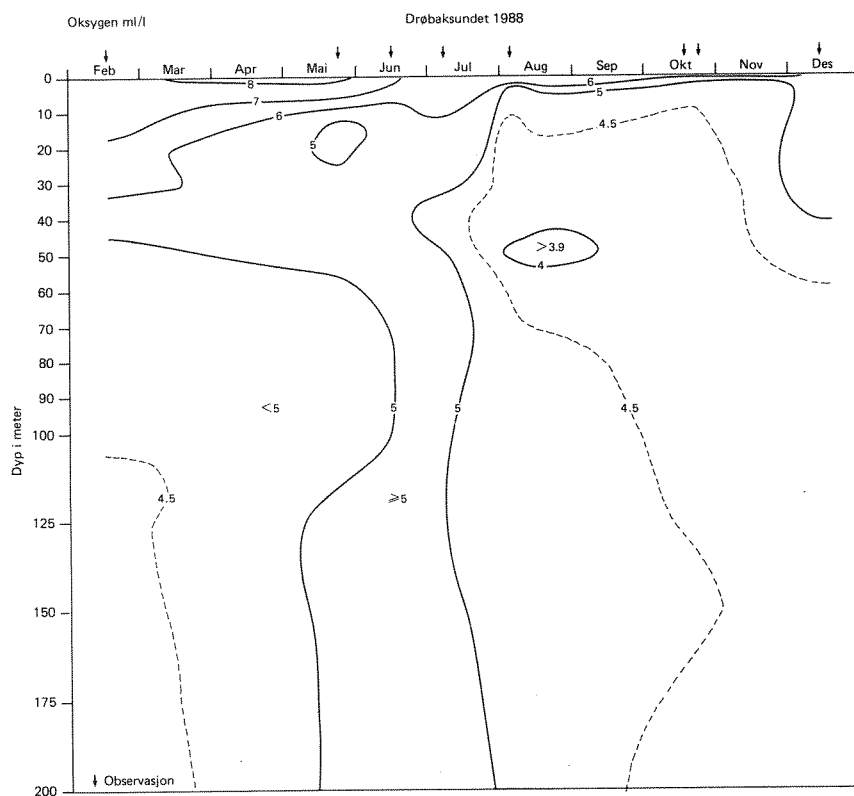
Som ledd i overvåkingsprogrammet for Indre Oslofjord, har det regelmessig vært tatt målinger ved en stasjon i Drøbaksundet. Ved sammenstilling av oktobermålingene, figur 27, ser vi at oksygenverdiene i mange dyp stadig synker. Denne utviklingen har vært kjent gjennom lengre tid og var et av utgangspunktene til at en nærmere resipientvurdering av hele Ytre Oslofjord ble startet.

Det er to viktige hovedobservasjoner:

For det første ligger oksygenverdiene i alle målinger høyere enn det nivået hvor det kan forventes negative effekter på fisk og andre organismer. Stort sett ligger det godt over en ofte brukt grenseverdi på 2.5 ml/l, men det er observasjoner som tyder på at grenseverdien i

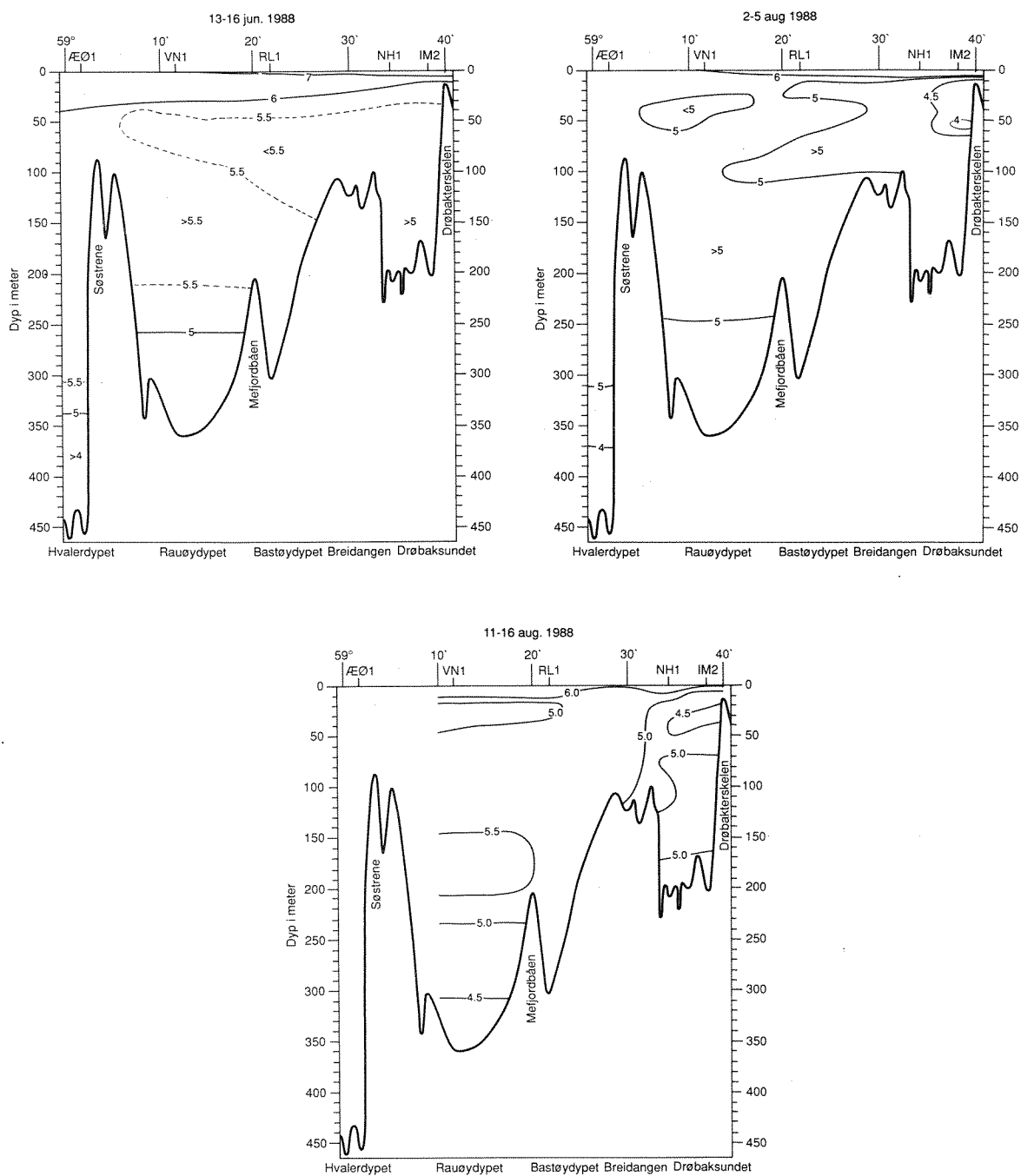
enkelte tilfeller bør settes høyere enn det.

For det andre er det en negativ utvikling i hele vannmassen i Drøbaksundet/Breidangen fra 20 meters dyp til i bunnen oktober måned. I 1987 ble de laveste oksygenverdiene (3,5-4,5 ml/l) funnet i de sentrale delene på 30-50 meters dyp fra Drøbaksundet og et stykke utover. På høsten 1988 kan denne effekten spores forbi Bastøy og til Rauøy.



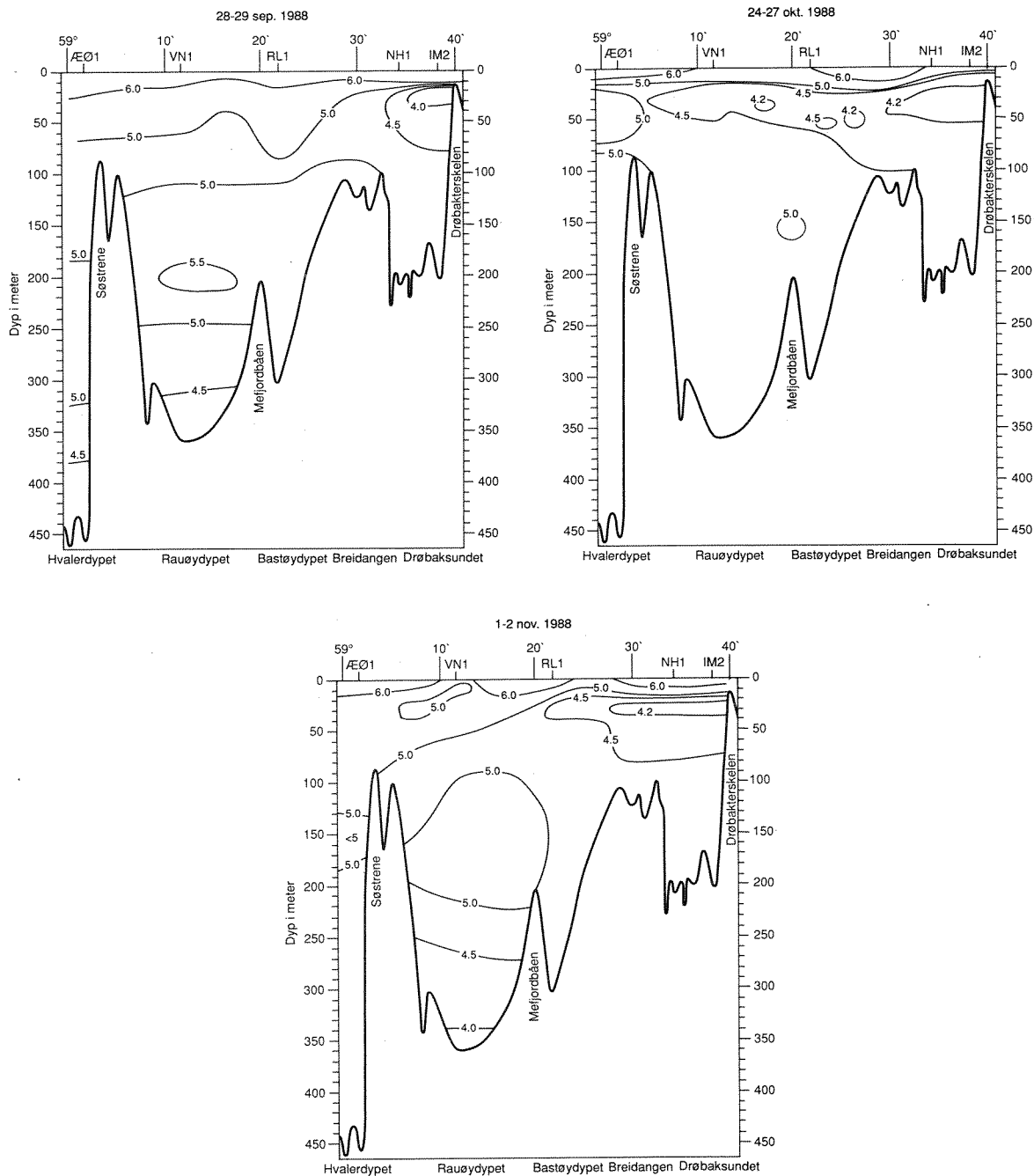
Figur 24. Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i Drøbaksundet i perioden februar - desember 1988 (EY0 3.4 c).

## ml/l oksygen



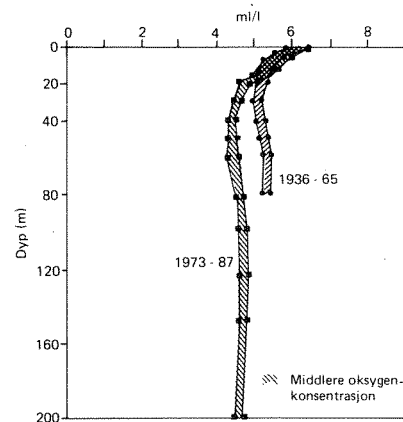
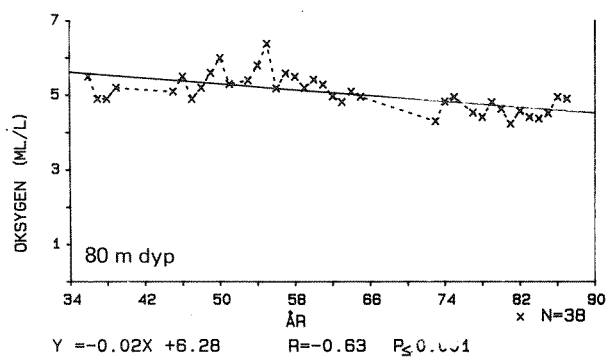
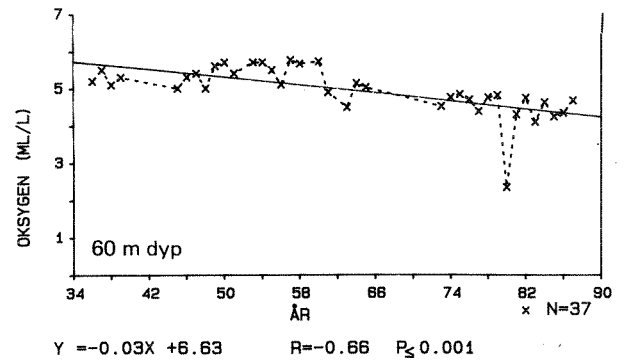
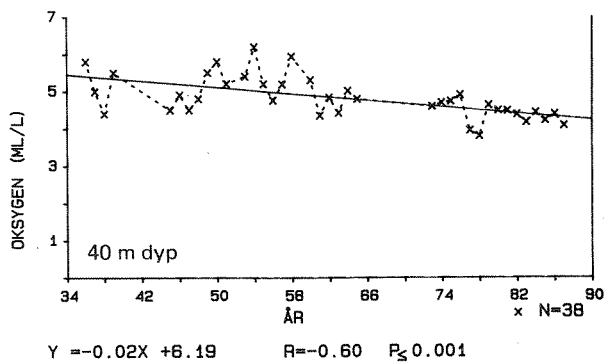
Figur 25. Oksygenobservasjoner i Ytre Oslofjord i perioden juni-august 1988 (EY0 3.4 c, 3.6 b og 3.9).

## ml/l oksygen



Figur 26. Oksygenobservasjoner i Ytre Oslofjord i perioden september-november 1988 (EY0 3.4 c, 3.6 b og 3.9).

## Oksygen (ml/l) Drøbaksundet i oktober



Figur 27. Oksygenutviklingen i oktober måned i Drøbaksundet i tidsrommet 1936 til 1987. (Data fra Dannevig 1945, Statens biologiske stasjon i Flødevigen 1945-51 og 1953-61 samt NIVA 1962-65 og 1973-87) (EY0 3.0).



Det er naturlig å finne reduserte oksygenverdier i vannlaget straks under sprangsjiktet når dette er velutviklet og planktonproduksjonen er stor. Allikevel har oktoberobservasjoner fra periodene 1936-39 og 1962-65 vist klart høyere verdier også i dette sjiktet sammenlignet med 1987. Lave oksygenkonsentrasjoner på mellomnivåer i fjorden kan gi negative biologiske effekter (Føyn, 1958). Sedimentanalysene har også vist at den organiske belastningen er størst på grunne stasjoner hvor det er observert flest anoksiske og suboksiske sedimenter.

Årsakene til den negative oksygenutviklingen i fjordens vannmasser er sannsynligvis:

- A. En økt planteplanktonbiomasse som følge av mer næringsrikt overflatevann. Dette vil gi en større sedimentasjon av organismer og økt belastning i dypvannet.
- B. Indre Oslofjord og Drammensfjorden har forurensningsproblemer som kan forplante seg ut i hovedfjorden ved tilførsler av nærings-salter og oksygenfattig vann.
- C. I flere lokale områder på begge sider av hovedfjorden er det påvist lokalt forårsaket oksygenvinn. Vann fra slike områder kan bidra til oksygenreduskjonen i hovedfjorden ved vannutskiftninger.
- D. Selv om vannet i Skagerrak alltid viser høyere oksygeninnhold enn vannet i Oslofjorden, er det grunn til å anta at Skagerrak-vannet er mer belastet med tilførsler av nærings-salter enn før. I Kattegat og farvannene vest for Danmark er det påvist tildels sterkt økt algevekst, med oksygenvinn i havvannet som følge. Foreliggende observasjoner viser imidlertid at vann fra Skagerrak som strømmer inn i Oslofjorden øker oksygeninnholdet i fjorden.
- E. Oksygenkonsentrasjoner vil alltid være lavere i en terskelfjord enn i et åpent kystområde. Vannutskiftningen er her avgjørende for hvor stor forskjellen kan bli. Observasjoner av bløtbunnsfauna og oksygen i fjorden har vist en forandring av forholdene i Ytre Oslofjord slik at den observerte oksygenkonsentrasjonen ikke er en ren "fjordeffekt". Derimot vil en dårligere vannutskiftning gi lavere oksygenkonsentrasjoner. Effekten av økte tilførsler til Ytre Oslofjord vil derfor kunne variere betydelig fra år til år med størrelsen på vannutskiftningen. Dette forklarer variasjonene i oksygenkonsentrasjonen i 1987/88, og at "sprangsjikteffekten" kan bli meget stor noen år.

### 6.1.2 Oksygenforholdene i lokale områder

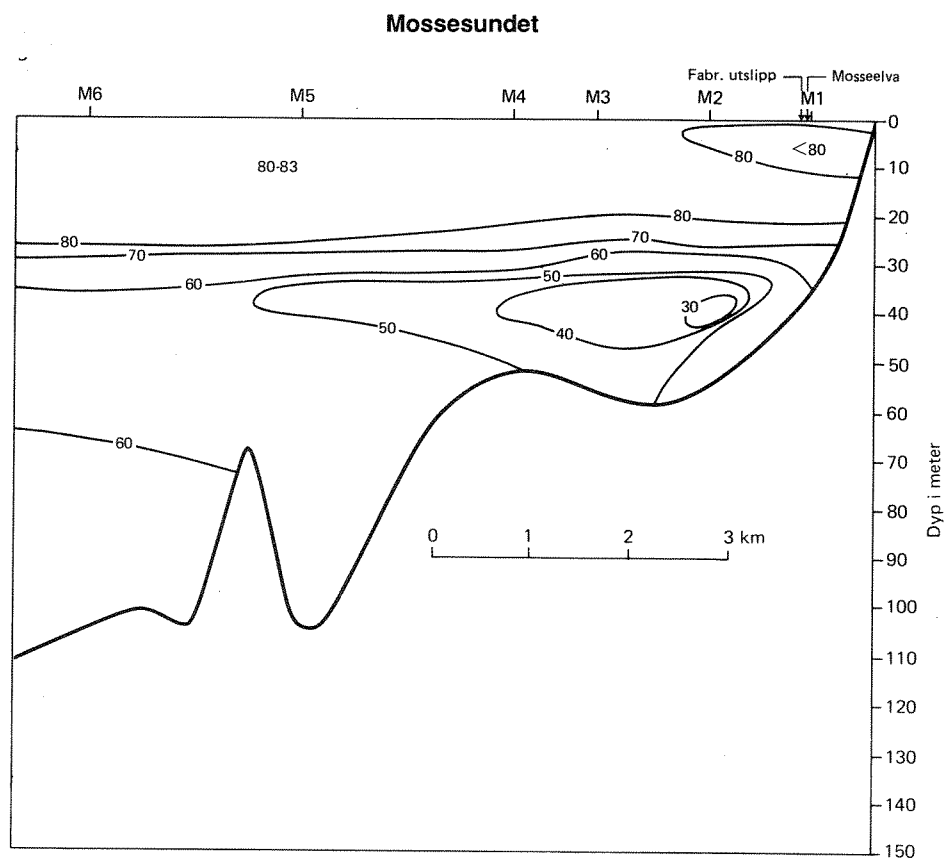
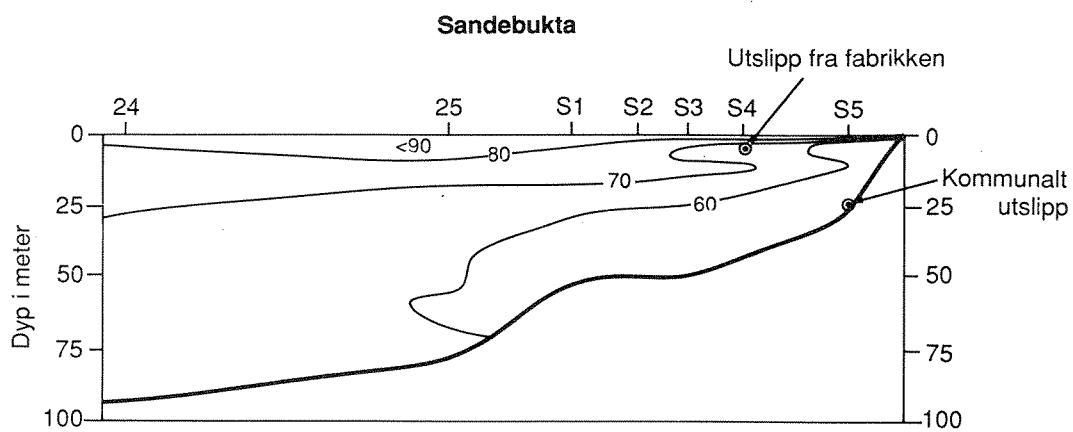
Både i Sandebukta og Mossesundet er det påvist betydelig oksygenvinn i dypvannet. Dette antas hovedsakelig å være forårsaket av utslipp av organisk stoff fra de lokale treforedlingsbedriftene. I begge tilfellene skjer utslippene til de øverste vannmassene. Når det viser seg at oksygenvinnet er mest markert i 40 meters dyp og avtar både oppover og nedover, kan dette i tillegg til "sprangsjiktseffekten", også henge sammen med at de mest belastede bunnområdene er omkring dette dypet (figur 28).

Det er større utslipp av organisk stoff fra fabrikkene på Tofte enn i Sandebukta og Mossesundet. Utslipet fra Tofte innlagres antagelig mest omkring 20 meters dyp i et område hvor det er gunstige vannstrømmer. Selv om det foreløpig ikke er påvist oksygenvinn som med sikkerhet kan føres tilbake til denne bedriften, må det antas at dette utslippet belaster fjordvannet betydelig.

På fjordens østside er det påvist lave oksygenkonsentrasjoner i Hankø-sundet, Singlefjorden, rundt Hvaler og i Iddefjorden. Betydelig forurensningstransport med Glomma og utslipp fra tettsteder og industri fører til disse lokale påvirkningene, som også forplanter seg til hovedfjorden.

På fjordens vestsida er det likeledes stor belastning fra tettsteder og industri, men de topografiske og strømningsmessige forhold gjør det lite sannsynlig at de spiller en stor rolle for hovedfjorden. Unntatt utslipp fra Horten og Tønsberg (Valløy) belaster ikke disse utslippene direkte hovedfjorden. Restene av disse utslippene blir sannsynligvis transportert sydover og sydvestover (se kap 4).

I Hortens Indre havn ble det funnet sterkt hydrogensulfidholdig vann under 10 meters dyp. I det lille dyphullet som er der i et ellers grunt område, må vannutvekslingen være særlig dårlig. En forklaring kan være at brakkvannsdannelsen fra Drammenselva lager et lokk over denne delen av fjorden og dermed hindrer vannfornyelse.



Figur 28. Oksygenforholdene (%-metning) i Sandebukta og Mossesundet, oktober 1988 (EY0 3.14 og 3.15).

## 6.2 Næringssalter og plankton

For å kunne bedømme en eutrofisituasjon rett, og for å kunne anbefale tiltak kvalitativt og kvantitativt og dessuten bedømme effekten av tiltakene, er kjennskapen til næringssaltene fordeling, transporter og prosesser viktige. Kjennskap til den relative transporten av næringssalter fra ulike kilder til fotosyntesesonen vil være avgjørende for å vurdere hvilke kilder som spiller størst rolle for en økning i planteplanktonproduksjonen (eutrofieringen). De ulike transportene er utslipp via elver, direkteutslipp til overflatelag eller dypvann, tilførsel fra nedbør, tilførsel fra andre havområder samt tilførsel fra næringssrikt dypvann.

For å kunne forstå den kvantitative effekten av næringssalttilførslene på et havområde er det også nødvendig med kjennskap til ulike prosesser som påvirker næringssaltene tilgjengelighet for planteplanktonet i fotosyntesesonen. Til disse prosessene hører forskjeller i hastighet av remineralisering av fosfor og nitrogenforbindelser i overflatelaget, nedbrytningsprosesser, forholdet mellom lagring og utløsning fra sedimenter samt spesielt for nitrogenforbindelser, størrelsen på denitrifikasjon og eventuell nitrogenfiksering.

Hensikten med å fremskaffe denne kunnskapen er å kunne vurdere hvor effektivt et tiltak mot et eller flere næringssalter vil være med tanke på å skulle begrense planteplanktonproduksjonen i et område. I denne sammenheng er det viktig å påpeke at det er ikke øyeblikksproduksjonen som er av betydning, men størrelsen av biomassen som skal begrenses. Det er også ønskelig å kunne måle direkte hvilket næringssalt som har størst betydning for planteplanktonproduksjonen, slik at tiltak kan rettes mot dette.

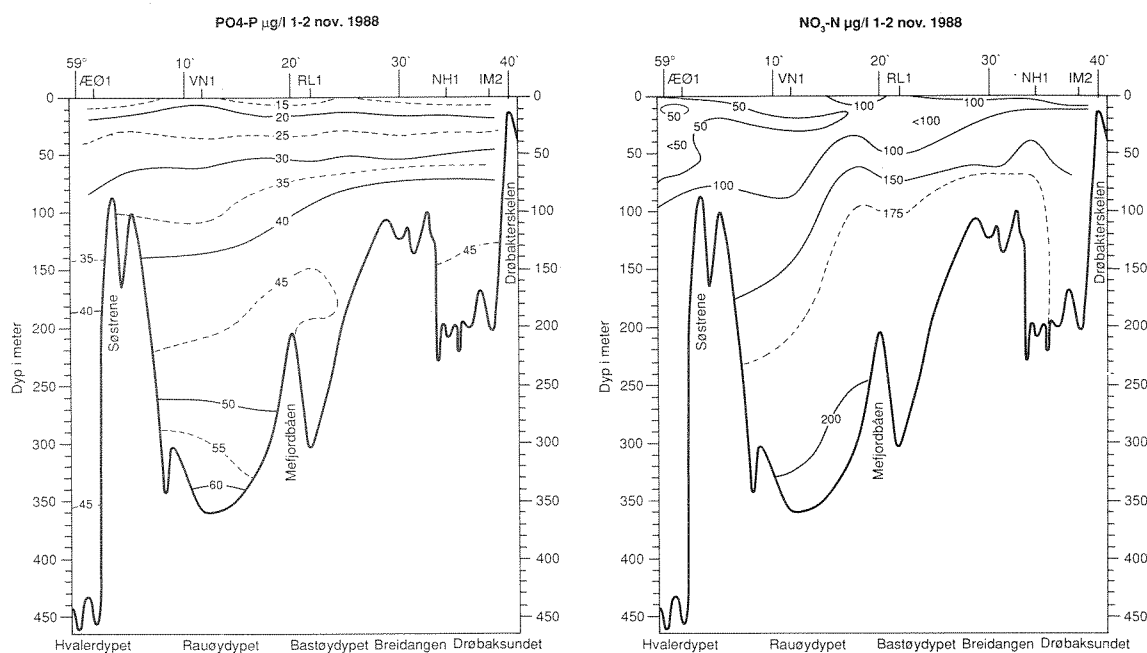
Imidlertid vil tiltak mot utslipp av næringssalter også kunne ha et kvalitativt aspekt. Dette gjelder spesielt begrensning av oppblomstringer av giftige algearter. Dessverre er kjennskapen til næringssaltskravet til "nyttige" og "skadelige" planktonarter meget dårlig. Med dagens kjennskap til dette problemfeltet blir en begrensning av planktonbiomassen sommerstid, hvor det ofte er dinoflagellater som dominerer, det som kan etterstrebtes. Imidlertid er kanskje størrelsen av våroppblomstringen like viktig for virkningen på oksygen- og bunnforhold.

For å kunne forstå de her nevnte transporter og prosesser er det nød-



algens vekst hemmes. I eutrofisammenheng er det som regel den systemiske næringsbegrensning som bør vurderes.

Forholdet mellom oppløste N-næringsstoffforbindelser som nitrat, nitrit, ammonium, urea, aminosyrer, m.fl. og P-næringsstoffforbindelser som ortofosfat, ATP, ADP, AMP, nukleinsyrer, m.fl.) står sentralt når man skal vurdere om et system er N- eller P-begrenset. Generelt vil planteplankton i havet i god vekst ha et N/P-(atom)forhold nær 16:1 (Redfieldforholdet). I norske farvann er partikulært N/P-forhold funnet å variere mellom 8:1 og 27:1 (Sakshaug og Olsen, 1986). For Oslofjorden fant Paasche og Erga (1988) at partikulært N/P-forhold varierte mellom 6 og 24 i de øvre vannlag (2-4 m) gjennom året under skiftende næringsbetingelser.



Figur 29. Ortofosfat og nitrat i Ytre Oslofjord i perioden 1.11-2.11.1988 (EY0 3.6 b).

Det er store artsforskjeller når det gjelder N/P-optima. Dersom en oppblomstring starter med en næringstilførsel av N og P som svarer til

Redfield forholdet  $N/P=16$  på atombasis, vil derfor alger med et lavt  $N/P$ -optima etterhvert føle miljøet som fosforbegrenset, mens arter med et høyt  $N/P$ -optima vil føle miljøet som nitrogenbegrenset mot slutten av vekstfasen (Sakshaug og Olsen, 1986). Planteplanktonet består alltid av en blanding av arter, gjerne med ulike krav til N- og P-tilførsler. I en og samme vannprøve kan en derfor finne arter som er enten fysiologisk N- eller P-begrenset. Mer vanlig kan en tenke seg at et fjordområde er systemisk næringsbegrenset uten at planktonalgene fremviser noen tegn på fysiologisk næringsbegrensning.

Ut fra kjennskapen til forhold i norske farvann kan en anta at  $N/P$  forhold større enn 20 (atom/atom) kan tyde på P-begrensning. I tillegg kan  $C/P$  forhold større enn 200 (atom/atom) eller høye  $C/N$  forhold større enn 10 (atom/atom) uttrykke en mulighet for henholdsvis P- eller N-begrensning (Paasche et al., 1989).

Næringsbudsjetter og tester som bygger på algefysiologiske kriterier er nødvendig for å få frem hvilket stoff som begrenser planteplanktonveksten i en fjord (Paasche et al., 1989). Flere tester samtidig er ofte nødvendig når hver enkelt av dem er beheftet med usikkerheter. Videre trengs analyser av vann i tillegg til at undersøkelsene må gjennomføres hyppig i tid og rom i vekstsesongen for å tilfredstille representativitetskravet.

Datamaterialet som ligger til grunn for å avgjøre hva som er begrensende næringsstoff (systemisk) i Oslofjorden sommeren 1988 er ikke godt nok til å trekke noen generelle konklusjoner. På enkelte stasjoner ble det imidlertid utført svært grundige og omfattende undersøkelser/forsøk.

Algefysiologiske tester viste at planktonveksten i Ytre Oslofjord i begynnelsen av juli 1988 var samtidig, men bare svakt begrenset av N og P, mens det i begynnelsen av august var klar P-begrensning.

Undersøkelsene utført i Ytre Oslofjord sommeren-høsten 1988 omfattet foruten næringsstoffmålinger analyser av partikulært -C, -N og -P (EY0 3.3.b). Ved flere anledninger ble det funnet svært høye part.-C/-P forhold (200- 300) og part.-N/P forhold (20-30). P-mangel i perioden 11.-16. august og 28.-29. september sammenfaller med relativt høye  $PO_4$ - konsentrasjoner ( $>15 \mu g/l$ ). Denne tilsynelatende motsetningen kan skyldes underestimering av partikulært -P som følge av den brukte analysemetoden.

Ut fra gjennomsnittskonsentrasjoner av næringsstoffene i overflatelaget (0-10 m) konkluderes det i undersøkelsene i juni og august 1988 med at

det ikke forelå noen N-begrensning i Ytre Oslofjord, dvs konsentrasjonen av nitrogen var mindre enn 15 µg/l. I begynnelsen av august kunne det ikke antydes noen direkte N- eller P-begrensning ut fra de løste næringssaltkonsentrasjonene. Det ble konstatert lokale forskjeller.

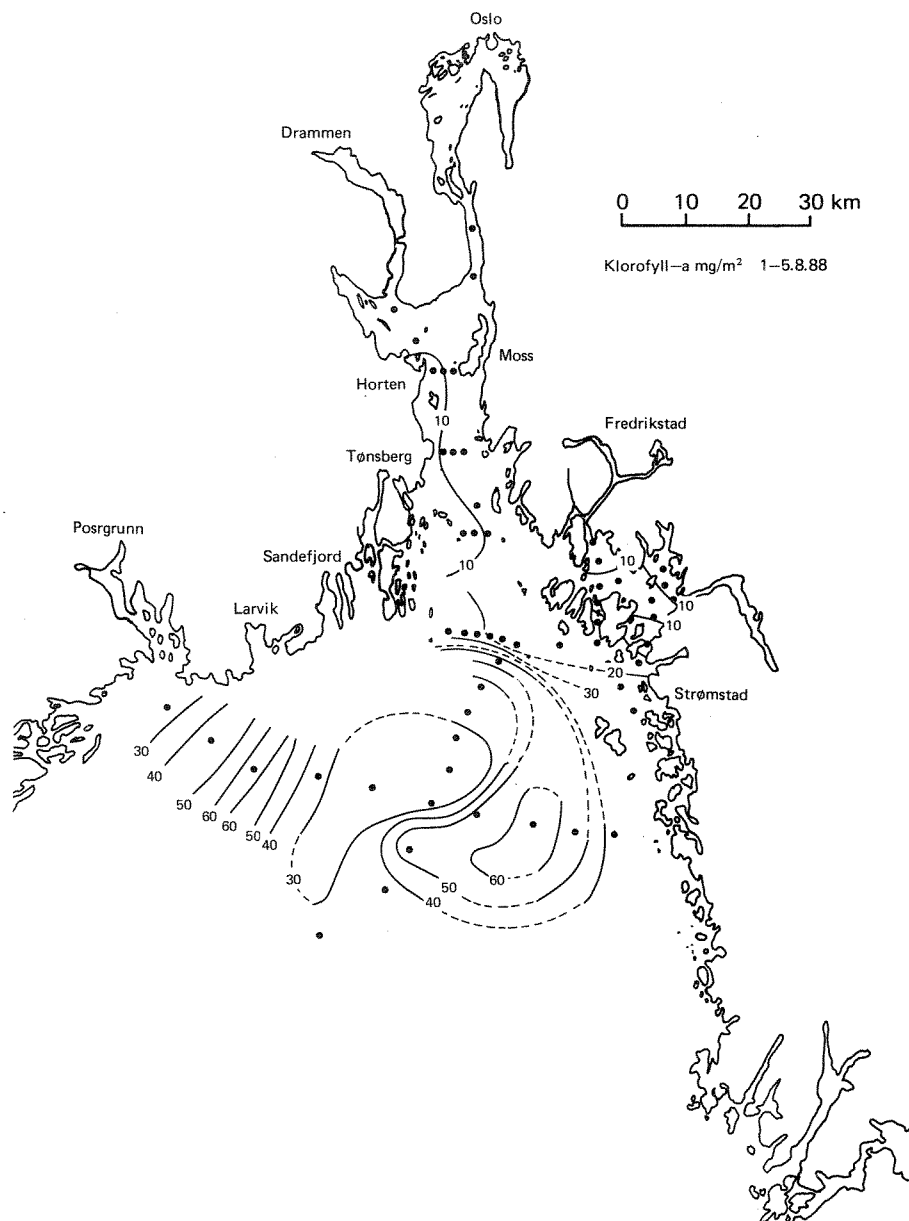
Sammenfatningsvis kan det således ut fra foreliggende observasjoner ikke avgjøres hvilke næringssalter som i de fleste tilfellen regulerer planktonveksten. Det er derfor ikke mulig å anbefale fjerning av ett næringssalt.

De hydrokjemiske observasjonene viser stor følsomhet for vannutskiftningen. Effekten av eutrofieringen henger nær sammen med denne vannutskiftningen. Figur 30 viser integrert mengde planktonbiomasse målt som klorofyll a i 0-50 meters dyp. Figuren viser at biomassen er betydelig større i Skagerrak enn i Ytre Oslofjord. Effekten er imidlertid forskjellig som følge av strømforholdene i området. Imidlertid ble det observert store mengder plankton og partikulært organisk karbon øst for Langesundsbukta og vest for Hvaler og Kosterøyene. Spesielt var konsentrasjonen stor i fronten mellom brakkvann og sjøvann i Ytre Oslofjords munning. Dette skyldes trolig strømsystemet som gjør at produksjonsforholdene er spesielt gunstige i fronter mellom sjøvann og brakkvann. Et unntak fra dette mønster er den enorme biomassen på ca. 50 µg klorofyll a pr liter som ble målt ved Rauøy i slutten av august 1988 (EYO 3.8).

### 6.3 Bunndyr

Hovedundersøkelsen i Ytre Oslofjord ble underveis komplettert med lokale undersøkelser i Sandebukta og Mossesundet. I tidligere undersøkelser er bunnfaunaens forringelse registrert i Hvaler/Singlefjorden og Tønsbergområdet. Mens forholdene i hovedfjorden mest skyldes en langsiktig eutrofiutvikling, er forholdene i Mossesundet og Sandebukta dominert av utslipp fra treforedelingsindustri. Disse undertrykker eventuelle lokale eutrofi-effekter.





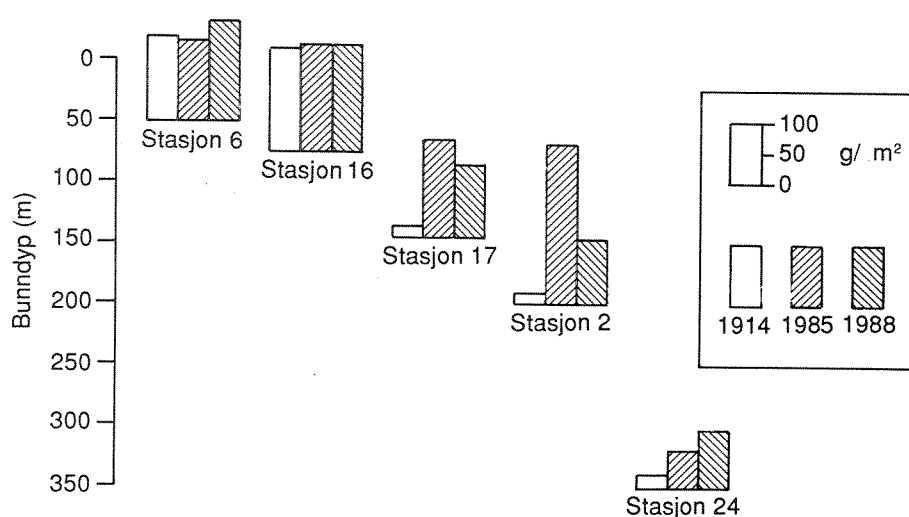
Figur 30. Integrert klorofyll a (0-50 meters dyp) i Ytre Oslofjord og Skagerrak i perioden 1-5.8.1988 (EY0 3.6 a).

### 6.3.1 Hovedfjorden

Bløtbunnsfaunaanalysene i 1988 har bekreftet undersøkelsene i 1985 (Rosenberg et.al., 1987) hvor det ble konstatert at biomassen har økt ca. fire ganger siden Petersens' undersøkelser i 1913 og 1915 (enkelte resultater er vist i figur 31). Undersøkelsene i 1988 var imidlertid lang mer nøyaktige enn tidligere undersøkelser, slik at konklusjonene er meget sikrere enn tidligere. Det har imidlertid ikke vært mulig å

konstatere signifikante forskjeller mellom 1985 og 1988, ettersom undersøkelsen fra 1985 brukte omtrent samme metoder som Petersen. Denne analysen er begrenset til arter som dominerer i størrelse. Foreliggende undersøkelsesmateriale er imidlertid tilstrekkelig omfattende til å ha betydelig bedre utsagnskraft for å kunne påvise eventuelle fremtidige forandringer i bløtbunnfaunaens tilstand.

Den konstaterte økningen i graden av eutrofi i Ytre Oslofjord viste ingen geografisk gradient. Den statistiske analysen av resultatene viste at dypet har stor innflytelse på artssammensetningen og bio-massen. Det var derfor ikke mulig å påvise geografiske gradienter i fjorden som kunne tilskrives ulik grad av eutrofipåvirkning. Undersøkelser av oksygen, næringsalter i vann og sedimenter viser derimot horisontale gradienter i fjorden. Ut fra disse undersøkelsene, med unntak av oksygenforbruket i Hvalerdypet, skulle eutrofieringen gått lengre i Drøbaksundet/Breiangen enn i ytre del av Oslofjorden. Fremdeles er det således uklart i hvilken grad munningsområdet i Ytre Oslofjord er påvirket.



Figur 31. Bløtbunnsfaunabiomas (g/m<sup>2</sup>) i Ytre Oslofjord 1914, 1985 og 1988 (EYO 3.11).

En viktig oppgave er å sammenligne utviklingen i Ytre Oslofjord med forholdene i Skagerrak. Dette bør kunne utføres som gradientstudier samtidig med at bunnfaunaen i Ytre Oslofjord overvåkes.

### 6.3.2 Sandebukta og Mossesundet

På stasjonene nærmest utslippet fra Sande Paper Mill, var bunnen sterkt forurenset av organisk materiale og luktet av hydrogensulfid. Dyrelivet var praktisk talt utslettet. Bare ekstremt forurensningstolerante børstemark og rundmark fantes.

Som helhet var bløtbunnfaunaen i Sandebukta, utenom de mest forurensete lokalitetene, forholdsvis individrik, men var noe artsfattig.

I figur 32 er influensområde for henholdsvis sterk og betydelig forurensningspåvirkning i Sandebukta tegnet inn.

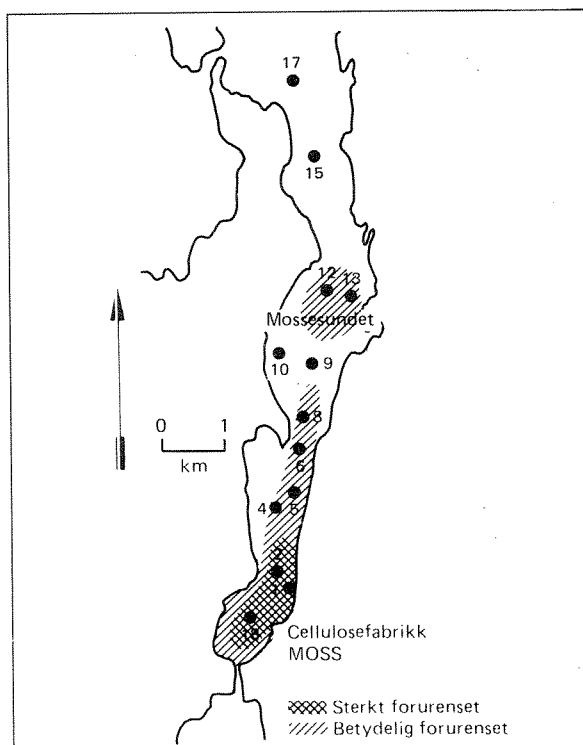
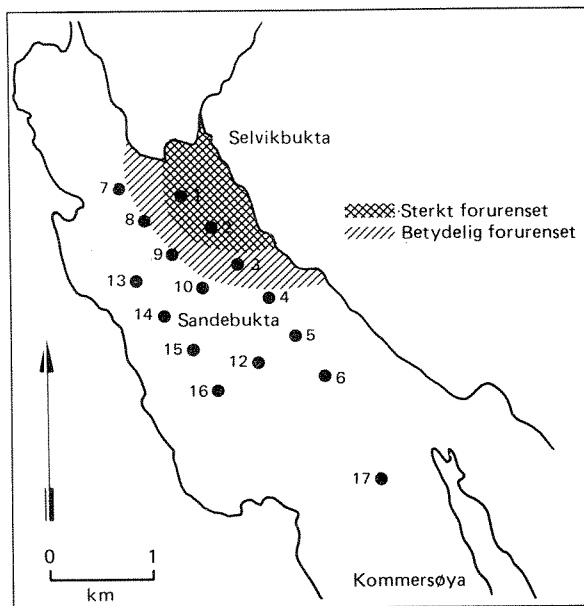
Innholdet av organisk stoff i sedimentene i Sandebukta, utenom de mest forurensete lokalitetene, var innenfor de konsentrasjonene det er normalt å finne i fjordsedimenter.

På stasjonene i Mossesundet nærmest utslippet fra Peterson & Søn A/S, var bunnen sterkt forurenset av organisk materiale og luktet av hydrogensulfid. Det øverste sedimentlaget var oksygenert og inneholdt levende børstemark.

Som helhet var bløtbunnfaunaen i Mossesundet, utenom de mest forurensete lokalitetene, forholdsvis individrik, men ga inntrykk av å være noe artsfattig og dominert av forurensningstolerante børstemark.

Innholdet av organisk stoff i sedimentene i Mossesundet var stort sett høyere enn det som er normalt å finne i fjordsedimenter. Spesielt høyt var det i søndre del av Mossesundet.

I figur 32 er influensområde for henholdsvis sterk og betydelig forurensningspåvirkning i Mossesundet tegnet inn på kart.



Figur 32. Utberedelse av sterkt og betydelig forurenset bunn i Sandebukta (øverst) og Mossesundet (nederst) (EYO 3.14-15).

## 6.4 Sedimenter

Ytre Oslofjords kompliserte topografiske og hydrografiske forhold tilsier at sedimenteringen kan variere sterkt fra et sted til et annet. Det er på dypt vann, 50 til 100 meter, målt vannstrømmer med hastigheter opp til 1 m/s. Sedimentering og resuspensjon er derfor prosesser som følger hverandre mange steder. Sedimentanalysene i dette prosjektet har ikke inkludert kornfordeling og aldersbestemmelse, slik at selve sedimenteringsprosessen ikke har vært i sentrum.

I sedimentene er organisk stoff og tungmetaller blitt analysert. Bortsett fra noen lokale steder hvor vi må vente avvikende resultater, ligger resultatene innenfor grenser for svakt påvirket eller ikke forurensningspåvirkede områder. Nær utslippene fra treforedlingsbedriftene var innholdet av organisk stoff noe høyere. Like ved gamle utslipp kunne treflis gjenkjennes i sedimentkjernene.

På ti steder i hovedfjorden ble sedimentkjernene delt opp i flere segmenter og analysert hver for seg. Disse analysene viser at alle sedimentoverflatene er oksiske, men redox-potensialet nedover i bunnen endrer seg noe. I noen prøver fra grunne områder kunne sedimentet sies å ha suboksidisk karakter. I fem prøver fra de dypeste områdene fra Breidangen og sydover ble porevannet analysert. I alle disse prøvene ble det funnet nitrat i porevannet i alle segmenter ned til 50 cm.

Analysene viste at det øverste sedimentet uten unntak var anrikt på organisk karbon, nitrogen og fosfor. Det anrikede laget varierte i tykkelse fra 10 til 50 cm. Sedimentets innhold av karbon var avhengig av dybden, men viste ingen klare gradienter innover i fjorden.

Sedimentets innhold av fosfor relativt til nitrogen og karbon var noe høyere i midtre og nordlige del i forhold til den ytre delen. Det kan henge sammen med en økende belastning innover i fjorden. Bare målinger over tid kan gi nærmere holdepunkter for slike vurderinger og bør derfor inkluderes i et fremtidig overvåkingsprogram.

Fordi sedimenteringen varierer sterkt fra sted til sted, vil alderen på sedimenter være like mye bestemt av sedimenteringshastigheten på vedkommende sted som av dybden under bunnens overflate. Noen representative prøver vil bli aldersbestemt i 1989-prosjektet.

## 7 OM FJORDBELASTNING OG UTSLIPPSBEGRENSNINGER

### 7.1 Innledning

Målet med denne undersøkelse er å påvise hvorledes forskjellige utslippsreduksjoner kan forbedre forholdene, hvis undersøkelsen forøvrig har påvist en negativ eutrofiutvikling som synes å kreve motiltak.

Alle resultater til nå tyder på at det er påkrevet med tiltak, og at Ytre Oslofjords belastning av næringsstoffer og organisk stoff må reduseres.

For å se hvilke utslippsreduksjoner det kan være aktuelt å foreta, er det derfor nødvendig å skaffe et bilde av den relative betydningen av samtlige tilførsler.

I dette kapittel vil metoder og elementer i vurderingene bli trukket frem og diskutert. Det vil til slutt bli gjort en tallmessig sammenstilling.

*Hele tallmaterialet og de foreløpige konklusjoner vil bli gjenstand for ny gjennomgang og justering ved den endelige rapportering fra prosjektet våren 1990.*

Det er nødvendig å foreta en rekke forenklinger og å konsentrere oppmerksomheten mot det som er vesentligst i sammenhengen.

Ved tiltak mot marin eutrofiering er hovedoppmerksomheten rettet mot vekst av alger og oksygenbalansen i vannet og ved bunnen. Det er først og fremst veksten av frittsvevende planteplankton i overflatelaget som har betydning.

Også direkte utslipp av organisk stoff påvirker vannets kvalitet og regnes som regel med som en del av det samlede eutrofiproblemet i marine områder.

Vann i likevekt med luft har 100 % oksygenmetning. Oksygeninnholdet i vann i kontakt med luft er hovedsakelig bestemt av vannets temperatur og saltholdighet.

Alger produserer oksygen under fotosyntetisk karbonassimilasjon. Ved oppstått overmetning vil oksygen bli avgitt til luften. Hvis det nedbrytes organisk stoff som alger, dyr eller tilførte forurensninger, vil vannets oksygeninnhold bli redusert. Det oppstår undermetning. Skjer dette i overflatelaget, kan nytt oksygen bli tatt opp fra luften. Skjer det dypere ned i sjøen hvor vannet på grunn av lagdelingen ikke kommer i kontakt med luften, vil oksygeninnholdet bli redusert.

I dypvannet vil oksygeninnholdet i regelen alltid være under metningsverdien. Dypvannets oksygeninnhold blir fornyet gjennom de små og store vannutskiftningene som skjer i havet. Vannmasser fra Nordsjøen med høyt oksygeninnhold vil med mellomrom bli transportert inn i Oslofjorden. Det kan blandet seg med eller erstatte dypvannet.

Vannets innhold av næringsalter, organisk stoff av forskjellig slag og reduserte forbindelser som ammonium kan alle omregnes til potensielt oksygenforbruk. Slik kan et oksygenbudsjett bli et nyttig redskap.

Ytre Oslofjord, som andre havområder, vil fra naturens side ha en viss biologisk omsetning. Den kan av naturlige grunner variere ganske meget fra det ene året til det andre. Ved tilførsler av forurensninger som næringsstoffer og organisk stoff, vil den biologiske omsetning øke og endre karakter. Det gjør seg først gjeldende i overflatelaget og forplanter seg mot bunnen. Det foregår en stadig sedimentering av store og små organiske partikler. Noe brytes ned underveis og noe når til bunns. Oksygeninnholdet i vannet, organismelivet på bunnen og sedimentenes sammensetning gir alle informasjon om trofisisituasjonen.

## 7.2 En praktisk problemstilling

I de vurderinger som følger, er det søkt å skille mellom forskjellige forurensningskilder. Det er særlig viktig å se om det er muligheter for å gjennomføre utslippsreduksjoner som kan bety en bedre utvikling i fjorden.

Vurderingene baseres på et kvantitativt overslag i form av et oksygenbudsjett, hvor vi har konkretisert:

Det geografiske området  
Gruppering av forurensningskildene

### 7.3 Det geografiske området

For konkrete vurderinger av tilførsler og oppsetting av stoffbudsjetter må det geografiske området defineres nøyaktig. (Se figur 33.)

Mot nord er avgrensingen mot Drammensfjorden valgt ved Svelvik, og mot Indre Oslofjord ved Drøbakterskelen.

Mot syd kan vi ikke bruke den 59de breddegrad fordi den ligger utenfor det området hvor Oslofjorden har fjordkarakter. Vi har valgt en linje som går fra sydenden av Hankø til Missingen, Fulehuk, Bolærne og Valløy. Her er fjorden relativt trang. Litt lenger syd ved Søstrene er det et grunt område hvor terskeldypet antas å ligge mellom 70 og 85 meter. Der antas overflatestrømmene å være mer uoversiktlige. Syd for Hvalerdypet, et stykke ut i Skagerrak, er det et nytt grunnområde med terskeldyp på omlag 125 meter. Deretter begynner Skagerraks hoveddyp.

Oslofjorden har en komplisert topografi, med mange øyer, grunnområder og dypområder. Vannstrømmene er overveiende horisontale og vil foregå ettersom topografien og dybdeforholdene tilsier. I oseanografiske betraktninger er det nødvendig med større eller mindre forenklinger. Nedenfor er gitt en liste over de viktigste tersklene og hoveddyp i hele hovedfjorden regnet fra Bunnefjorden og ut til Skagerrak:



Bunnefjorden	160	meter		
Nesoddenterskelen	54	"		
Vestfjorden	160	"		
Drøbacterskelen	20	"		
Drøbaksund	211	"	Drammensfjorden	116 meter
Tofte-Bevøyterskelen	100	"	Svelvikterskelen	8 "
Mølendypet	203	"		
Mølen-vestflaket	105	"		
Bastøydypet	300	"		
Mefjordbåterskelen	205	"		
Rauøydypet	360	"		
Søstreneterskelen	85	"		
Hvalerdypet	465	"		
Terskel mot Skagerrak	125	"		
Skagerrak	631	"		

Innen det avgrensede området, fra Drøbacterskelen, Svelvikterskelen til Fulehuk-Missingen, kan fjorden igjen deles opp i underområder. Inndelingen tar utgangspunkt i bassengdypene eller fjordoverflatens form. I første omgang vil vi imidlertid nøye oss med å se på hele området under ett. Det kan bli vanskelig å fremskaffe data som gjør det mulig med stoffbudsjetter for underområder.

#### 7.4 Gruppering av forurensningskildene

De mange tilførselskilder er satt sammen i syv grupper. Bokstavene refererer til EY0 3.1. (Se figur 1 og figur 33.)

1. Område A                      Drammensfjorden
2. Område B                      Indre Oslofjord
3. Områdene C,D,E,F            Landområdene i Øst- og Vestfold innenfor avgrensningen
4. Område G                      Vestfold syd for Tønsberg
5. Område I                      Søndre Østfold med Glomma og Iddefjorden
6.                                  Nedbør og avsetning på vannflaten
7.                                  Havstrømmer fra Skagerrak

Forurensningene føres ut i fjorden på forskjellige måter. Alle vassdragene og de fleste direkteutslippene går til overflatelaget. Noen kommunale utslipp og industriutslipp slippes ut på dypere vann slik at de innlagres på et visst dyp. I disse tilfellene vil innlagringsdypet variere med vannføring og fjordens lagdeling.

## 7.5 Vurdering av datagrunnlaget

I denne fremdriftsrapporten vil det bli gitt en foreløpig vurdering av datagrunnlaget og usikkerheter ved anslag for hver av de 7 bidragsgrupper. Fosfor, nitrogen og organisk stoff blir vurdert. Hovedkilde er dette prosjektets rapport om tilførsler (EY0 3.1).

I tilførselsrapporten (EY0 3.1) er tilførslene av organisk stoff ikke summert, idet de er oppgitt i forskjellige enheter. For å komme frem til et belastningstall, har vi omregnet til Biologisk oksygenforbruk, BOF, som vi har kalt BOF<sub>100</sub>, dvs. en vidtgående biologisk nedbrytning (100 dager). Omregningsfaktorer vil variere etter hva slags organisk stoff det dreier seg om, og f.eks. være ganske forskjellig for organisk stoff i elver, i kloakkvann og i industriavløp. Det organiske stoffet i Glomma ved Sarpsfossen er det største enkeltbidraget og er oppgitt i TOC-enheter. Det er usikkert hvor meget av det som ventes nedbrutt i Oslofjorden. Forøvrig er alle store bidrag fra industrien, og oppgitt som KOF. Følgende midt-på-treet faktorer er brukt:

$$\begin{aligned} 1 \text{ BOF}_{100} &= 0,5 \times \text{KOF} \\ 1 \text{ BOF}_{100} &= 1,5 \times \text{BOF}_7 \\ 1 \text{ BOF}_{100} &= 2,0 \times \text{TOC} \end{aligned}$$

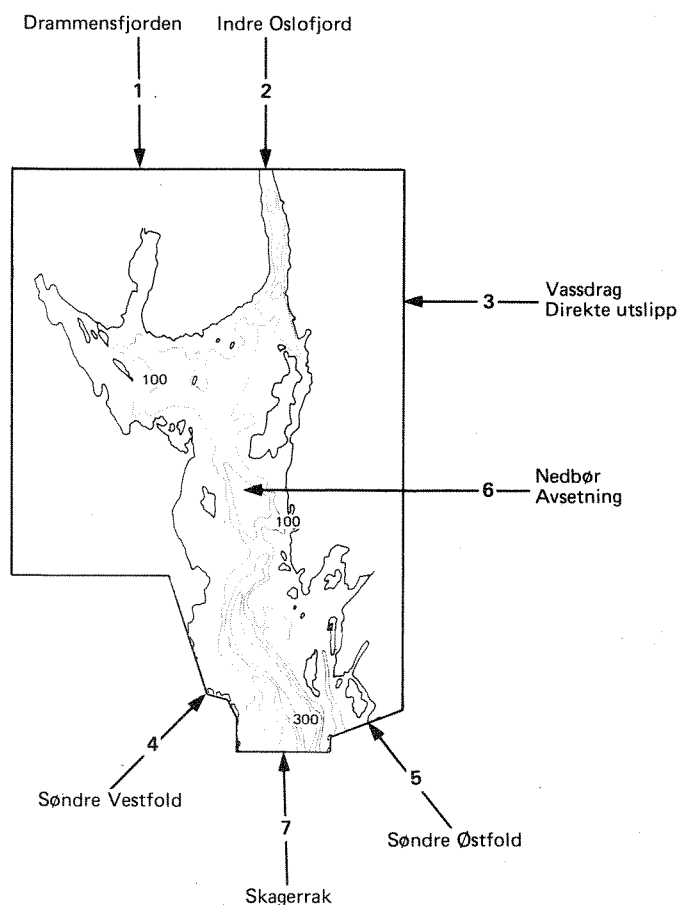
Gruppe 1. Fosfor og nitrogen lar seg anslå med rimelig nøyaktighet ut fra basisundersøkelsen i 1982-84 (Magnusson og Næs 1986).

Tilførselen av organisk stoff er utilstrekkelig kjent. Det er imidlertid i dag beskjedne mengder med industriutslipp til Drammenselva og -fjorden. Det er rimelig å anta at det organiske stoffet som tilføres i alt vesentlig blir nedbrutt før det kommer ut i Breidangen. Unntatt er humusstoffer som omsettes meget langsomt og derfor bare i liten grad påvirker de biologiske forholdene.

Gruppe 2. Det er ikke tidligere utført beregninger av den forureningsmengde som strømmer ut i Drøbaksundet fra Indre Oslofjord. Det er grunn til å tro at det er små mengder i forhold til det som tilføres Indre Oslofjord.

For fosfor finnes det imidlertid mye data fra overvåkningsprogrammet som gir et visst grunnlag for skjønn. Ved dypvannsutvekslingen hvert år, i middel ca. 4000 mill. m<sup>3</sup>, erstattes gammelt vann med 40 mg P/m<sup>3</sup>

med nytt vann med  $25 \text{ mg P/m}^3$ . Det gir uttransport på  $60 \text{ t P/år}$ . Mesteparten av dette vil forlate fjorden om vinteren før våroppblomstringen og bare i en viss utstrekning føre til algevekst. Forøvrig antas det bare å være beskjedne netto fosfortransport gjennom Drøbaksundet. Det er foreløpig antatt at mellom 10 og 25 % av tilført fosfor tilføres Ytre Oslofjord.



Figur 33. Gruppering av forurensningstilførsler.

For nitrogen og organisk stoff er datagrunnlaget meget spinkelt. Vi må anta at det foregår en betydelig denitrifisering i indre fjord og vil anta at nitrogentransporten vesentlig skjer som alger. Fosfor og nitrogen kan derfor antas å bli tilført i vektforholdet 1:7.

Transport av organisk stoff, utover det som skjer som alger, kan antas å være null.

Gruppe 3. For disse tilførslene har vi relativt presise data. Vi vet også om utslippsdyp for de viktigste bidragene, men har ikke tatt det med i disse foreløpige vurderingene.

Gruppe 4. Utslippene fra den sydvestre delen av Oslofjorden vil i hovedsak bli fanget opp av den sydvestgående norske kyststrømmen. Under spesielle situasjoner, oftest bestemt av meteorologiske forhold, kan imidlertid overflatevann fra dette området bli ført inn i fjorden. Vi har foreløpig ikke nok data til å si hvor ofte det kan skje. Det er foreløpig antatt at mellom 2 og 10 % av disse tilførslene kommer inn i Oslofjorden.

Datagrunnlaget for de lokale utslipp er tilfredsstillende, bortsett fra at utslippene av organisk stoff må omregnes til en felles enhet.

Gruppe 5. Til dette området drenerer Glomma og Iddefjorden, begge sterkt belastet med forurensninger. Prosjektets observasjoner tyder på at tilførslene stort sett blir ført rett vest over fjorden og ført inn i kyststrømmen. Men det er påvist situasjoner hvor det føres nordover inn i Oslofjorden eller sydover langs svenskekysten. Selv om forurensningene bare en mindre del av tiden kommer inn i fjorden, er mengden så stor at det får betydning. Det er gjettet på at mellom 5 og 20 % av disse tilførslene kommer inn i Oslofjorden.

Datagrunnlaget for de lokale utslipp er tilfredsstillende utgangspunkt, men må justeres. Noe av fosforet er bundet til partikler som sedimenterer og derfor ikke vil belaste fjordvannet. Noe av nitrogenfraksjonen finnes i elvevannets humusstoffer som stort sett antas å gå uomsatt gjennom systemet.

Organisk stoff må omregnes til felles enhet. Humus-innholdet i elvevannet utgjør en betydelig del og bør trekkes fra fordi det nedbrytes meget langsomt. Det er antatt at nedbrytbart organisk stoff er  $100\ 000\ \text{t BOD}_{100}/\text{år}$ .

Gruppe 6. For tilførsler direkte fra luften som våt- og tørravsetninger finnes det godt med data for landområdene. Enhetstall fra stasjoner nær fjorden er brukt. Da både nedbørmengde, -kvalitet og tørrværsavsetning er forskjellige på sjøflaten i forhold til på land, kan en justering bli påkrevet. Foreløpig er det ikke noe konkret grunnlag å bygge en justering på.

Gruppe 7. Oslofjorden er en del av Skagerrak og Nordsjøen. Alt vannet i Oslofjorden blir transportert ut igjen etter en oppholdstid som varierer fra timer til år. Det skjer en stadig nydannelse av brakkvann i overflaten. Ferskvannet fra vassdragene på vei ut blander seg med underliggende innstrømmende sjøvann. Derved bringes sjøvann med sitt innhold av næringssalter til overflatelaget og bidrar til algevekst.

Noe av nærings saltene kan allerede foreligge som organismer. Det spiller ingen rolle for beregningene.

Drammenselva og Glomma er de to vassdragene som dominerer brakkvannsdannelsen i Ytre Oslofjord. Særlig stor betydning har Drammenselva som kommer ut innerst i det aktuelle fjordavsnittet. Den vil til enhver tid bidra til at underliggende sjøvann bringes til overflaten.

Numedalslågen munner ut så langt mot sørvest at den bare i ubetydelig grad antas å påvirke brakkvannssituasjonen i Oslofjorden.

I tillegg til ferskvannsvirkningen kan Skagerrakvann også strømme inn som følge av virvler og strømmer som igjen er forårsaket av meteorologiske forhold, vannstandsendringer og strømsituasjonen i Skagerrak.

Det er foreløpig skjønsmessig satt en øvre og nedre verdi for disse tilførselene.

Det ville være interessant å vite hvor meget disse tilførselene har økt i senere år som følge av økt forurensning i Skagerrak/Nordsjøen. Det må foretas en ekstra gransking av gamle analyser for å se om det kan finnes noe konkret å bygge på. Foreløpig stilles spørsmålet åpent.

De foreløpige anslag er stilt sammen i Tabell 3. I prosjektets sluttrapport våren 1990 vil alle tall og opplysninger bli vurdert på nytt.

Summen av alle  $BOF_{100}$ -tallene antyder det samlede oksygenforbruket over et år. Det meste av oksygenforbruket vil foregå i det øvre vannlaget som er mer eller mindre i kontakt med luften. En del organisk stoff og organismer vil synke ned og under nedbrytning ta oksygen fra dypvann og bunnvann. Fordelingen mellom disse prosessene i Ytre Oslofjord kjenner vi ikke. I første omgang er det imidlertid interessant å se på det samlede antatte, potensielle oksygenforbruk og å se på den relative betydning av de enkelte kildene.

De foreløpige overslag tyder på følgende:

1. Vektforholdet mellom totalmengden av nitrogen og fosfor er 15:1 (maks.) og 18:1 (min.), mens N:P-forholdet i plankton i middel er 7,2:1. Beregningene tyder dermed på et overskudd av nitrogen i tilførslene i forhold til planteplanktonets gjennomsnittlige sammensetning.
2. Tilførsel av organisk stoff fra land står for 30 % til 40 % av det potensielle oksygenforbruket. Her utgjør utslipp fra industrien en betydelig del.
3. Tilførsler fra Skagerrak utgjør 35 til 40 % av det potensielle oksygenforbruket.

Tallene kan komme til å forskyve seg når et bedre begrunnet regnestykke kan settes opp.

Tabell 3. Foreløpig anslag over tilførsler til Oslofjorden.  
Alle tall i tonn pr. år.

Bidrag	Fosfor		Nitrogen		BOF <sub>100</sub>	
	EY0/3.1	Ansl.	EY0/3.1	Ansl.	EY0/3.1	Ansl.
1 Drammensfjorden	184,7	25	4584	4 500 3 300	29 341	0
2 Indre Oslofjord	277,5	70 30	4117	500 200	22 908	0
3 Dir. tilføring	105	100	1858	1 800	32 116	32 000
4 S. Vestfjorden	162	16 3	2913	300 60	11 523	1 000 200
5 S. Østfjord	857	170 40	14350	2 400 600	249 000	20 000 5 000
6 Fra luften	22,6	22,6	564	564	743	743
7 Skagerrak		500 250		3 600 1 800		0
SUM						
Maks.		904		14 164		53 743
Min.		471		8 624		37 943

Tabellkommentar:

Dette gir N:P forhold (vekt) = 15:1 (maks.), 18:1 (min). Det er altså et betydelig N-overskudd i tilførslene.

1 tonn fosfor som alger gir 142,6 tonn oksygenbehov ved fullstendig nedbrytning.

Det gir et samlet oksygenbehov = 183 000 t maks. og 105 000 t min., hvorav 71 % (maks.) eller 64 % (min.) er fra fosfor, resten 29 % (maks.) eller 36 % (min.) er fra tilført organisk stoff.

## 8 LITTERATUR

### 8.1 Rapporter innenfor prosjekt: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord (EYO)

Disse er betegnet EYO i teksten. F.eks. EYO 3.0.

- 3.0 Jan Magnusson. Oksygenforholdene i Ytre Oslofjord. Forprosjekt. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport nr. 332/88, (15.8.88), NIVA rapport 0-86208, 44 s.
- 3.1 Hans Olav Ibrenk og Gjertrud Holtan. Forurensningstilførsler. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapp. nr. 325/88, (12.8. 1988), NIVA rapport 0-8801102, 44 s.
- 3.2 Jan Magnusson og Brage Rygg. En sammenstilling av tidligere forurensningsundersøkelser. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport nr. 338/88, (30.10.1988), NIVA rapport 0-8801103, 59 s.
- 3.3a Helge Skåtun. Transportmodell av overflatelaget i ytre Oslofjord. Rapport 1: Modellen og dens åpne grenseflater, 40 s. (Manus)
- 3.3b Helge Skåtun og Lars Petter Røed. Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord. Rapport 2: Resultater fra simuleringene. En analyse og oppsummering, 165 s. (Manus)
- 3.4a Finn-Erik Dahl og Bruce Hackett, Data atlas; Strøm-, vær- og hydrografiske målinger i faste punkter, mai-november 1988. (Manus)
- 3.4b G. Høst, A. Lohrmann, B. Hackett. Data atlas: Strømmålinger med en akustisk doppler strømmåler (ADCP) ved Søstrene, juni-oktober 1988, 95 s. (Manus)



- 3.5a Bruce Hackett og Finn-Erik Dahl. Strømmålinger med en akustisk doppler strømmåler (ADCP) på F/F "Trygve Braarud", august 1988, 56 s. (Manus)
- 3.5b Bruce Hackett. Data atlas: Hydrografiske målinger fra F/F "Trygve Braarud", juni og august 1988. (Manus).
- 3.5c Finn-Erik Dahl. Strømmålinger i Oslofjorden - Et sammendrag. (Manus)
- 3.4c og 3.5d Jan Magnusson. Hydrografiske observasjoner: Drøbak-sundet februar-november 1988, Ytre Oslofjord juni 1988, Ytre Oslofjord/Skagerrak NO, august 1988. 61 s. (Manus)
- 3.6a Jan Magnusson, Jens Skei og Kai Sørensen. Hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord, juni og august 1988. 107 s. (Manus)
- 3.6b M.I. Abdullah og M. Danielsen. Hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord. 98 s. (Manus)
- 3.7a Kai Sørensen. Optiske observasjoner - overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget og fjernmåling. (Manus)
- 3.7b Eyvind Aas, Tormod Andresen, Terje Løyning og Eirik Sørgård. Optiske observasjoner - overflatelagets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget. 44 s. (Manus)
- 3.8 Eystein Paasche. Rapport til SFT om tokt i Ytre Oslofjord, juli og august 1988: 4 s. (Notat)
- 3.9 Kjell Baalsrud. Oksygenforholdene i Ytre Oslofjord oktober 1988. 64 s. (Manus)
- 3.10 M.I. Abdullah, M. Danielsen og K. Pedersen. Sedimentanalyser, 26 s. (Manus)
- 3.11 J.S. Gray og I.D. Saanum. Bløtbunnsfaunaobservasjoner. (Manus)
- 3.14 Kjell Baalsrud, Rasmus Gulbrandsen og Brage Rygg. Sandebukta. 28.2.1989. 40 s. (Manus)

- 3.15 Kjell Baalsrud, Tor Bokn, Rasmus Gulbrandsen og Brage Rygg. Mossesundet. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapp. nr. 353/89, (15.3.1989). NIVA-rapport 0-8801115, 40 s.

## 8.2 Øvrig litteraturhenvisning

- Anon.(1975): Termiske kraftverk i Oslofjordområdet. Resipientvurderinger. Samlerapport. Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Statens biologiske Stasjon Flødevigen, Norsk institutt for vannforskning, Vassdrag- og havnelaboratoriet.
- Bjerkeng, B., Knutzen, J. og J. Magnusson (1979): Vurdering av vannutslipp fra kraftverk med sjøvannsvasking av røykgasser. 2. Dyputslipp av vaskevann. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr 1159.
- Dahl, F-E., (1982): Hydrografi i Oslofjorden og Langesundsområdet i 1974-1978. Statens biologiske stasjon i Flødevigen. Rapport nr. 1, 1982.
- Dannevig, A., (1945): Undersøkelser i Oslofjorden 1936-40. Fiskeridirektoratets Skr. Serie Havundersøkelser 8 no. 4.
- Føyn, E., (1958): Sprangsjikt, oksygenminima og sperreflater for fisk. Fauna, 11: 121-131.
- Gade, H., (1963): Some observations of the inner Oslofjord during 1959. Hvalrd. Skr. Nr. 46.
- Magnusson, J., Bokn, T., og T. Kallqvist (1976): Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkingsprogram-Årsrapport 1974. Norsk institutt for vannforskning. (0-160/71).
- Magnusson, J. og K. Næs (1986): Basisundersøkelser i Drammensfjorden 1982-84. Delrapport 6. Hydrografi, vannkvalitet og vannutskifting. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 243/86. Norsk institutt for vannforskning, Nr 1892.
- Paasche, E., og Erga, S.R. (1987): Næringsalter og planktonvekst i Oslofjorden. Vann Nr 2:199-206.

- Paasche, E., og Erga, S.R. (1988): Phosphorous and nitrogen limitation of phytoplankton in the inner Oslofjord (Norway). *Sarsia*. No. 73:229-243.
- Paasche, E., Erga, S.R., Schartau, A.k. og S.Brubak (1989): Begrensede næringsalter i fjorder. Prosjektrapport 8688. Norges teknisk naturvitenskaplige forskningsråd.
- Petersen, C.G.J., (1915): Om havbundens dyresamfund i Skagerrak, Kristianiafjord og de danske farvande. Beret. minist. Landbr. Fisk. Dan. biol. Stn., Vol. 23: 5-26.
- Rohde, J., (1987): The large-scale circulation in the Skagerrak; interpretation of some observations. *Tellus*, 39A:245-253.
- Rosenberg, R., J.S.Gray, A.B.Josefson and T.H. Pearson, (1987): Petersen's benthic stations revisited. II. Is the Oslofjord and eastern Skagerrak enriched? *J.Exp.Mar.Biol. Ecol.*, Vol.105:219-251.
- Sakshaug, E and Y.Olsen, (1986): Nutrient status of phytoplankton blooms in the Norwegian waters and algal strategies for nutrient competition. *Can.J.Fish.Aq.Sci.* 1986, Vol.43: 389- 396.
- Svansson, A., (1972): Canal models of sea level and salinity variations in the Baltic and adjacent waters. Fishery Board of Sweden, s. Hydrography, rep. 26, 72s.
- Svansson, A., (1975): Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open sea conditions. Fishery Board of Sweden, Institute of marine research, Report no. 1. 88s.
- Svansson, A. og Sætre, R., (1988): Hydrografiske forhold i grensområdet mellom Sverige og Norge. Notat utarbeidet for Statens naturvårdsverk, Sverige og Statens forurensningstilsyn, Norge. 32s.