



# Rapport 419|90

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

NIVA

## Eutrofi- situasjonen i YTRE OSLOFJORD

DELPROSJEKT 3.6 a

Hydrografiske og  
hydrokjemiske observasjoner  
i Ytre Oslofjord,  
juni og august 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

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

Prosjektnr.:

0-8801106

Undernummer:

Løpenummer:

2513

Begrenset distribusjon:

Fri.

Rapportens tittel:

**Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.6a.  
Hydrografiske og hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord juni og  
august 1988.**

(Overvåkingsrapport nr. 419/90)

Dato:

30/9-90.

Rapportnr.

0-8801106

Forfatter (e):

Jan Magnusson  
Jens Skei  
Kai Sørensen

Faggruppe:

Marinøkologisk

Geografisk område:

Oslofjorden

Antall sider (inkl. bilag):

112

Oppdragsgiver: **Statens forurensningstilsyn (SFT)**

(Statlig program for forurensningsovervåking)

Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):

B. Kvæven

Ekstrakt:

Rapporten beskriver hydrografiske og hydrokjemiske forhold i Ytre Oslofjord og Skagerrak NØ i juni og august 1988. Fordeling og transporter av næringsalter og partikulært organisk og uorganisk materiale beskrives, liksom influensområdet til de to store næringsalkildene Glomma og Drammenselva. Eutrofisituasjonen skyldes sannsynligvis lokale tilførsler i området. Sammenlignet med forholdene i Indre Oslofjord og nordre Kattegat er forholdene i de sentrale deler av Ytre Oslofjord klart bedre. Det har ikke vært mulig å påvise et bestemt næringsalt som begrensende for planteplanktonveksten i området.

4 emneord, norske:

1. Oslofjorden
2. Skagerrak
3. Hydrokjemi
4. Eutrofi

4 emneord, engelske:

1. Oslofjord
2. Skagerrak
3. Hydrochemistry
4. Eutrophication

Prosjektleder:

Kjell Baalsrud

For administrasjonen:

Tor Bokn

ISBN 82-577-1820-3

Programleder, overvåking

0-8801106

**EUTROFISITUASJONEN I YTRE OSLOFJORD**

Delprosjekt 3.6 a

HYDROGRAFISKE OG HYDROKJEMISKE OBSERVASJONER I YTRE OSLOFJORD

JUNI OG AUGUST 1988

OSLO DEN 30.9.1990

PROSJEKTLEDER: Kjell Baalsrud

FORFATTERE: Jan Magnusson  
Jens Skei  
Kai Sørensen



## Forord

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

Prosjektet utføres for Statens forurensningstilsyn av Norsk institutt for vannforskning i samarbeid med Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo, og VERITEC.

Denne delundersøkelsen omhandler de to hydrografiske toktene i Ytre Oslofjord/Skagerrak i juni og august 1988, gjennomført med forskningsfartøyet "T.Braarud" som tilhører Universitetet i Oslo. Vedlagt rapporten er også et notat av professor E. Paasche, Universitetet i Oslo, om begrensende næringssalt for planteplankton i området .

Resultatene av samtlige delundersøkelser vil tilslutt bli sammenholdt og skal danne basis for en sammenfattende hovedrapport. De enkelte delundersøkelser blir behandlet og rapportert på sine premisser og vil bare i liten grad kunne trekke inn resultater fra de andre delundersøkelsene.

J. Skei har skrevet kapittel 3.4. Kai Sørensen har skrevet kapittel 3.3.3. Planktonanalysene er gjennomført av G.Larsen, Moss.

Kjemiske analyser av ortofostfat, nitrat, nitritt, ammonium og silikat er utført av K. Pedersen og M.Danielsen ved avdeling for marin kjemi og marin zoologi, Universitetet i Oslo.

U.Efraimsen ved NIVA har deltatt på toktene og i tillegg til prøveinnsamling også utført samtlige oksygenanalyser.

Vi vil spesielt takke skipper T.Tønnesen og T.Pedersen på F/F "T.Braarud" for fin innsats under toktene.

Vi vil takke Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), som velvillig stilt observasjoner i Skagerrak til disposisjon.

NIVA, den 30.9.1990.

Kjell Baalsrud  
prosjektleder

<b>INNHOLD</b>	<b>SIDE</b>
Forord.	2
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	10
2. INNLEDNING.	13
2.1. Formål.	13
2.2. Gjennomføring.	13
3. RESULTATER OG DISKUSJON	16
3.1. Generelt om strømforhold i Ytre Oslofjord og Skagerrak.	17
3.2. Observasjoner den 13-16.6.1988.	21
3.2.1. Meteorologiske og hydrologiske forhold.	21
3.2.2 Hydrokjemiske observasjoner i overflatelaget.	22
3.2.3 Begrensende nærings salt i juni 1988.	32
3.2.4. Hydrokjemiske observasjoner i dypvannet.	34
3.3. Observasjoner den 1-5.8.1988.	43
3.3.1. Meteorologiske og hydrologiske forhold.	43
3.3.2. Overflateobservasjoner i Skagerrak/Ytre Oslofjord.	45
3.3.3. Planteplanktonfordelingen i Skagerrak/Ytre Oslofjord.	54
3.3.4 Hydrografi og beregning av strøm og transporter i Skagerrak 2-3.8.1988.	57
3.3.5 Beregning av transporter i Ytre Oslofjord i august 1988.	63
3.3.6 Hydrokjemiske observasjoner i overflatelaget i Ytre Oslofjord.	68
3.3.7. Begrensende nærings salt i juli/august 1988.	69

3.3.8	Hydrokjemiske observasjoner i dypvannet i august 1988.	74
3.3.9	En enkel sammenligning av forholdene i Ytre Oslofjord med forholdene i Kattegat N, Skagerrak NO og Indre Oslofjord i august 1988.	77
3.4.	Partikulært materiale i vannmasser. Resultater fra august 1988.	82
3.4.1.	Totalt suspendert materiale (TSM).	84
3.4.2.	Partikulært aluminium (Al).	86
3.4.3.	Partikulært silisium (Si).	89
3.4.4.	Partikulært jern (Fe).	90
3.4.5.	Partikulært titan (Ti).	92
3.4.6.	Partikulært fosfor (P).	95
3.4.7.	Partikulært nitrogen (N).	99
3.4.8.	Partikulært karbon (C).	99
3.4.9.	Oppsummering - partikulært materiale.	102
4.	REFERANSER.	105
Vedlegg.	Rapport til Statens forurensningstilsyn om tokt i Ytre Oslofjord, juli og august 1988. E. Paasche, Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo.	108

FIGURER	SIDE
Figur 1. Stasjonsnett for tokt den 13-16.6.1988.	14
Figur 2. Stasjonsnett for tokt den 1.5.8.1988. Stasjonsnavn for stasjonene i Oslofjorden er de samme som i figur 1.	15
Figur 3. Et forenklet bilde av strømmene i Skagerrak (etter Svansson 1972).	19
Figur 4. Beregnet gjennomsnittlig integrert strømtransport i Skagerrak. (Modifisert etter Rodhe 1987).	20
Figur 5. Vannføringen (m <sup>3</sup> /s) i Glomma og Drammenselva 1988.	22
Figur 6. Overflatesaltholdigheten (o/oo) 13-16.6.1988.	24
Figur 7. Totalfosforkonsentrasjonen (µM) i overflaten i juni 1988.	25
Figur 8. Totalnitrogenkonsentrasjonen (µM) i overflaten i juni 1988.	26
Figur 9. Silikatkonsentrasjonen (µM) i overflaten i juni 1988.	27
Figur 10. Nitrat(+nitritt)-konsentrasjonen (µM) i overflaten i juni 1988.	28
Figur 11. Klorofyll-a (mg/m <sup>2</sup> ) intergrert fra 0 til 50 meters dyp i juni 1988.	29
Figur 12. Overflatelagets saltholdighet i juni 1988.	30
Figur 13. Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU ml/l) i i juni 1988.	30
Figur 14. Overflatelagets silikatkonsentrasjon (µM) i juni 1988.	31
Figur 15. Overflatelagets næringssaltkonsentrasjon (µM) som gjennomsnitt av observasjoner fra 0-10 meters dyp i juni 1988.	31
Figur 16. Forholdet av DIN/DIP (atomer) i overflatelaget i juni 1988.	33
Figur 17. Saltholdighet (o/oo) i Ytre Oslofjord i juni 1988.	35
Figur 18. Oksygen (ml/l) i Ytre Oslofjord i juni 1988.	36
Figur 19. Oksygenforbruket (AOU ml/l) i Ytre Oslofjord i juni 1988.	36
Figur 20. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for tot-P og tot-N mot AOU i Ytre Oslofjord juni 1988.	38

Figur 21. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for $\text{PO}_4\text{-P}$ og DIN mot AOU i Ytre Oslofjord juni 1988.	39
Figur 22. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for silikat mot AOU og tot-N mot tot-P i Ytre Oslofjord juni 1988.	39
Figur 23. Strøm (observert med ADCP) og saltholdighet på 20 meters dyp i Skagerrak og Ytre Oslofjord den 2-5.8 kombinert med saltholdighetsobservasjoner på 20 meters dyp den 22-25.8.1988 (SMHI).	44
Figur 24. Overflatesaltholdigheten i Skagerrak den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	46
Figur 25. Silikatkonsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	47
Figur 26. Tot-P konsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	48
Figur 27. Tot-P konsentrasjonen i Skagerrak på 20 meters dyp den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	49
Figur 28. Tot-N konsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	50
Figur 29. Integrert klorofyll-a (0-50 meters dyp) 1-5.8.1988.	51
Figur 30. Ortofosfatkonsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).	52
Figur 31. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) i Ytre Oslofjord og Skagerrak den 2-3.8.1988 (øverst), samt strømobservasjoner (ADCP).	55
Figur 32. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) i Skagerrak den 2-3.8.1988	56
Figur 33. Strøm (ADCP) (cm/s) i Skagerrak den 2-3.8.1988.	56
Figur 34. Saltholdighet (o/oo) den 2-5.8.1988 fra Drøbak i Ytre Oslofjord til stasjon S9 i Sagerrak.	58
Figur 35. Oksygenkonsentrasjonen ( $\text{ml/l}$ ) i Ytre Oslofjord/Skagerrak den 2-5.8.1988.	58
Figur 36. Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU- $\text{ml/l}$ ) i Ytre Oslofjord/Skagerrak den 2-5.8.1988.	59
Figur 37. Saltholdigheten (o/oo) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.	60
Figur 38. Oksygenforbruk (AOU- $\text{ml/l}$ ) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988	60

Figur 39. Strøm (øverst) og ortofosfatkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.	62
Figur 40. Uorganisk nitrogen ( $\mu\text{M}$ ) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.	63
Figur 41. Totalfosforkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) tvers munningen av Ytre Oslofjord den 4.8.1988.	64
Figur 42. Totalnitrogenkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) tvers munningen av Ytre Oslofjord den 4.8.1988.	64
Figur 43. Saltholdighet (o/oo) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.	70
Figur 44. Oksygenmetning (%) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.	70
Figur 45. Silikat ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.	71
Figur 46. Tot-P og DIP ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.	71
Figur 47. Tot-N og DIN ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord den 4- 5.8.1988.	72
Figur 48. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) overflatelaget i Ytre Oslofjord den 4-5.8.1988.	72
Figur 49. Uorg N/P-forhold (atomvekt) i Ytre Oslofjord den 4-5.8.1988.	73
Figur 50. Gjennomsnittlig oksygenkonsentrasjon (ml/l) i Kattegat N, Skagerrak O og Oslofjorden i ulike vannmasser i august 1988.	79
Figur 51. Gjennomsnittlig næringssaltkonsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i Kattegat N, Skagerrak O og Oslofjorden i ulike vannmasser i august 1988.	80
Figur 52. Gjennomsnittlig næringssaltkonsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i Kattegat N, Skagerrak O og Oslofjorden i ulike vannmasser i august 1988.	81
Figur 53. Stasjoner hvor prøver for analyser av partikulært materiale ble innsamlet i perioden 1.8 - 5.8.88.	83
Figur 54. Total suspendert materiale (TSM) i overflateprøver, august 1988.	85

Figur 55	Fordeling av total suspendert materiale (TSM) og organisk karbon (C) i overflatevann på strekningen Drøbak - Indre Skagerrak.	86
Figur 56.	Fordelingen av total suspendert materiale (TSM) og organisk karbon (C) i overflatevann på strekningen Langesundsbukta - Koster.	87
Figur 57.	Mengde partikulært aluminium ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevannet, august 1988.	88
Figur 58.	Totalt suspendert materiale (TSM) og partikulært aluminium (overflateprøver).	90
Figur 59.	Korrelasjonen mellom partikulært silisium og aluminium (overflateprøver).	91
Figur 60.	Korrelasjonen mellom jern og aluminium (alle dyp, med unntak av to prøver fra Løperen som er utelatt).	92
Figur 61.	Forholdet mellom jern og aluminium i partikulært materiale i overflatevann på strekningen Langesundsbukta - Koster.	93
Figur 62.	Jern (%) i partikulært materiale i overflatevann.	94
Figur 63.	Titan (%) i partikulært materiale i overflateprøver.	96
Figur 64.	Korrelasjon mellom partikulært jern og titan i samtlige prøver.	97
Figur 65.	Mengde totalt partikulært fosfor ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.	98
Figur 66.	Mengde partikulært nitrogen ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.	100
Figur 67.	Mengde partikulært organisk karbon ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.	101

TABELLER	SIDE
Tabell 1. Gjennomsnittlige konsentrasjoner i overflatelaget (0-10 meters dyp) 13- 16.6.1988.	33
Tabell 2. Korrelasjon mellom næringssalter og AOU i juni 1988 (20 meters dyp til bunn).	37
Tabell 3. Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp juni 1988. - = $R^2 < 65\%$ , ( ) = $R^2$ fra 65-75, uten parentes = $R^2$ mellom 75-90 og understreket $R^2 > 90$ . a=tot P og N, b=uorg P og N.	41
Tabell 4. Analyse av oksygenforbruk på stasjonene T 2, Vn 1, Nh 1 og Im 2 juni 1988 ( 20 meters dyp til bunn) $Y = a+b*AOU$ .	42
Tabell 5. Beregnet transport i forskjellige dypintervaller gjennom snittet Færder-Torbjørnskjær den 4.8.1988. (+ inn fjorden, - ut fjorden)	65
Tabell 6. Beregnet bruttotransport av vann ( $m^3/s$ ), i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten).	65
Tabell 7. Bruttotransporter av vann ( $m^3/s$ ) ved snitt E, H og Dr gjennom bruttotransporten ved snitt T (%) i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten).	66
Tabell 8. Bruttotransport av næringssalter i snitt E, H og Dr i kg/s i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten)	66
Tabell 9. Gjennomsnittlige konsentrasjoner i overflatelaget (0-10 meters dyp) 3-5.8.1988.	68
Tabell 10. Korrelasjon mellom næringssalter og AOU i august 1988 (20 meters dyp til bunn).	74
Tabell 11. Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp august 1988. - = $R^2 < 65\%$ , ( ) = $R^2$ fra 65-75, uten parentes = $R^2$ mellom 75-90 og understreket $R^2 > 90$ . a=tot-P og N, b=uorg P og N.	75
Tabell 12. Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp august 1988. - = $R^2 > 65\%$ , ( ) = $R^2$ fra 65-75, uten parentes = $R^2$ mellom 75-90 og understreket $R^2 > 90$ . a=tot-P og N, b=uorg P og N.	76
Tabell 13. Analyse av oksygenforbruk på stasjonene T 2, Vn 1, Nh 1 og Im 2 i august 1988 ( 20 meters dyp til bunn) $Y = a+b*AOU$ .	77



## 1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.

Formålet med dette delprosjektet har vært å studere fordeling og transport av næringssalter, suspenderte partikler, organisk materiale samt noen forurensningstypiske komponenter for å spore sannsynlige kilder og transportretninger, samt undersøke eventuelle forskjeller mellom ulike vannmasser.

Delprosjektet har bestått i innsamling av data fra to tokt i Ytre Oslofjord (juni og august) samt et tokt i Skagerrak (august 1988).

### Resultater.

Konklusjonene baserer seg på to tokt til Ytre Oslofjord og skal ses i lyset av en viss usikkerhet kring observasjonenes representativitet.

Eutrofisituasjonen i de sentrale deler i Ytre Oslofjord skyldes sannsynligvis lokale tilførsler av næringssalter, som får størst effekt i de områder hvor vannutskiftningen er dårligst. Dette er i hovedsak området innenfor Bastøy/Horten.

Sammenlignet med forholdene i nordre del av Kattegat og Indre Oslofjord (august 1988) er eutrofisituasjonen i de sentrale delene av Ytre Oslofjord klart bedre.

Det er konstatert at "utbrudd" av brakkvann fra Hvalerområdet kan påvirke vannkvaliteten i overflatelaget så langt sør som forbi Koster.

Det har ikke vært mulig å påvise at et bestemt næringssalt er begrensende for planteplanktonveksten i de sentrale delene av Ytre Oslofjord.

- De største lokale kildene for næringssalter og partikulært materiale er brakkvann fra Drammensfjorden og Hvalerområdet. Observasjonene viser også tilførsler av fosfor fra Indre Oslofjord som kan spores et stykke sørover.
- Næringssalter og partikulært materiale fra Drammensfjorden kunne følges i Breidangen, delvis i Drøbaksundet, og sydover forbi Bastøy. Forurensningene fra Glomma påvirker munningen av Ytre Oslofjord, men ble også påvist å kunne spre seg sydover langs svenskekysten forbi Kosterøyene. Det er fortsatt uklart hvor ofte en slik spredning langs svenskekysten vil skje.
- Overflatevannet i Kattegat og i deler av Skagerrak hadde i august

1988 høyere konsentrasjoner av organisk bundet nitrogen og fosfor enn Ytre Oslofjord. En innstrømmning av disse vannmassene til Ytre Oslofjord vil kunne øke den organiske belastningen betydelig. Representativiteten av augustsituasjonen er ikke kjent.

- Effekten av tilførslene på veksten av planteplankton var størst i Breidangen og Drøbaksundet, og i fronten mellom brakkvann og sjøvann i munningen av Ytre Oslofjord. I juni ble de største algemengdene funnet i området innenfor Bastøy og i august i brakkvannsfrontene i munningen av Oslofjorden og Frierfjorden. De lokale næringssalttilførslene i sørlige deler av Østfold fylke synes altså å gjøre seg mest gjeldende etter at de har spredt seg utenfor Hvalerområdet.
- Det er gjort beregninger over samlet vanntransport (bruttotransporten) forbi noen tversnitt innover fjorden. I alle dyp var det påtagelig større vannutveksling ved Færder enn ved Slagentangen og Horten. Reduksjonen i bruttotransport var størst på dyp mellom 30 - 54 meters dyp. Sett ut fra vannutskiftningen kan fjorden deles opp i tre områder etter økende følsomhet for forurensningstilførsler: Færder til Missingen, Missingen til Bastøy og området innenfor Horten.
- Det er observert en negativ oksygengradient fra fjordmunningen inn mot Drøbaksundet, ofte mest uttalt i 30-50 meters dyp (dvs. under fotosyntesesonen). En sammenligning i august 1988 mellom oksygensituasjonen i nordre Kattegat, Ytre Oslofjord og Indre Oslofjord viste at de beste forholdene var i Ytre Oslofjord. Dette bekrefter det generelle inntrykk at oksygenforholdene i de sentrale deler av Ytre Oslofjord, unntatt enkelte kortere perioder, i stort sett er tilfredstillende og over de nivåer som kan føre til biologiske skadevirkninger. Imidlertid behøver dette ikke gjelde for enkelte isolerte dyphuler i området.
- Innholdet av næringssalter i fjordens dypere lag, under den produktive sonen, er forskjellig for nitrogen og fosfor. Fosforkonsentrasjonene er større og nitrogenkonsentrasjonene mindre enn man skulle forvente om observerte konsentrasjoner skyldes nedbrytning av sedimenterende plankton fra overflatelaget. En sannsynlig forklaring er at det skjer betydelig denitrifikasjon, og en tilførsel av fosfor fra andre kilder eller særlig rask frigjøring av fosfor fra synkende plankton.
- Ved en sammenligning mellom Ytre Oslofjord, Indre Oslofjord, Skagerak NØ og nordre Kattegat var innholdet av totalnitrogen og totalfosfor mindre og innholdet uorganisk nitrogen og fosfor noe større i

Ytre Oslofjords overflatelag enn i de andre områdene. Det indikerer lavere planktonproduksjon (mengde) i Ytre Oslofjord. Ettersom det samtidig ble observert et tynnere produksjonsjikt, kan dette bety at lysforholdene på grunn av erosjonmateriale fra elvene reduserte planktonproduksjonen i Ytre Oslofjord. Sammenligningen baserer seg kun på observasjoner fra august 1988 og et forbehold må tas for representativiteten. F.eks. observerte Paasche (1989) i august 1988 en ekstremt stor biomasse (59 µg/l) ved Rauøy i Ytre Oslofjord.

- Ut fra observasjonene av løste næringsalter i fjordens overflatelag i juni og august var det ikke mulig å fastslå om nitrogen eller fosfor kunne oppfattes som begrensende nærings salt. Mer inngående analyser av Paasche (1989), viste også varierende fosfor og nitrogenbegrensning i fjorden.
- I august 1988 ble det gjort strømmålinger (ADCP) i grenseområdet mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak (Hackett og Dahl 1989). En nordvestgående hovedstrøm transporterte ca. 10 kg fosfor og ca. 120 kg nitrogen per sekund, mens en bakevje innenfor hovedstrømmen transporterte hhv. 4 og 80 kg per sekund sørover langs den svenske vestkysten. Totaltilførselen fra hele Oslofjordområdet, som årlig gjennomsnitt, utgjorde til sammenligning bare ca. 1 % av transporten i hovedstrømmen. Totaltilførselen fra Østfold, inklusive Glomma, utgjorde bare ca. 2 % av den sydgående transporten av næringsalter langs svenskekysten.
- De lokale tilførselene er altså små sammenlignet med nærings salts-transportene i de storstilte havstrømmene som kan forekomme utenfor munningen av Oslofjorden. Fordi de lokale tilførselene er konsentrert til et relativt tynt overflatelag, vil de allikevel kunne ha en markert effekt i de nærmeste områdene. I flomperioder vil det kunne oppstå situasjoner hvor større mengder brakkvann sprer seg mot sør forbi Koster. Undersøkelsene understreker hvor viktig kunnskapen om strømsystemene er for en konkret vurdering av forurensningsvirkningene av lokale tilførsler.
- Partikkelmengden i bunnvannet er i sentrale deler av Ytre Oslofjord
  - Indre Skagerrak dobbelt så stor som i overflatevannet. Dette må skyldes kraftige vannbevegelser nær bunnen og oppvirvling av sedimenter.
- I overflatevannet er partiklene overveiende organiske i Ytre Oslofjord og uorganiske i munningen av Drammensfjorden og i Løperen (Hvalerområdet).

## 2. INNLEDNING.

### 2.1 Formål.

Formålet med dette delprosjekt har vært å studere fordeling og transport av næringssalter, suspenderte partikler, organisk materiale samt noen forurensningstypiske komponenter for å spore sannsynlige kilder, transportretninger og undersøke eventuelle forskjeller mellom ulike vannmasser og områder i Ytre Oslofjord.

### 2.2 Gjennomføring.

Resultatene i denne rapport bygger på innsamlede observasjoner i 1988 fra to tokt i Ytre Oslofjord (juni og august) og et tokt i Skagerrak (august), samt observasjoner fra et svenskt tokt i Skagerrak/Kattegat i august (Sveriges meteorologiska og hydrologiska institut, SMHI).

Toktene ble gjennomført med Universitetet i Oslo's forskningsfartøy F/F "T.Braaarud" den 13-16.6.1988 og den 1-5.8.1988. Toktet til SMHI ble gjennomført 22-25.8.1988.

Stasjonsnett for de ulike toktene fremgår av figur 1 og 2. Samtlige observasjoner vil bli presentert i egen datarapport.

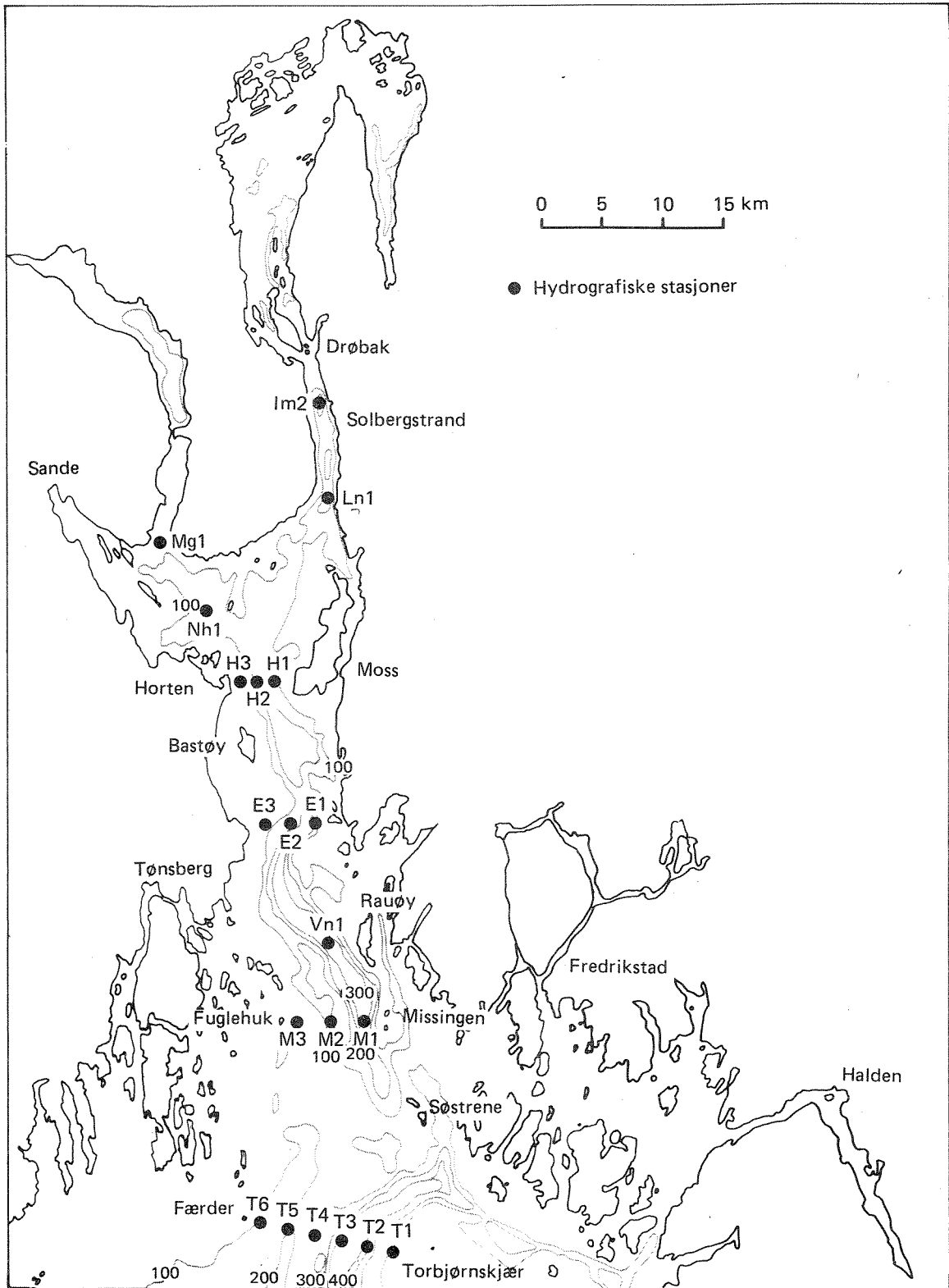
Følgende metoder ble brukt på materialet innsamlet ved toktene:

Vannprøver ble tatt fra Niskin vannhenter montert på en "rosett" som også var utstyrt med Neil Brown CTD (Mark III).

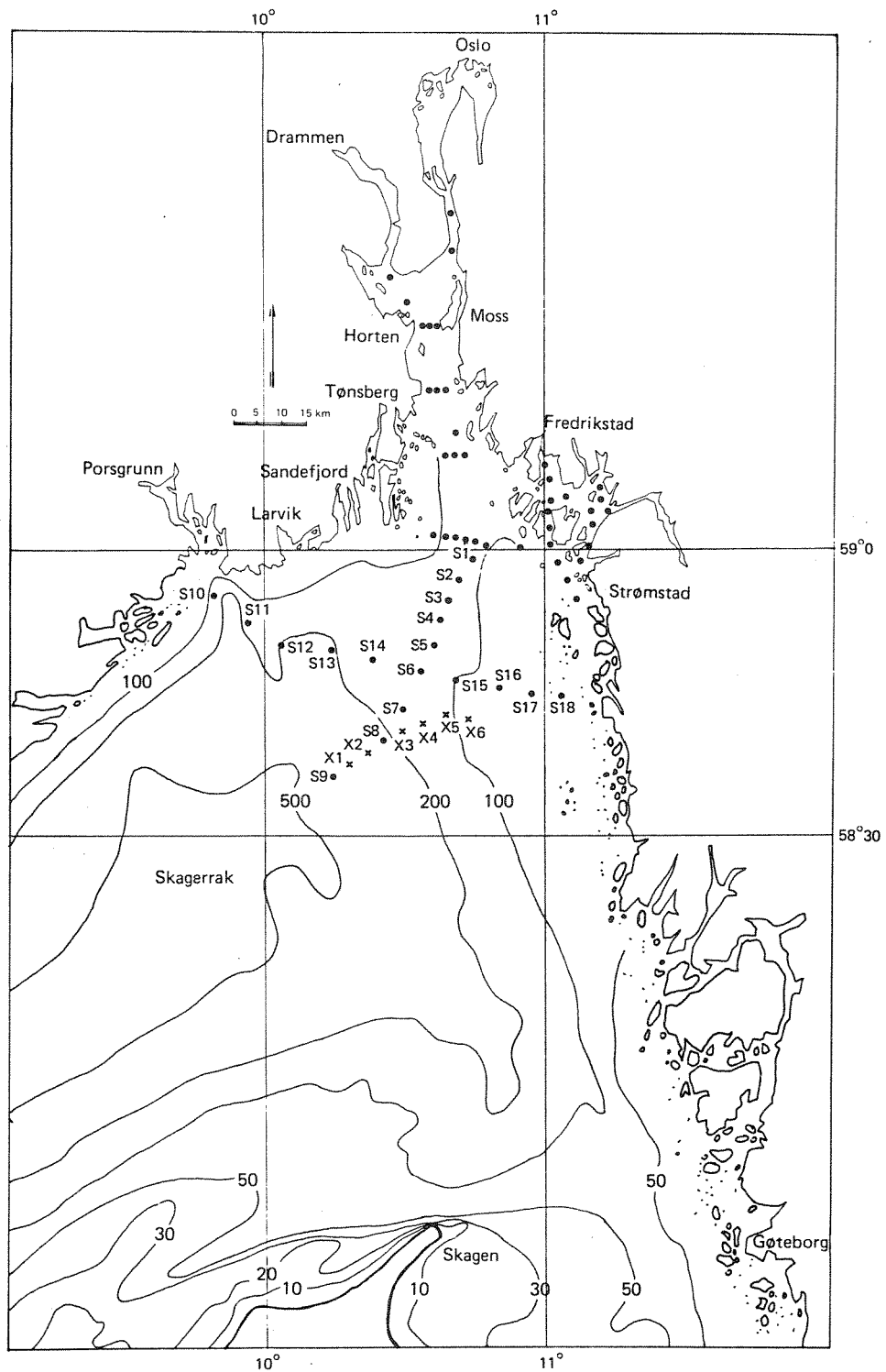
Oksygen ble titrert ombord (Winkler). De løste næringssaltene ble filtrert v.h.a. 0.45 µm membranfilter, biologisk inaktivert ved noen dråper kloroform og lagret dypfryst (prøver for analyser av ortofosfat ble lagret ved 4°C). De løste næringssaltene ble analysert ved Biologisk institutt avdeling marin zoologi og marin kjemi, UiO. Analysene ble utført av M.Danielsen og K.Pedersen.

Silikat ble analysert som beskrevet av Brewer & Riley (1966), nitrat og nitritt (op. cit. 1965), ammonium etter Reusch-Berg & Abdullah (1977), og fosfat etter Murphy & Riley (1962).

Totalfosfor- og totalnitrogenprøvene ble konserverte med svovelsyre og analysert ved NIVA. Totalfosfor ble analysert ved UV-oksydasjon og bestemt som ortofosfat. Totalnitrogen ble analysert ved UV-oksydasjon og analysert som nitrat/nitritt (Henriksen & Selmer-Olsen 1970).



Figur 1. Stasjonsnett for tokt den 13-16.6.1988.



Figur 2. Stasjonsnett for tokt den 1-5.8.1988. Stasjonsnavn for stasjonene i Oslofjorden er de samme som i figur 1.

Klorofyllfluoresensce ble observert ved en kontinuerlig registerende sonde (Variosen) og enkelte analyser for kontroll av sonden ble gjennomført ved NIVA.

Partikulært materiale ble kun analysert på august-toktet.

0.3-2 l vann tappet fra Niskin vannhentere ble filtrert gjennom pre-veide 0.4  $\mu\text{m}$  ( $d= 37\text{mm}$ ) Nuclepore membranfiltre. Filtreringen foregikk i lukket system med trykk (nitrogen). Filtrene ble deretter vasket med 100 ml deionisert vann for å fjerne salt, tørket i eksikator til konstant vekt og veid på nytt på Satorius 4503 Micro vekt (veienøyaktighet = 10  $\mu\text{g}$ ). Mengde partikulært materiale (TSM) ble registrert.

De samme filtrene ble deretter analysert ved tynnfilmteknikk på røntgenfluoresensce (XRF) (Skei og Melsom, 1982). Mengde aluminium, jern, titan, fosfor og silisium ble bestemt.

En parallell vannprøve (1-3 l) ble filtrert gjennom GF/F glassfiber-filtre som var syrevasket og svakt glødet (ca. 200 °C) på forhånd. To parallele prøver av filteret ble stanset ut fra hvert filter (areal= 7 mm) og individuelt analysert for karbon, nitrogen og fosfor etter syrebehandling (for å fjerne karbonater). Et regneprogram ble tatt i bruk for å beregne mengde C, N og P på hele filteret. Karbon og nitrogen er målt på en Carlo Erba HCN-analysator, mens total fosfor er analysert våtkjemisk etter standard prosedyre.

### 3. RESULTATER OG DISKUSJON.

I denne rapporten blir resultatene fra de to toktene behandlet hver for seg. De viktigste konklusjonene er sammenfattet etter hvert enkeltavsnitt og i forkortet versjon presentert i sammendraget.

For å få en bakgrunn til de hydrokjemiske observasjonene er det innledningsvis gitt en kort beskrivelse av strøm og hydrografi i området. For hvert tokt beskrives eventuelt spredningsmønster og konsentrasjonsgradienter i overflatelaget, som kan knyttes til kilder eller tilstand i området. Deretter diskuteres begrensende nærings salt i overflatelaget. Vedlagt denne rapporten er også notat fra professor Paasche angående samme tema. Til slutt behandles de hydrokjemiske observasjonene fra dypvannet for å se på eventuelle avvik fra det som kan antas å være normalt.

På augusttoktet ble det også tatt observasjoner i Skagerrak, samt foretatt analyser av partikulært materiale og strømobservasjoner. De hydrokjemiske observasjonene i Skagerrak og nordlige Kategatt er

sammenlignet med observasjonene i Oslofjorden. Det er gjort en enkel beregning av næringssalttransporter i Skagerrak og Ytre Oslofjord ved å kombinere strømmålinger og næringssaltkonsentrasjoner. For øvrig følger analysen av augusttoktet samme linje som for junitoktet.

Resultatene fra analyser av partikulært materiale på augusttoktet er behandlet i eget kapitel (3.4).

### **3.1 Generelt om strømforholdene i Ytre Oslofjord og Skagerrak.**

For å kunne tolke observasjonene som blir presentert og bearbeidet i denne rapporten, er det nødvendig med en forståelse av strømforholdene i området. Her er det gitt en enkel sammenstilling av den kunnskap som bl.a. har fremkommet i dette prosjekt.

De viktigste strømgenererende faktorene i Ytre Oslofjord er ferskvannstilførsel, vindforhold og vannstandsvariasjoner samt strømforholdene i yttergrensen til fjorden, dvs. i Skagerrak. Ferskvannstilførselen vil over tid gi en netto uttransport av brakkvann i overflatelaget, kompensert ved en dypere inngående transport av sjøvann. Adevktive transport, drevet av tetthetsforskjeller mellom Skagerrak og Ytre Oslofjord vil imidlertid ha større betydning for vannutskiftningen i overflatelaget. Samme mekanisme (tetthetsdrevne strømmer) driver også dypvannsfornyelsen under terskelsdypet.

Store variasjoner i strømforholdene gjør at en enkel observasjon i mange tilfeller blir vanskelig å tolke. Det er først ved flere observasjoner over tid at det blir mulig å få kjennskap til strømforholdene i et fjordsystem som Ytre Oslofjord. De kompliserte strømforholdene i Ytre Oslofjord fremgår også av den modellen som er utviklet for Ytre Oslofjord i et annet delprosjekt (Røed og Skåtun 1989). Mye av den forståelse som en idag har av strømforholdene i Ytre Oslofjord overflatelag er også et resultat av arbeidet med denne modellen.

I tidligere rapporter i dette prosjektet er innflytelsen av Drammenselva og Glomma på Ytre Oslofjord vist (Aas m.fl. 1989, Sørensen m.fl. 1990, Magnusson 1990). Vann med lav saltholdighet fra Drammensfjorden strømmer normalt ut langs vestsiden av Breidangen. Ved sørlige vinder presses overflatevannet innover i fjorden og vann fra Drammensfjorden/Breidangen tilføres Drøbaksundet og Indre Oslofjord.

Ferskvannet fra Glomma synes oftest å spre seg i sørvestlig retning tvers over munningen av Ytre Oslofjord. Ved sørlige vinder presses vannet mot nord og spres mot vest og innover fjorden. Slik var situasjonen den 13-16.6.88 hvor "Glommavann" ble observert tvers over



munningen mellom Hvaler og Færder, mens det syd for Hvaler (Kosterfjorden) var høy saltholdighet i overflatelaget.

Ved nordlige vinder - eller etter en periode med sterke sørvestlige vinder - endres situasjonen. Dette var forholdene ved augusttoktet 1988. Etter en periode med sterke sørvestlige vinder, fulgte en periode med svake vekslende, tildels nordlige vinder, som førte til utstrøm av overflatevann i hele fjorden. Brakkvann fra Drammensfjorden strømmet i hovedsak ut fjorden mellom Horten og Jeløya og brakkvann fra Hvaler/Singlefjorden ("Glommavann") strømmet mot sør og sørvest, dvs mot Kosterfjorden, Tisler og Torbjørnskjær.

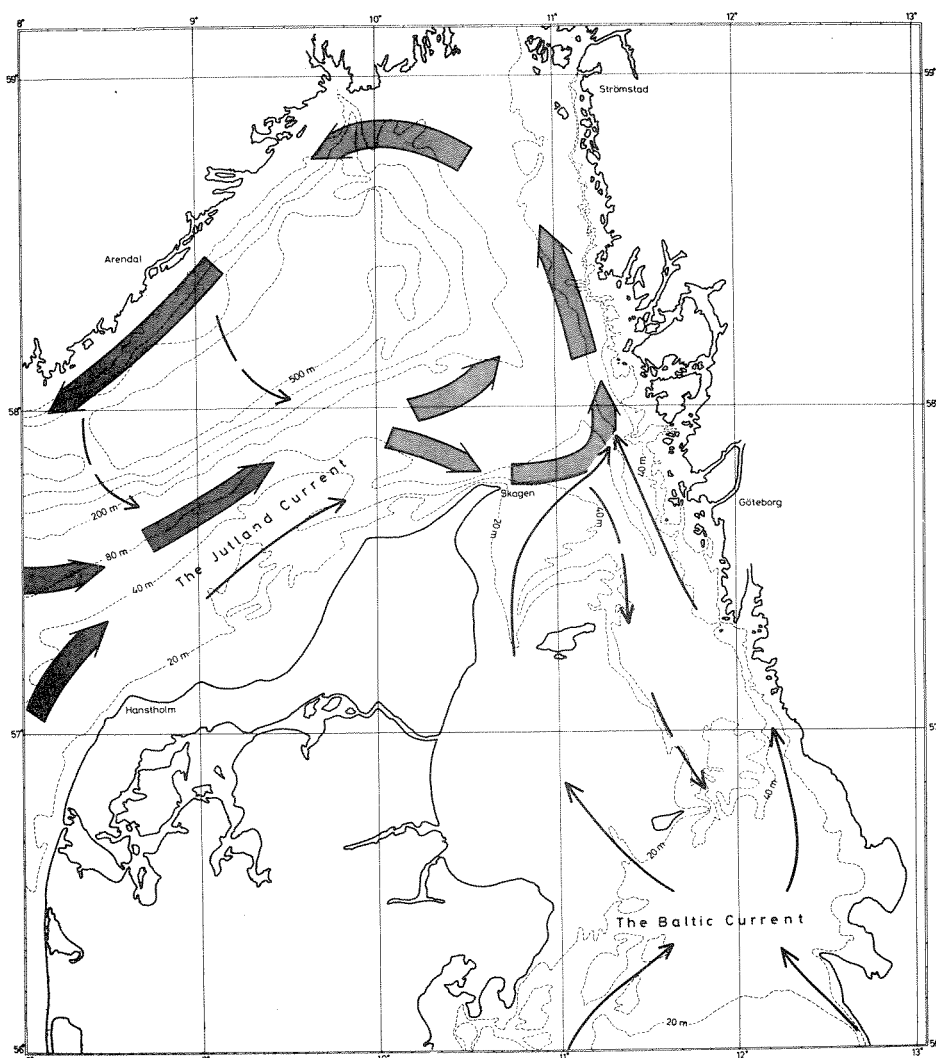
Forholdene i Ytre Oslofjord er også avhengige av strømforholdene i Skagerrak. Disse er tidligere beskrevet av bl.a. Svansson (1972), Aure og Sætre (1981), Rodhe (1987) og Svansson og Sætre (1988).

Figur 3 viser det storstilte strømsystemet i Skagerrak (Svansson 1972). Observasjoner som er foretatt etter at strømkartet ble tegnet har i store trekk bekreftet sirkulasjonsmønstret, men også tilført nye opplysninger om variasjoner og avvik fra gjennomsnittsbildet.

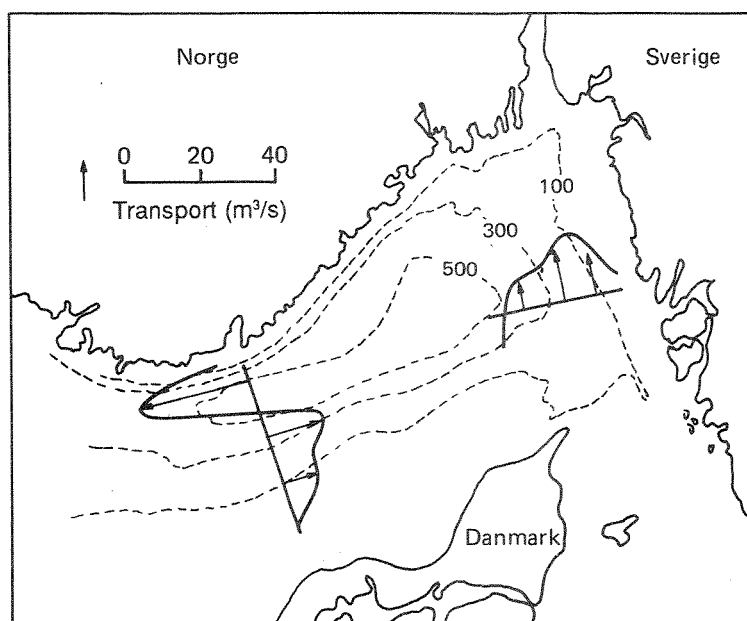
Strømsystemet i Skagerrak består av en nesten permanent syklonal "snurra" som følger dypdekonturene, med innstrøm i søndre Skagerrak og utstrøm langs norskekysten. Observasjoner av Rodhe (1987) viser at strømmeforholdene i dypvannet (> 100 meters dyp) varierer lite, mens forholdene i overflatelaget viser avvik fra "normalsituasjonen" med en antisyklonisk sirkulasjon. Rodhe (1987) beregnet middeltransporten i "Skagerraksnurran" fra 9 observasjoner til ca.  $5 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/s (0.5 Sverdrup). Størstedelen av Skagerraks vann tilføres fra Nordsjøen langs norskekstens sørvestkant (ca. 1 Sverdrup), mens tilførselen av vann fra søndre Nordsjøen via Jyllandstrømmen er betydelig mindre og dessuten mer variabel. Gjennomsnittlig transport i Jyllandstrømmen er beregnet til mindre enn 0.2 Sverdrup, mens transporten fra Kattegat til Skagerrak er beregnet til ca. 0.05 Sverdrup. Oppholdstiden for vann ned til 400-500 meters dyp i Skagerrak er beregnet til ca. 100 døgn (Rodhe 1987).

Den viktigste drivkraften bak overflatelagssirkulasjonen i Skagerrak er vind (Rodhe 1987, Aure and Sætre, 1981). Imidlertid vil transporten av brakkvann i systemet også være avhengig av vannstandsvariasjoner mellom Skagerrak og Østersjøen (Svansson 1972). Vannstandsvariasjonene er i sin tur avhengige av meteorologiske forhold (lufttrykk og vind). En senking av vannstanden i Østersjøen gir en senking av saltholdigheten i Kattegat, dvs. lavsalint Østersjøvann strømmer ut i Kattegat. Stigende vannstand i Østersjøen gir omvendt økende saltholdighet i

Kattegat. Vannstandsvariasjoner i Østersjøen har således stor betydning for transport av vannmasser ut og inn gjennom Kattegat og Skagerrak. Magnusson m.fl. (1976) viste at vannstandsforandringer i Østersjøen samvarierte med saltholdigheten i Gullmaren på den svenske vestkyst og sprangsjiktsvariasjonen i Ytre Oslofjord (Drøbaksundet, vinterstid). To store dypvannsfornyelser i Indre Oslofjord fant sted i 1973/74 samtidig med en betydelig økning i vannstanden i Østersjøen. Forholdene i systemet Østersjøen/Skagerrak har således også stor betydning for Ytre og Indre Oslofjord.



Figur 3. Et forenklet bilde av strømmene i Skagerrak (etter Svansson 1972).



Figur 4. Beregnet gjennomsnittlig integrert strømtransport i Skagerrak. (Modifisert etter Rodhe 1987).

Vind og vannstandsvariasjoner vil kunne påvirke "Skagerraksnurrans" plassering og styrke. Rodhe (1987) viste at strømmene i overflatelaget var meget avhengige av vindforholdene. Aure og Sætre (1981) viste at sterke vestlige vinder stuer opp "Baltisk vann" i Skagerrak og stopper utstrømming av vann fra området. Vestlige vinder gir også en oppstuing av vann ved den svenske vestkysten og et mottrykk mot Ytre Oslofjord. Når de vestlige vindene opphører skjer et større utbrudd av vann fra Skagerrak langs den norske sydkysten (Aure og Sætre, 1981).

Vannstandsvariasjoner mellom Østersjøen og Skagerrak kan muligens også påvirke strømforholdene i Skagerrak. Stor senking av vannstanden i Østersjøen vil gi kraftige transporter ut i Skagerrak, som vil forsterke "Skagerraksnurran" og øke presset av overflatevann mot Oslofjordens munning. Ved stigende vannstand i Østersjøen vil Skagerrakvann "suges" mot Kattegat, og "Skagerraksnurran" vil kunne tenkes å flytte noe mot sør og svekkes eller reverseres. Slike variasjoner i grenseområdet til Ytre Oslofjord vil kunne generere større transporter av vann ut og inn i Oslofjorden. Det er når de ytre kreftene varierer at det egentlig skjer et større vannutbytte mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak.

En gunstig situasjon for at Oslofjordvann skal strømme ut i Skagerrak skulle således kunne være økende vannstand i Østersjøen sammenfallende

med avtakende sydlige vinder i Ytre Oslofjord- eller vinder som veksler fra sør til nord. I dette tilfelle vil også "Glommavann" kunne strømme mot sør. Ved synkende eller lite varierende vannstand i Østersjøen og økende/stabile sørlige vinder vil Oslofjordvannet presses tilbake i fjorden. Utstrømning vil da begrenses til den sørvestlige delen av munningen og "Glommavann" vil strømme tvers over munningen av fjorden mot Færder (se også Røed og Skåtun, 1989).

En analyse av strømforholdene ved Grisebådene (vest Kosterøyene) i perioden 1923-29 viser at sørlig vind gir en overveiende nordlig strøm, mens andre vindretninger gir en større spredning av strømretningen (Svansson og Sætre 1988). Ved nordlige vinder kan strømmen komme fra N-Ø, ved østlige vinder fra sektoren N-S, og ved vestlige vinder er strømretningen nokså jevnt fordelt kompasset rundt. Observasjonene styrker således beskrivelsen av forholdene ovenfor, dvs. stabile forhold ved sørlige vinder og mer varierte forhold ved andre vindretninger.

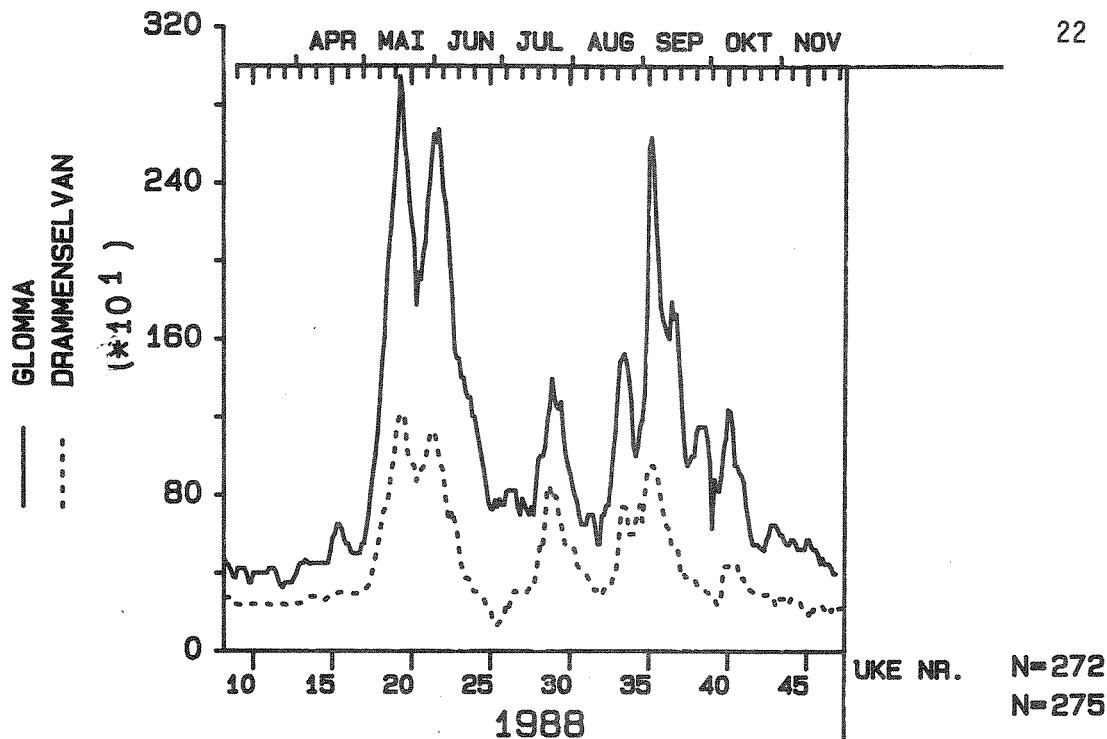
### **3.2 Observasjoner den 13-16.6.1988.**

#### **3.2.1 Meteorologiske og hydrologiske forhold.**

Ved det første toktet 13-16.6.1988 var det forholdsvis stabile værforhold. Vannstanden i Oslofjorden var nærmest konstant i begynnelsen av toktet og svakt stigende i slutten av toktet. I Oslofjorden steg middelvannstanden fra og med den 12.6-13.6 og var deretter nesten konstant. Vinden var svakt sørlige med enkelte perioder med frisk bris, unntatt en dag med nordlig bris (Magnusson 1990).

Med liten variasjon i Østersjøens vannstand blir strømmen i Kattegat/-Skagerrak avhengig av vinden i området. Med lokalt økende middelvannstand den 13.6.1988 og ved sørlige vinder vil overflatelaget i Ytre Oslofjord bli holdt tilbake i fjorden. Strømmålinger viste nordgående overflatestrøm ved Missingen den 13-16.6.88 (Dahl 1990).

Vannføringen i Drammenselva og Glomma var ca. 600 resp. 1400 m<sup>3</sup>/s og avtakende under toktet (siste fase av vårflommen, figur 5). På tross av stor vannføring i elvene viste overflatesaltholdigheten at brakkvann fra Hvaler/Singlefjorden ikke strømmet mot Kosterfjorden i sør, men ble ført vestover. Brakkvann fra Drammensfjorden ble også ført mot Indre Oslofjord. Overflatestrømmen ved Grisebådene (10 meters dyp) gikk mot sør den 13-14.6 og var deretter svakt nordlig (Dahl 1990).



Figur 5. Vannføringen (m<sup>3</sup>/s) i Glomma og Drammenselva 1988.

### 3.2.2. Hydrokjemiske observasjoner i overflatelaget.

Den horisontale fordelingen i Ytre Oslofjords overflate (0-1 meters dyp) av saltholdighet, totalfosfor, totalnitrogen, silikat, nitrat og integrert klorofyll (0-50 meters dyp) er vist i figur 6-11. Figur 6 viser påvirkningen på saltholdigheten av vann fra Drammenselva og Glomma under toktet. I Breidangen viser totalnitrogenkonsentrasjonen (figur 7) omtrent samme fordeling som saltholdigheten, med de høyeste konsentrasjonene ved lav saltholdighet. Samme mønster var det også for nitrat (figur 10) og silikat (figur 9). Totalfosfor (figur 7) viste et noe annet bilde med små gradienter i overflaten.

Glommas påvirkning av vannmassene i munningen av Ytre Oslofjord fremgår ikke så klart på figurene 7-10. En forklaring er at observasjonene i den ytre delen ble tatt på stasjoner som ikke var spesielt influert av Glommavann (figur 6), men det er også vist at Glommavannet i perioder kan ha omtrent samme eller noe lavere totalfosforkonsentrasjoner enn sjøvann fra overflaten i området (Magnusson og Skei 1984).

Således var signalene fra Drammensfjorden i Breidangen klare og sterke, mens signalene fra ferskvannet fra Glomma var meget svake, trolig som følge at hydrokjemistasjonene lå utenfor influensområdet.

Figur 11 (integrert klorofyll 0-50 meters dyp) viser de største planktonmengdene i Drøbakundet og deler av Breidangen og avtakende mengder utover fjorden. I Hvalerområdet var det lite planteplankton,

unntatt i Singlefjorden. De lave klorofyllverdiene synes stort sett å følge brakkvannsspredningen.

For å se på horisontale gradienter i fotosyntesesonen er observasjoner presentert fra overflaten og som gjennomsnitt fra 0, 5 og 10 meters dyp samt fra 0, 5, 10, 15 og 20 meters dyp fra Torbjørnskjær/ Færder (stasjon T2, T4 og T6) til Drøbaksundet (stasjon IM) av saltholdighet, oksygen (AOU = tilsynelatende oksygenforbruk), silikat og DIN/DIP-forholdet (dissolved inorganic nitrogen/dissolved inorganic phosphorus). For ortofosfat (DIP), uorganisk nitrogen ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4\text{-N}$  (DIN)), totalnitrogen og totalfosfor er det kun vist gjennomsnittet for 0,5 og 10 meters dyp.

Figur 12 viser at saltholdigheten var høyest i fjordens munning (unntatt stasjon H3 ved Horten) og lavest i Breidangen og Drammensfjordens munning. Gradienten var størst i overflaten, men den kan følges også på gjennomsnittet for 0-10 og 0-20 meters dyp.

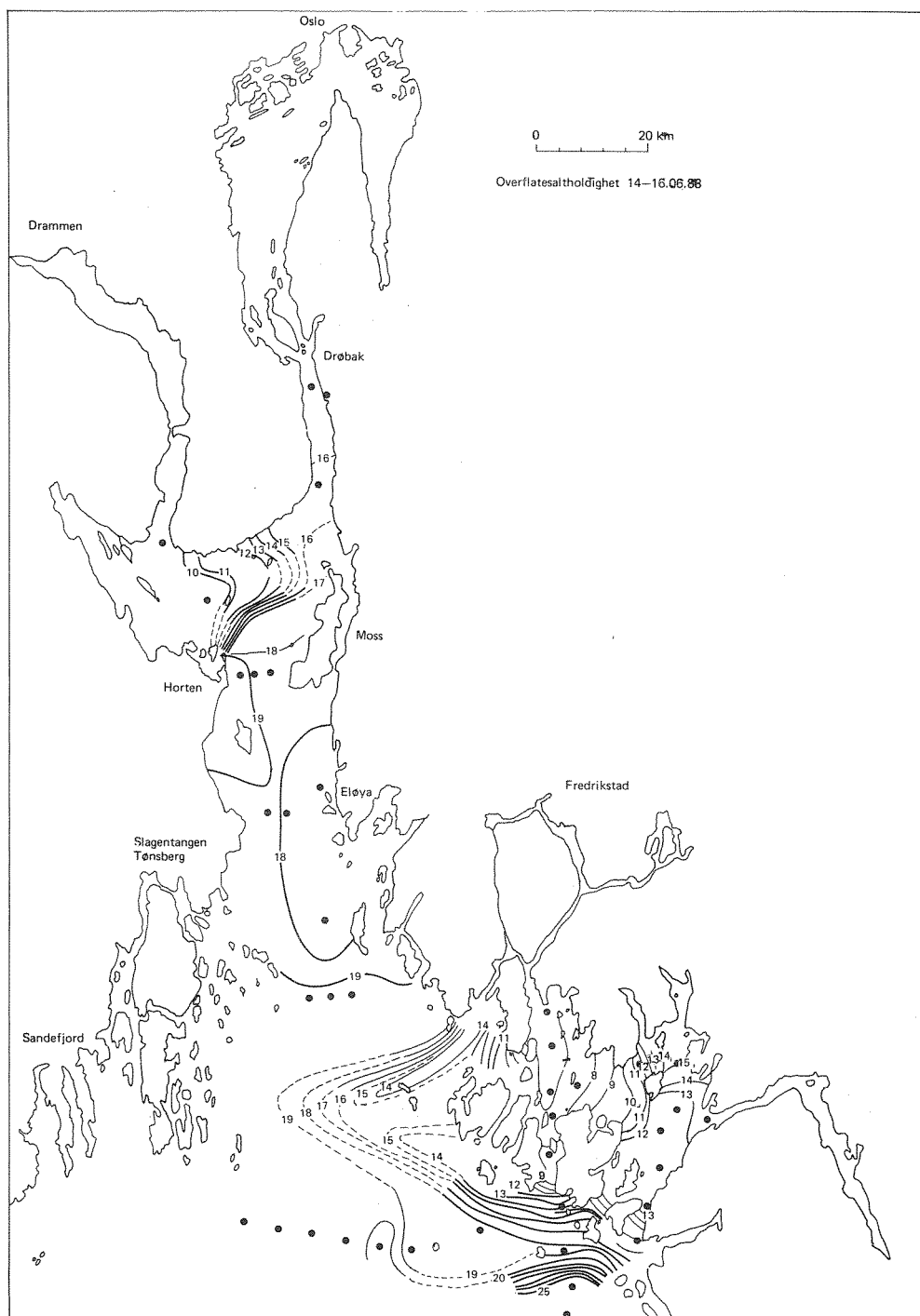
Figur 13 viser at vannet var overmettet på oksygen ned til ca. 20 meters dyp, dvs. plankteplanktonproduksjonen dominerte over nedbrytningsprosessene i 0-10 meters dyp. På noen stasjoner var det en balanse mellom produksjon og nedbrytning ned til 20 meters dyp.

Figur 14 viser at silikatkonsentrasjonen var størst innenfor Horten og at det var lave konsentrasjoner i store deler av Ytre Oslofjord. Silikatilden er således Drammenselva, men det kan ikke utelukkes at noe kan ha blitt tilført til Drøbaksundet fra Indre Oslofjord.

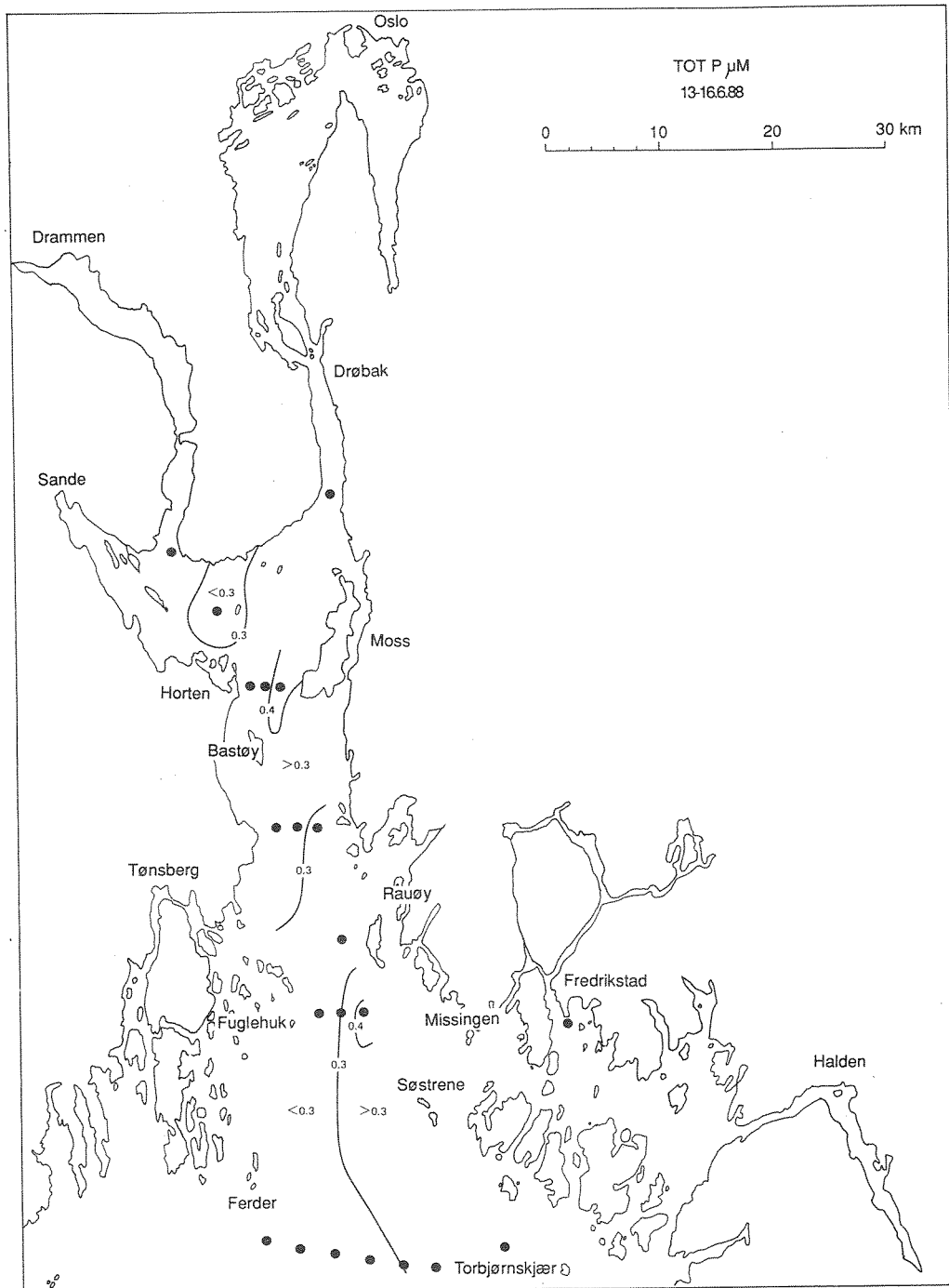
Figur 15 viser næringssaltsfordelingen i Ytre Oslofjord som gjennomsnitt av observasjoner på 0,5 og 10 meters dyp. Totalnitrogen og uorganisk nitrogen (DIN) viste omtrent samme gradient, med avtakende konsentrasjoner fra Breidangen og ut mot munningen av fjorden. Totalfosforkonsentrasjonen fulgte samme mønster, mens DIP - konsentrasjonen var størst i Drøbaksundet og Breidangen ut til Horten. Deretter økte DIP - konsentrasjonen igjen ved Torbjørnskjær (stasjon T2).

I store trekk økte således næringssaltkonsentrasjonene i overflatelaget fra Ytre Oslofjords munning til Drøbaksundet med de gjennomgående største konsentrasjonene i Breidangen, unntatt for ortofosfat og silikat hvor konsentrasjonen i Drøbaksundets overflate lag var omtrent like stor. Dette tyder på at nitrogentilførselen til området innenfor Horten skyldes tilførsler fra Drammensfjorden, mens silikat og fosfortilførselen hadde to kilder, Drammensfjorden og Indre Oslofjord. Imidlertid var stasjonsplasseringen ikke slik at influensen av brakkvann fra Hvalerområdet ble registrert.

Mens det ble observert store gradienter fra Drøbak til Færder, var gradientene på tvers av fjorden små.

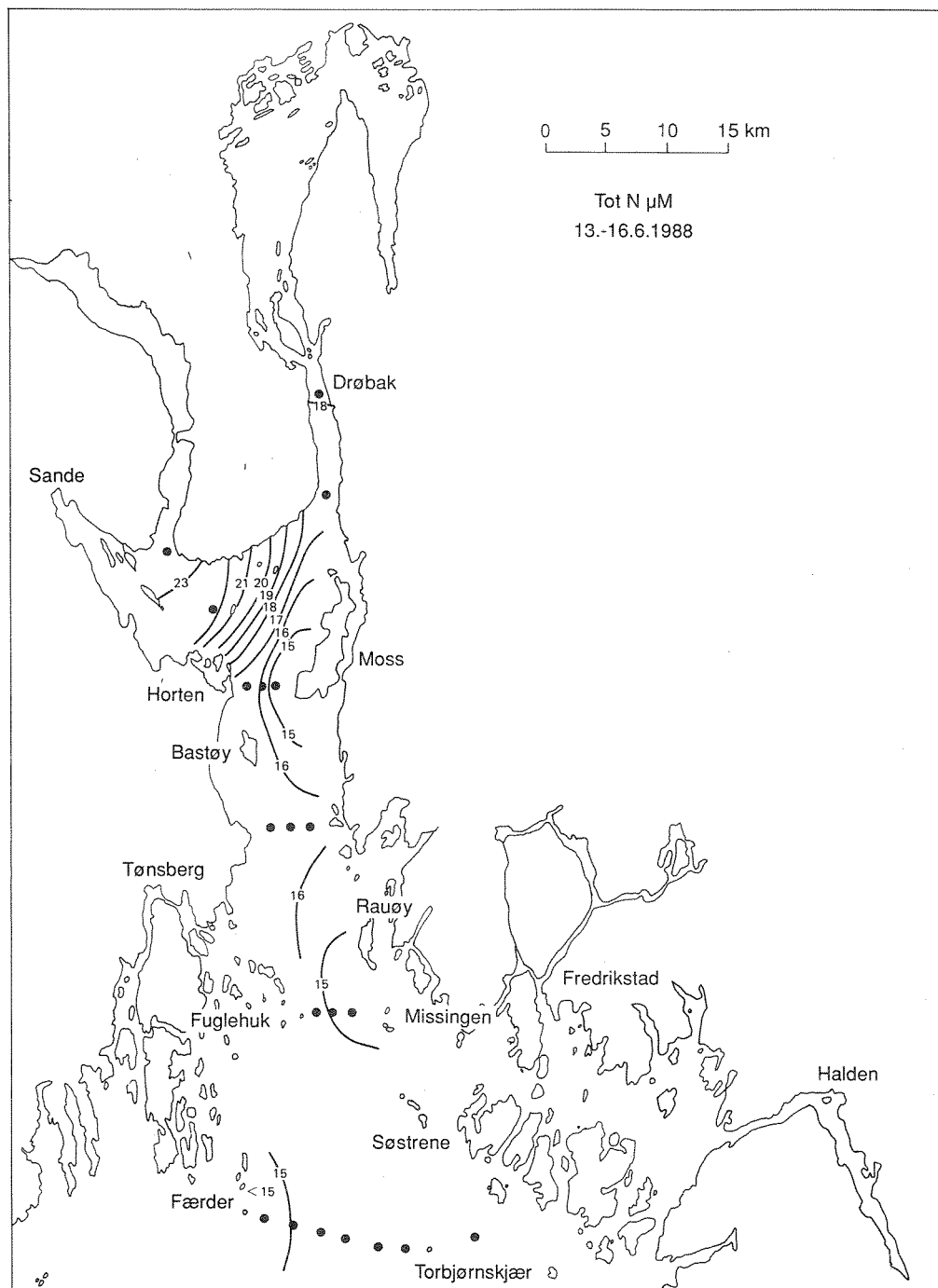


Figur 6. Overflatesaltholdigheten 13-16.6.1988. (Stiplede isolinjer er trukket ut fra kontinuerlige observasjoner fra fartøyet, samt satellittobservasjoner).

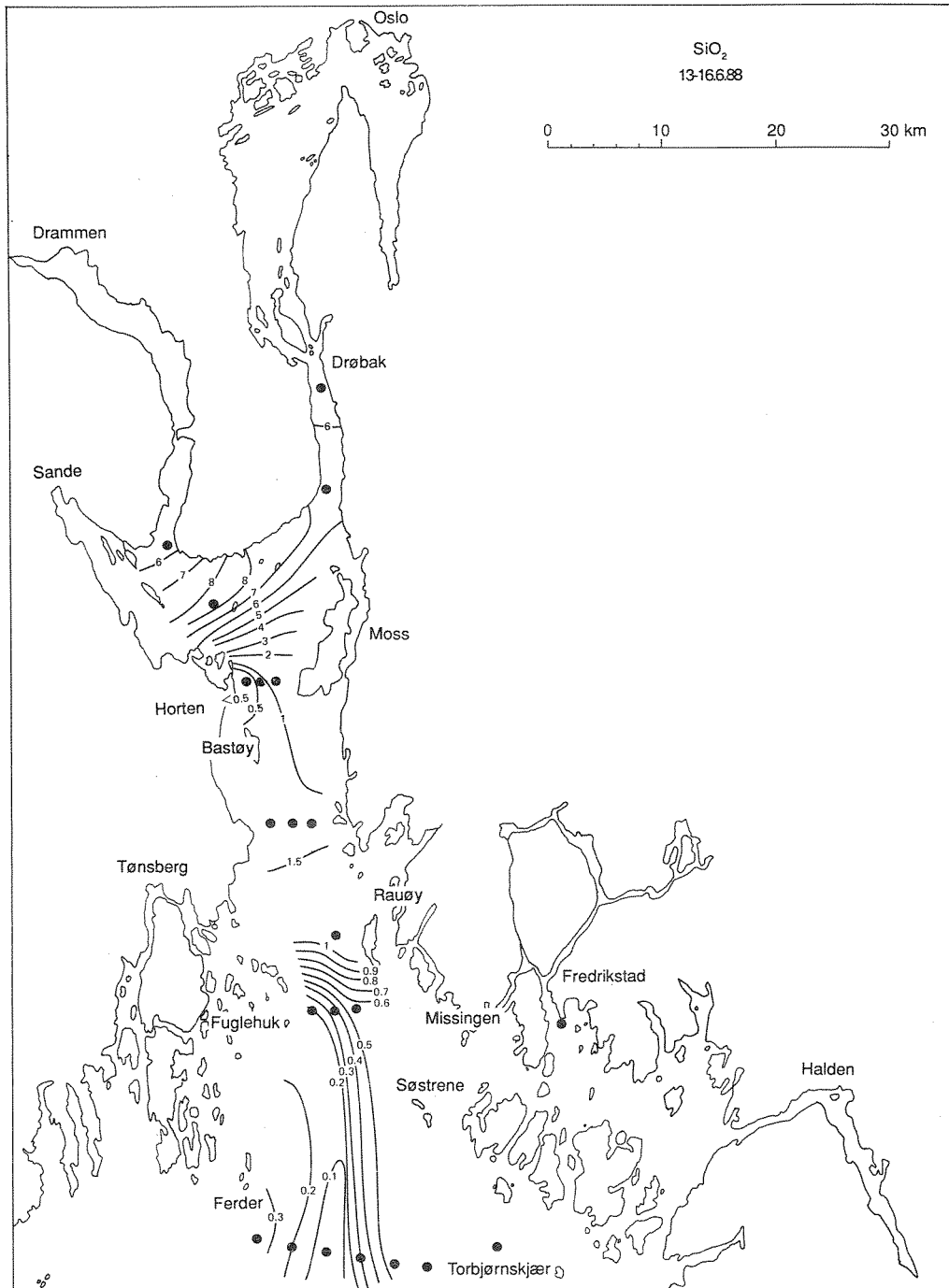


Figur 7. Totalfosforkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) i overflaten i juni 1988.

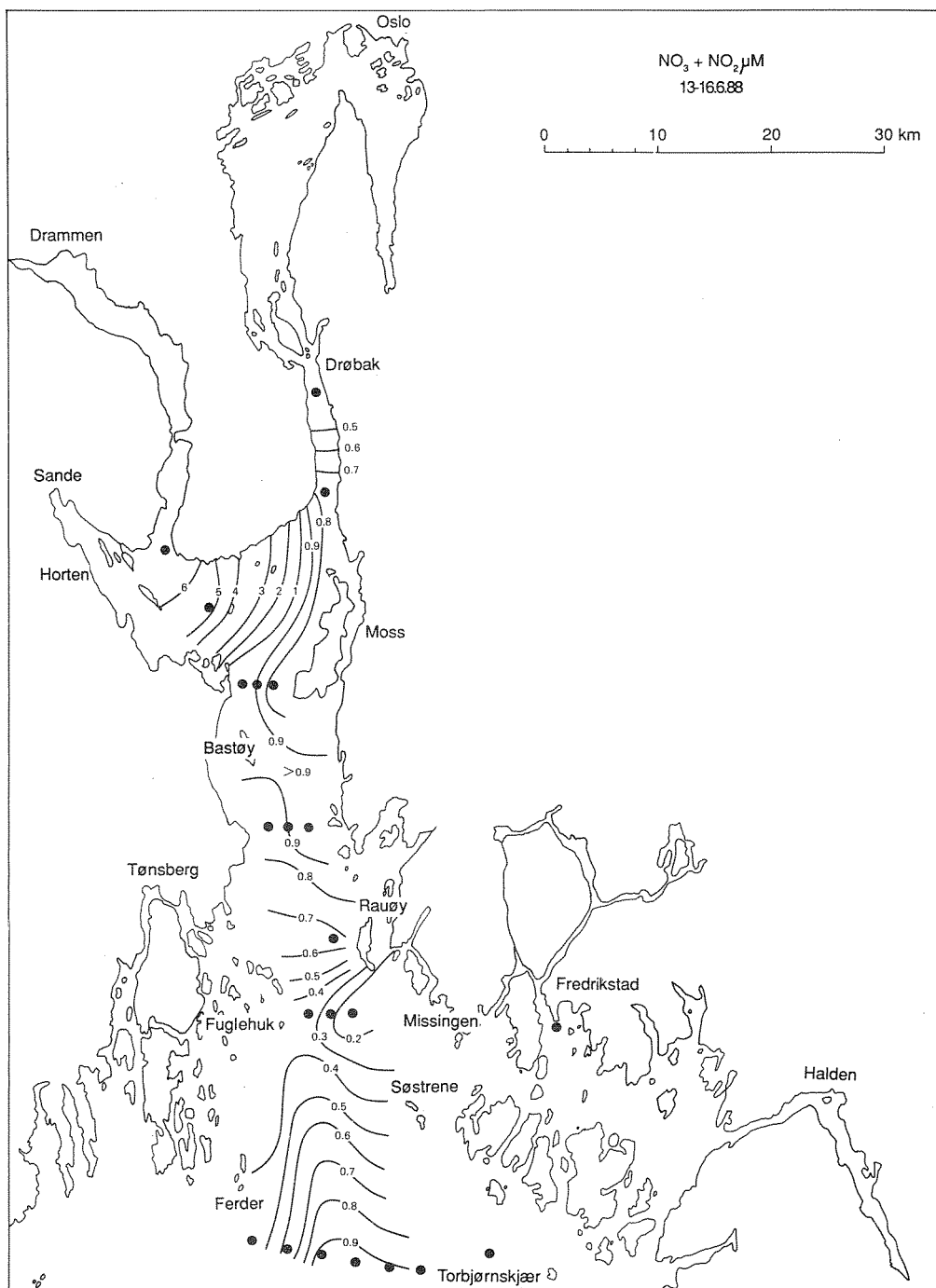




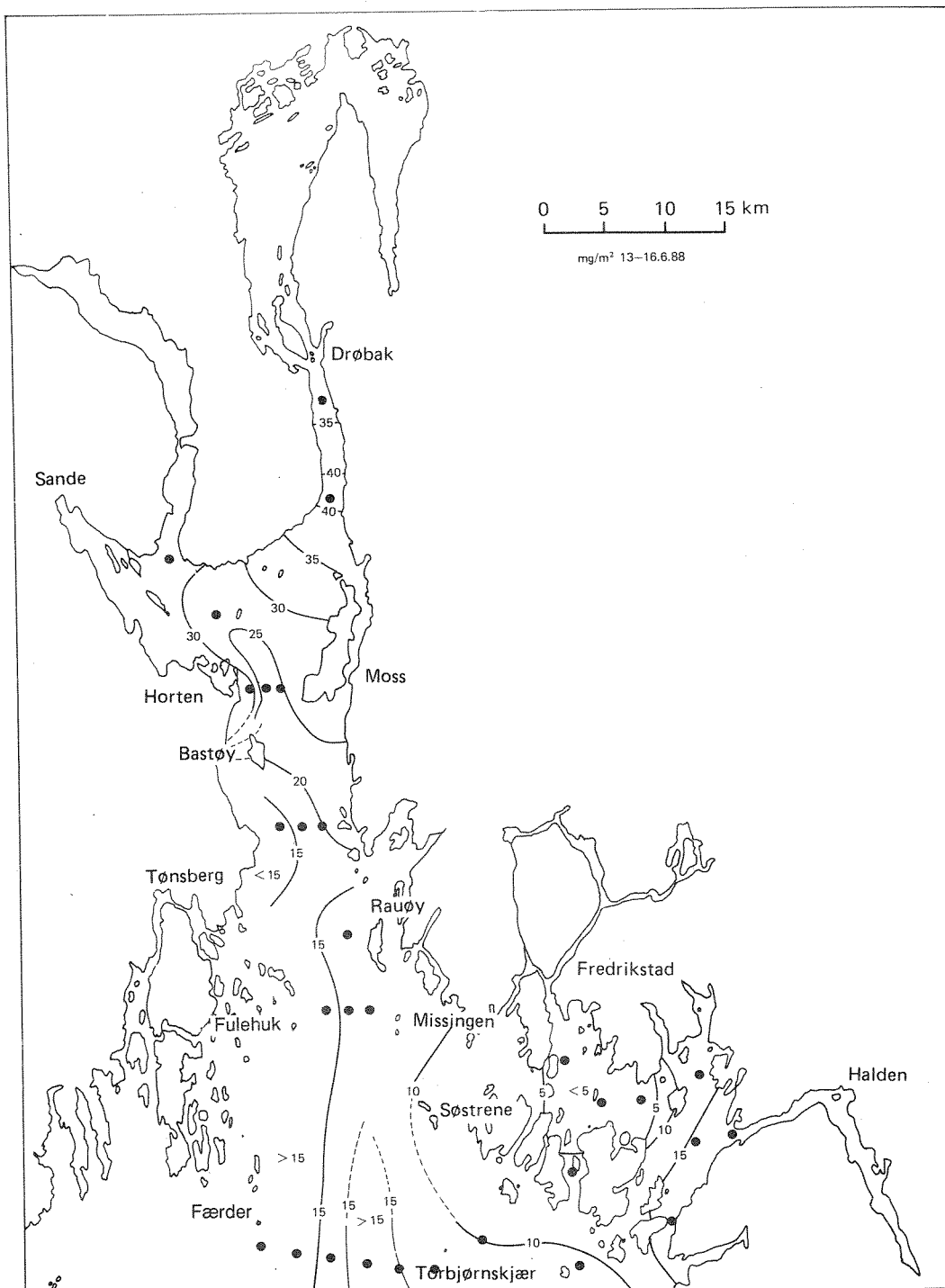
Figur 8. Totalnitrogenkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) i overflaten i juni 1988.



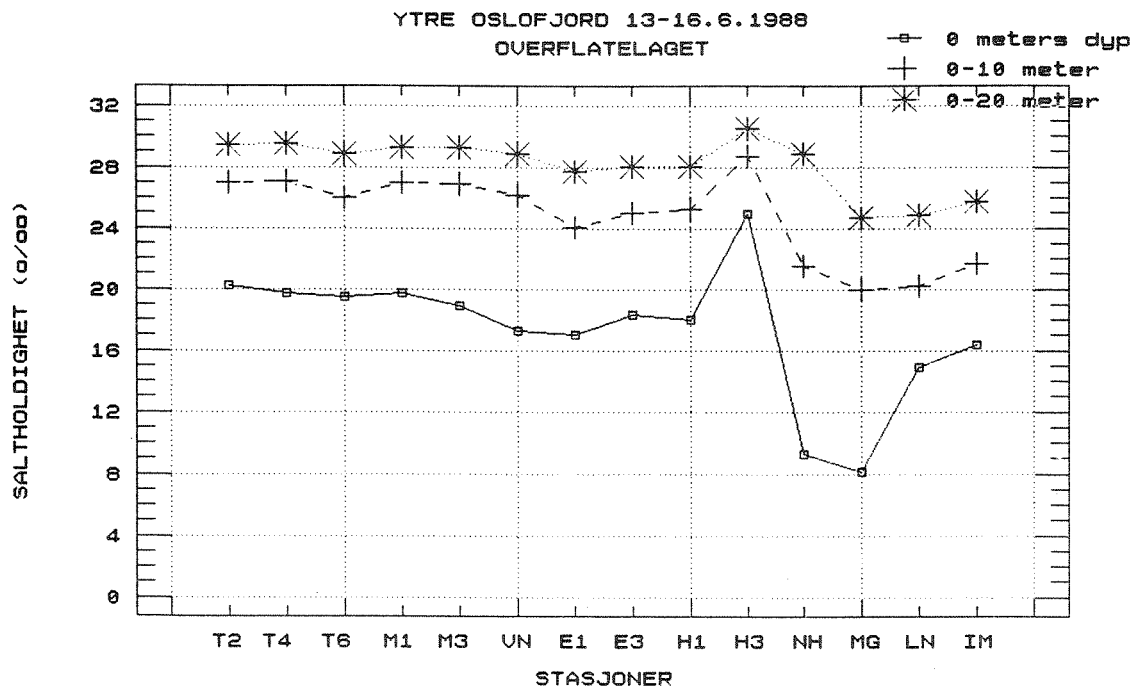
Figur 9. Silikatkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) i overflaten i juni 1988.



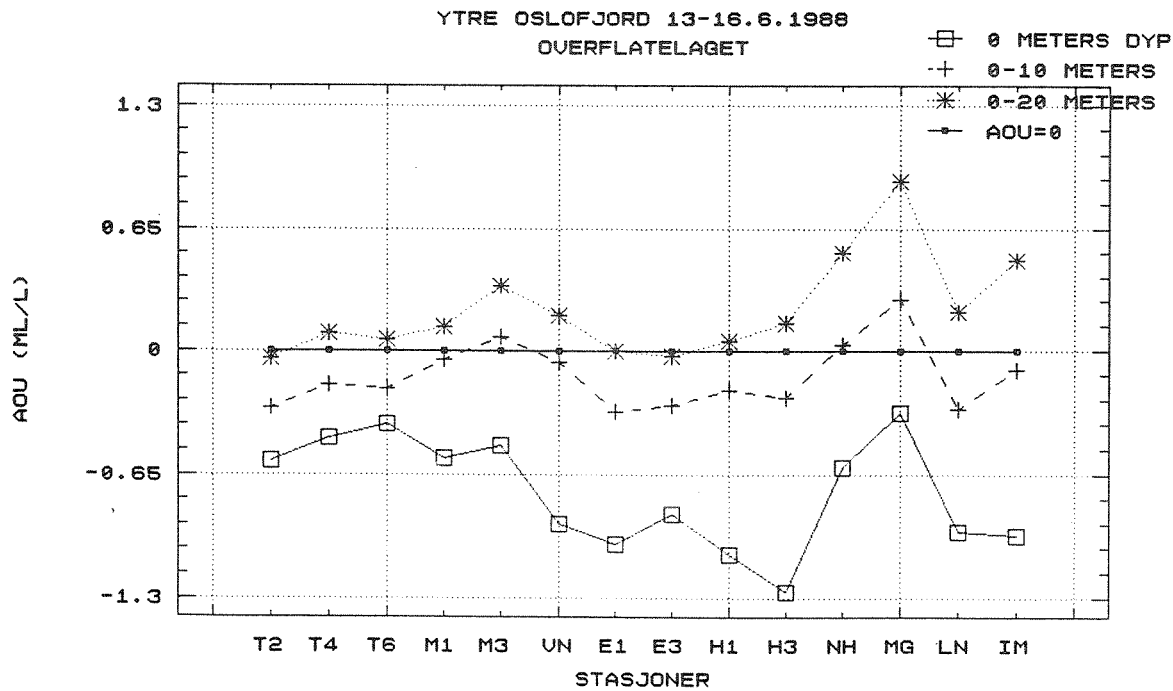
Figur 10. Nitrat(+nitritt)-konsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) i overflaten i juni 1988.



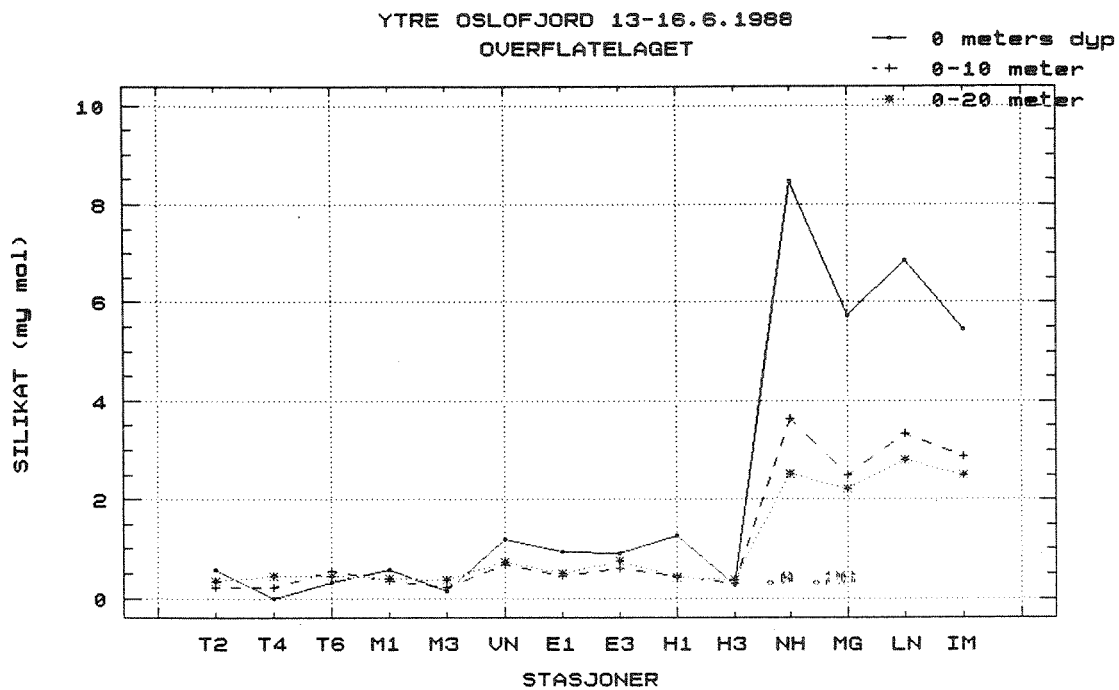
Figur 11. Klorofyll-a (mg/m<sup>2</sup>) integrert fra 0 til 50 meters dyp i juni 1988.



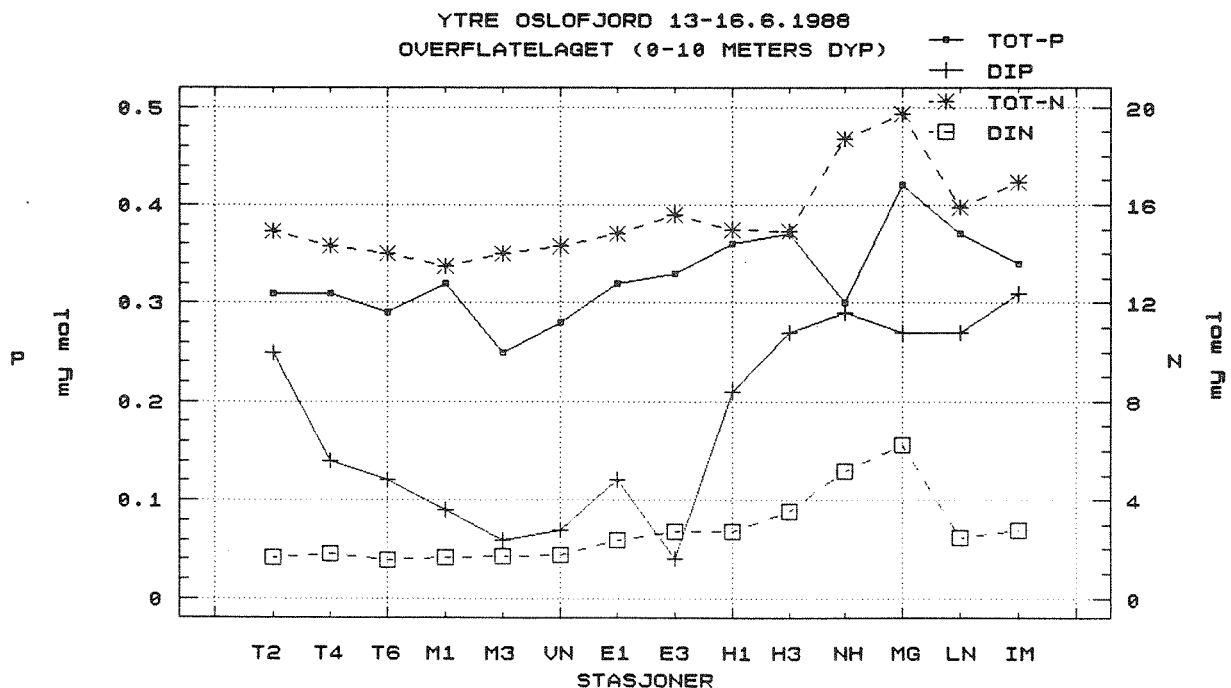
Figur 12. Overflate lagets saltholdighet (‰/‰) i juni 1988.



Figur 13. Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU ml/l) i juni 1988.  
(Negative tall = undermetning).



Figur 14. Overflatelagets silikatkonsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i juni 1988.



Figur 15. Overflatelagets nærings盐konsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) som gjennomsnitt av observasjoner fra 0-10 meters dyp i juni 1988.

Tabell 1 viser en sammenstilling av gjennomsnittlige konsentrasjoner i overflatelaget (0-10 meters dyp).

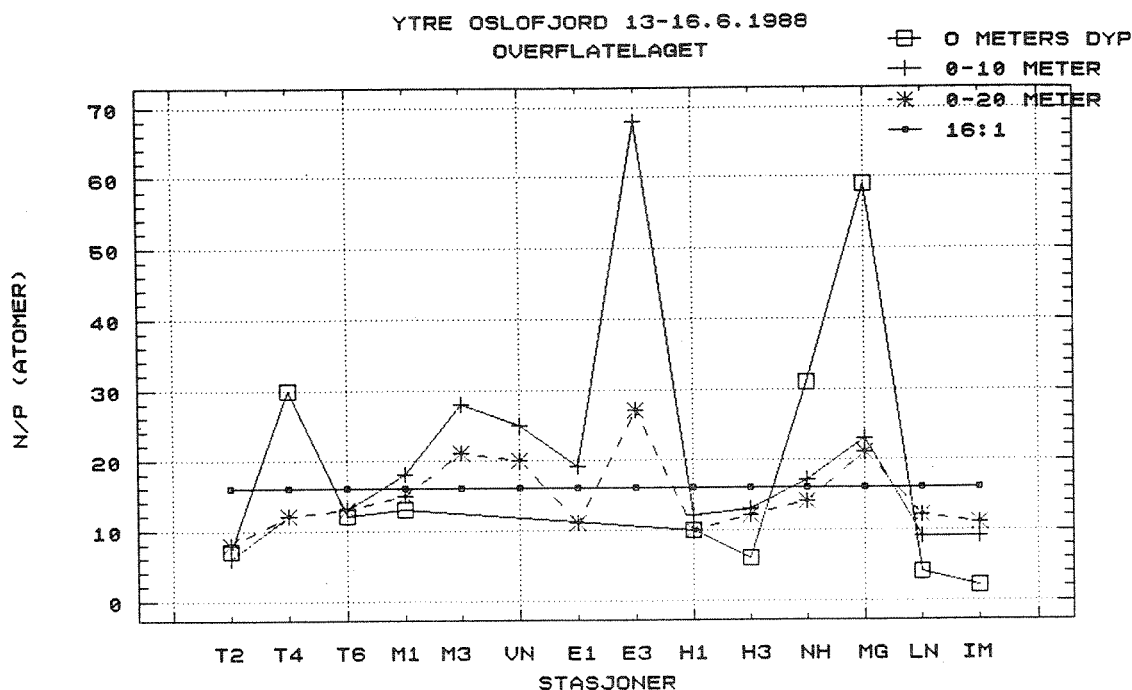
### 3.2.3. Begrensende nærings salt i juni 1988.

I tabell 1 er det også beregnet N/P-forhold (atomvekt). Figur 16 viser Uorganisk N/P-forhold (DIN/DIP) i fjordens overflatelag fra Drøbaksundet til Færder. Uorganisk N/P-forhold (DIN/DIP) skulle kunne vise potensiell næringsbegrensning for algeveksten. Optimal vekst vil kreve et N/P-forhold nær 16:1. N/P-forhold over 20:1 kan anses for fosforbegrensende og N/P-forhold lavere enn 11:1 for nitrogenbegrensende. Paasche og Erga (1988) antok at konsentrasjoner av DIN og DIP under  $1\ \mu\text{M}$  respektive  $0.1\ \mu\text{M}$  kunne gi næringsbegrensning. Ut fra N/P-forholdet i tabell 1 forelå potensiell nitrogenbegrensning på to snitt - ytterst i fjorden og i Drøbaksundet. Mulig P-begrensning ble registrert fra Missingen til Slagentangen og i Breidangen. Ut fra konsentrasjonen av  $\text{PO}_4\text{-P}$  (DIP) var det mulig P-begrenset algevekst i området fra Missingen til Bastø.

I tillegg til DIN og DIP vil også organisk bundne nærings salter kunne være tilgjengelig for fortsatt plantep planktonvekst. Total nitrogen og totalfosfor gir det som er potensielt mulig for vekst, dvs. hvis disse forbindelser kan nedbrytes. Her ligger N/P-forholdet betydelig høyere med ett gjennomsnitt på 47:1 mot et gjennomsnitt på 19:1 for uorg N/P. Det er ikke grunnlag for å si noe mer utfyllende om næringsbegrensning ut fra det innsamlede materialet enn at det var tilstrekkelig fosfor og nitrogen i overflatelaget for fortsatt produksjon i store deler av Ytre Oslofjord, men at enkelte områder kunne være/bli fosforbegrensende.

Silikatkonsentrasjonen var mindre enn ca.  $1\ \mu\text{M}$  i hele fjorden unntatt Breidangen/Drøbaksundet. Det var kun i det sistnevnte området at det var grunnlag for diatomeer, for øvrig var silikatnivåene for lave. Dette kan være årsaken til at den giftige algen Chrysochromulina polylepsis ikke kom lengre inn i Ytre Oslofjord enn Gullholmen i slutten av mai og begynnelsen av juni. Store konsentrasjoner av Skeletonema ble observert i overflatelaget i Breidangen (K.Sørensen pers.medd.). Chrysochromulina ble observert på ca. 15 meters dyp i Ytre Oslofjord. Diatomeeoppblomstringen i overflaten resulterte trolig i dårlige lysforhold for den dypere liggende Chrysochromulina, og fortsatt vekst ble hemmet.

Ut fra observasjonene av nærings salter i fjordens overflatelag i juni er det ikke mulig å fastslå om et nærings salt var begrensende. Derimot har tilførselen av silikat vært avgjørende for fordelingen av diatomeer i området. En nøyere analyse av problemet begrensende nærings salt i Ytre Oslofjord er rapportert av Paasche (1989, se vedlegg).



Figur 16. Forholdet av DIN/DIP (atomer) i overflatelaget i juni 1988.

Tabell 1. Gjennomsnittlige konsentrasjoner i overflatelaget (0-10 meters dyp) 13 - 16.6.1988 (n=40).

STASJONER	S ‰	PO <sub>4</sub> -P μM	Tot-P μM	Uorg-N μM	Tot-N μM	Si μM	Tot-(N/P)	Uorg-(N/P)
T2,T4,T6	26.7	0.17	0.31	1.67	14.4	0.32	48	12
M1,M3,Vn1	26.7	0.08	0.29	1.73	13.6	0.42	49	19
E1,E3	24.8	0.08	0.33	2.57	15.3	0.54	49	45
H1,H3	27.0	0.24	0.37	3.14	15.0	0.38	41	13
Nh1,Mg1	20.7	0.29	0.36	5.72	19.2	3.1	56	25
Ln1,Im2	20.9	0.29	0.36	2.64	16.4	3.1	46	8
Gj.snitt	24.8	0.18	0.33	2.74	15.4	1.17	48	18
St.av.	6.7	0.12	0.08	1.96	2.41	1.9	11	19



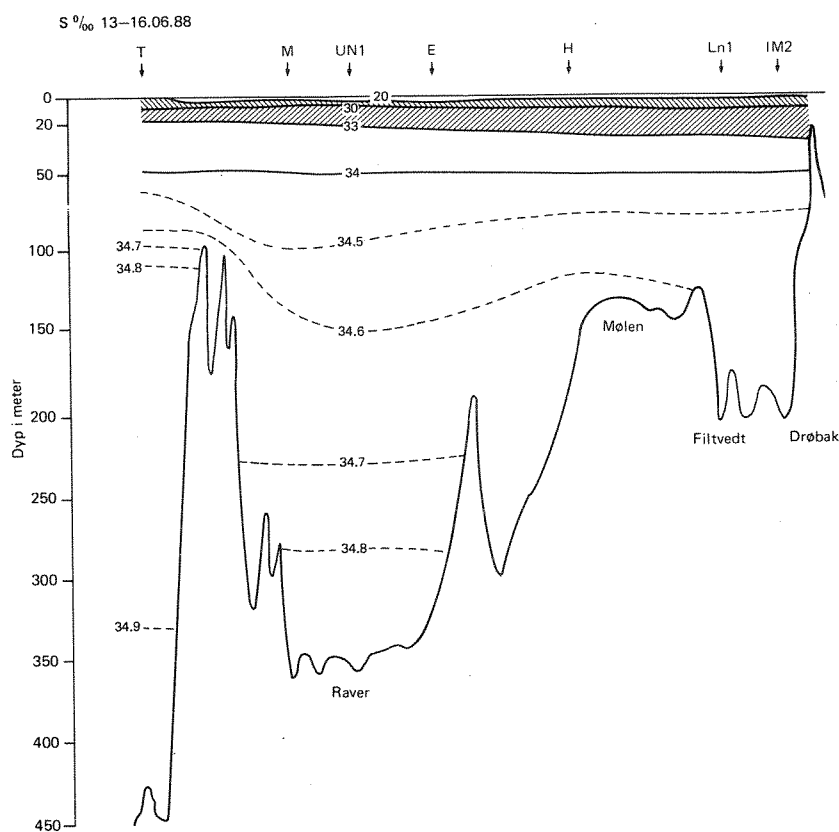
### 3.2.4. Hydrokjemiske observasjoner i dypvannet.

Juniobservasjonene ble tatt etter en større dypvannsfornyelse i Ytre Oslofjord (Magnusson 1990). Det er trolig at dypvannsfornyelsen var mest effektiv ned til 250 - 300 meters dyp. Fortsatt viser salt-holdighetsfordelingen innstrømmende vann over terskelen syd for Rauøy-bassenget (figur 17). Oksygenkonsentrasjonen var høy i hele fjorden- over 5 ml/l, unntatt på 400 meters dyp ved Torbjørnskjær, 300 meters dyp ved Rauøy og 150-200 meters dyp ved Mølen. Ved Mølen var tettheten på dypvannet større på 150-200 meters dyp enn på tilsvarende dyp i andre deler av fjorden. Her var også oksygenkonsentrasjonen lavere, trolig som følge av lengre oppholdstid på dette vannet.

Et oksygenminimumslag, som også er påvirket av det innstrømmende vannet fra Skagerrak, lå på ca. 50 meters dyp fra Missingen og nord- over (figur 18). Dette laget vokste til å omfatte hele vannmassen i Drøbaksundet. Oksygenkonsentrasjonen var dog gjennomgående høy (>5.0 ml/l).

Figur 19 viser tilsynelatende oksygenforbruk (AOU = apparent oxygen utilization) i Ytre Oslofjord. AOU er forskjellen mellom oksygen- konsentrasjon ved oksygenmetning (100 %) og observert oksygenkensen- trasjon. Er det nedbrytning av planteplankton som er årsaken til oksygenreduksjonen, vil mineraliseringen skje i forholdene O:C:N:P = 276:106:16:1 (Redfield et. al. 1963). Redfieldforholdet (276:106:16:1) kan brukes for å studere mineralisering i stagnante vannmasser. Avvik kan forklares med f. eks. tilførsel av ikke plantonisk materiale eller denitrifisering når vannmassene er stagnante (Stigebrandt og Aure 1988). Tolkningen av AOU er ikke helt enkel ettersom antakelsen at vannet kun avgir oksygen ved mineralisering ikke alltid gjelder. Blandning av vannmasser med ulik forhistorie og vannutskiftninger kompliserer tolkningen.

Juniobservasjonene viser at oksygenforbruket var størst nær bunnen i Hvalerdypet, Rauøydypet og Mølendypet. I de frie vannmassene var det en klar gradient fra Torbjørnskjær til Drøbaksundet med større oksygenforbruk innerst i fjorden. Et lokalt maksimum på ca. 50 meters dyp ved Rauøy (Vn1) forsterkes i Breidangen og Drøbaksundet. På de sistnevnte stasjoner (Nh 1 og Im 2) var det også et maksimalt forbruk på 15-20 meters dyp.

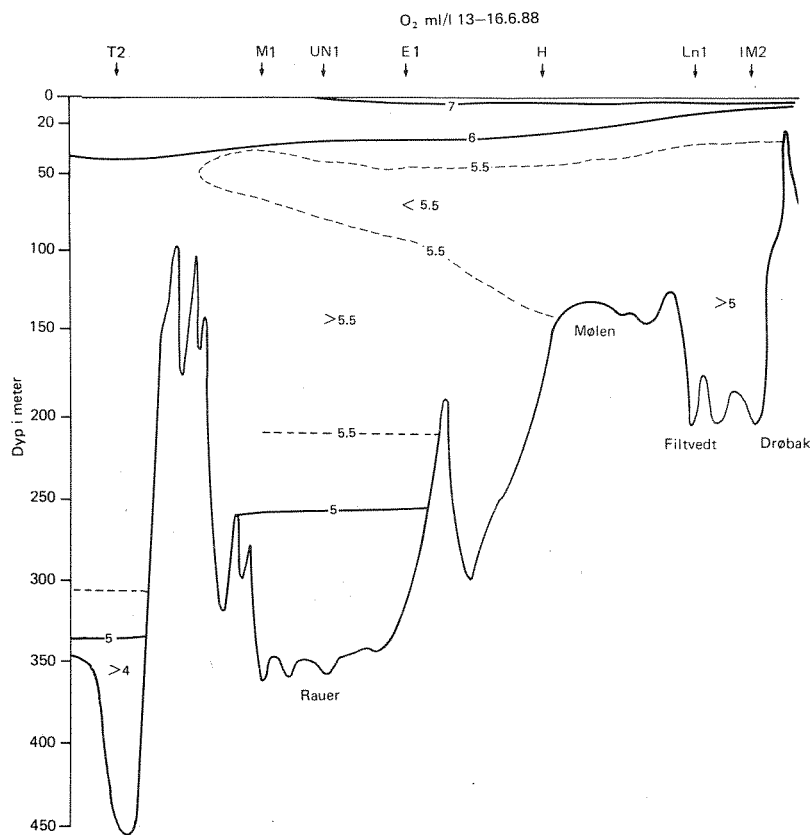


Figur 17. Saltholdighet (o/oo) i Ytre Oslofjord i juni 1988.

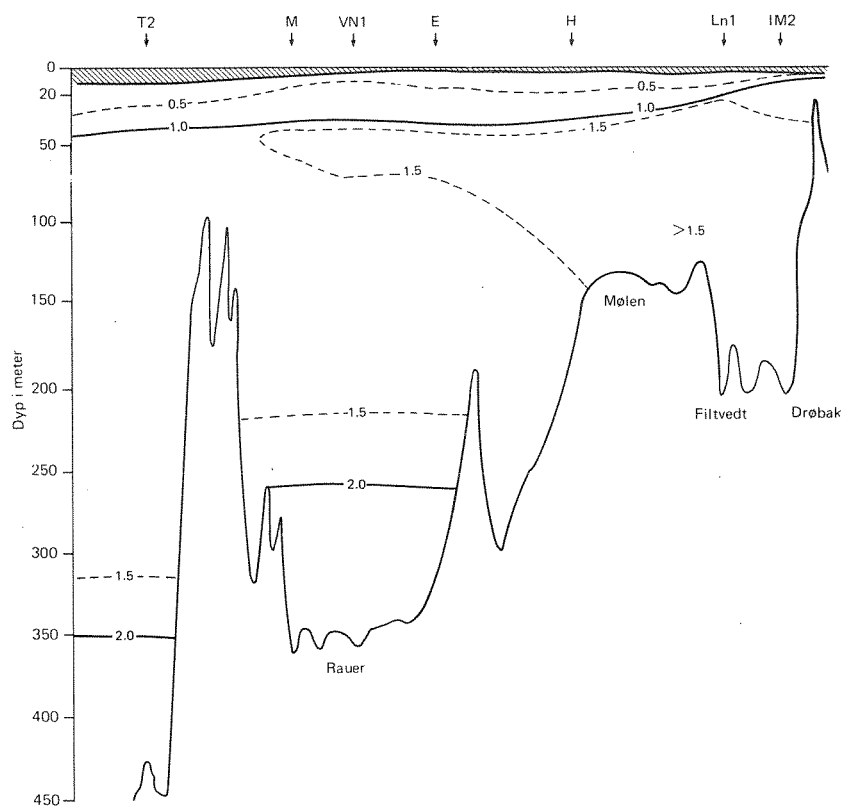
En "perfekt" nedbrytning av planteplankton skulle følge Redfield-forholdet ved at konsentrasjonen av ortofosfat skulle bli  $AOU/276$  og for nitrat  $AOU \cdot 16/276$  (forutsatt at all ammonium og nitritt er oksydert til nitrat). Observerte verdier av fosfat kan uttrykkes som:

$$PO_4 \text{ (obs)} = P(p) + P(\text{oks});$$

hvor  $P(p)$  er en bakgrunnskonsentrasjon og  $P(\text{oks})$  er ortofosfatkonsentrasjonen som tilsvarer verdien av  $AOU$ . Tilsvarende kan andre nærings-salter beskrives (Stigebrandt og Aure 1988).



Figur 18. Oksygen (ml/l) i Ytre Oslofjord i juni 1988.



Figur 19. Oksygenforbruket (AOU ml/l) i Ytre Oslofjord i juni 1988.

For Ytre Oslofjord har samtlige observasjoner av næringsalter blitt analysert mot AOU. Beregnede korrelasjonskoeffisienter er presentert i tabell 2.

Tabell 2. Korrelasjon mellom næringsalter og AOU i juni 1988 (20 meters dyp til bunn). R = korrelasjonskoeffisient, a og b er koeffisienter i regresjonsligningen.

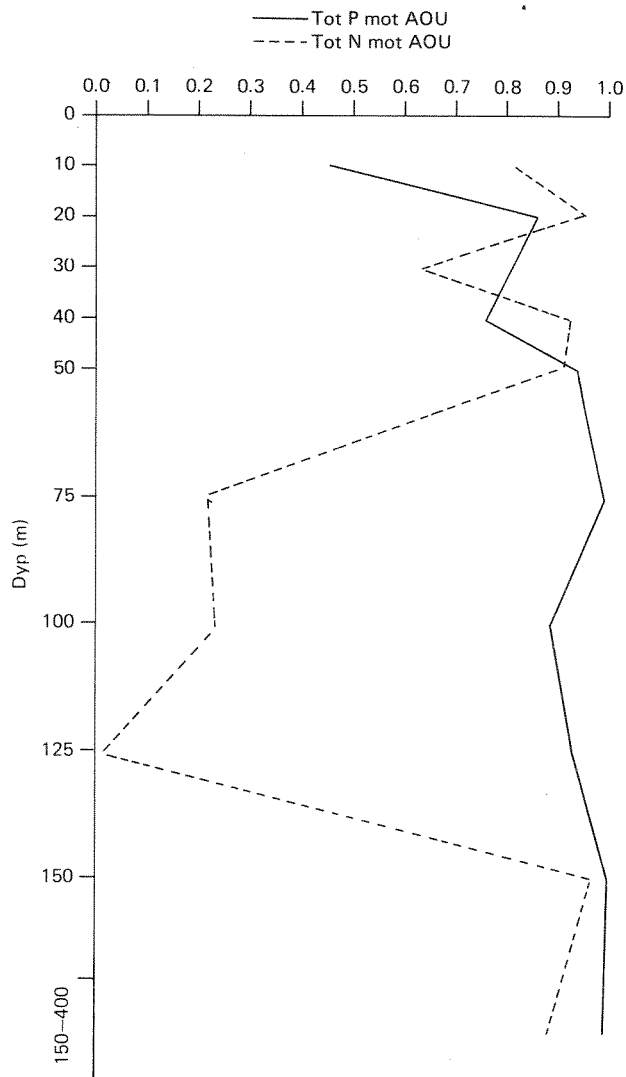
Parameter	R	R <sup>2</sup>	a	b	N
Tot-P	0.95	0.91	0.10	0.0059	68
Tot-N	0.83	0.69	12.9	0.0294	69
PO <sub>4</sub> -P	0.87	0.76	0.08	0.0063	59
DIN	0.82	0.73	2.57	0.0376	71
Silikat	0.84	0.70	-2.63	0.0496	72
Tot-(N/P)*		0.79	0.0188	0.0003	68

\* Tot-(N/P)=a+b/AOU

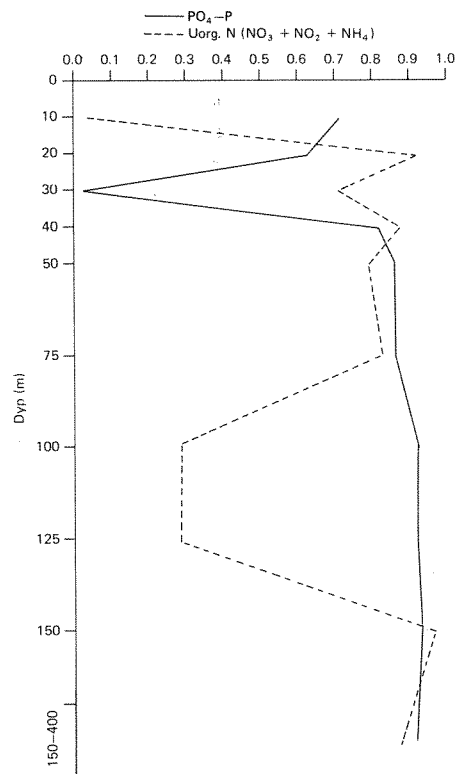
For hele materialet er det en god korrelasjon mellom næringsaltene og AOU, dvs AOU samvarierer med næringsaltkonsentrasjonene i dypvannet. Imidlertid er ikke samvariasjonen like god på samtlige dyp. For tot-P øker korrelasjonen med dypet (figur 20) og ligger over 0.9 fra ca.50 meters dyp. For tot-N var variasjonene med dypet meget større med bra samvariasjon mellom 10-20 meters dyp, 40-50 meters dyp og 150 meters dyp til bunn. Derimot er det dårlig samvariasjon på 75-125 meters dyp. Dette gjelder også for uorganisk nitrogen (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>+NH<sub>4</sub>-N) på 100-125 meters dyp (figur 21). Silikat (figur 22) følger i stort sett samme mønster som fosfor. For ortofosfat og silikat er korrelasjonen meget dårlig for et enkelt dyp (30 meter).

Koeffisientene i tabell 2 er multiplisert med 276 for å kunne sammenligne observerte forhold direkte med Redfieldforholdet. Si:N:P-forholdet blir 14:8:1.6. For uorganisk nitrogen i stedet for total-nitrogen blir forholdet: 14:10:1.7.

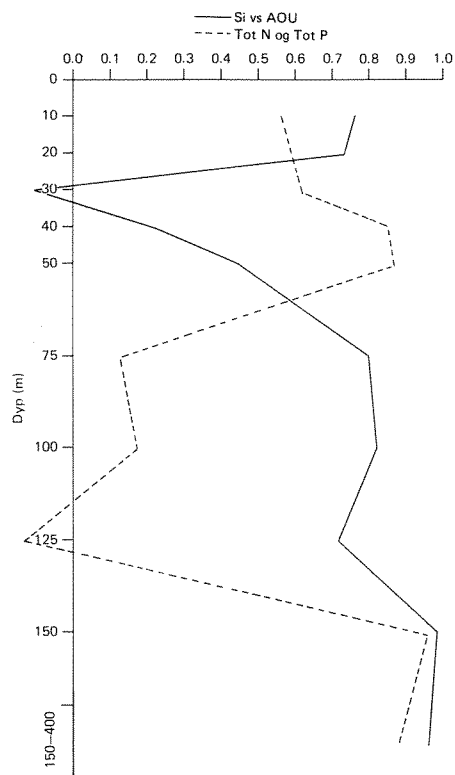
Silikat ligger nær Redfieldforholdet (106:15 mot her 106:14). For nitrogen ligger C/N-forholdet lavere 106:8-10 mot 106:16. Dette viser at det var en mindre konsentrasjon av nitrogen i Ytre Oslofjords dypere vann enn det burde ha vært ved en nedbrytning av planteplankton. For fosfor viser resultatene at konsentrasjonen er større enn forventet. Resultatene er omtrent de samme for uorganisk nitrogen/fosfor som for totalverdiene.



Figur 20. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for tot-P og tot-N mot AOU i Ytre Oslofjord i juni 1988.



Figur 21. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for PO<sub>4</sub>-P og DIN mot AOU i Ytre Oslofjord i juni 1988.



Figur 22. Korrelasjonskoeffisientens dypvariasjon for silikat mot AOU og tot-N mot tot-P i Ytre Oslofjord i juni 1988.

Konklusjonen fra samtlige kjemiobservasjoner under 20 meters dyp i juni 1988 blir at de dypere liggende vannmassene var blitt tilført mer fosfor enn det som nedbrytningen av planteplankton skulle tilsi, men mindre nitrogen. Derimot var silikatkonsentrasjonen "normal". Forutsatt at tilført karbon har marin opprinnelse var de lavere nitrogenkonsentrasjonene et tegn på denitrifikasjon. Ettersom oksygenkonsentrasjonen i fjordens vannmasser er langt over det nivået som kan starte denitrifikasjon ( $>1$  ml/l), må en denitrifikasjon sannsynligvis skje i sedimentet, hvor betingelsene foreligger med god tilgang på nitrat og organisk karbon samt anoksisk grenseflate (Abdullah og Danielsen 1989).

Fosforkonsentrasjonene i dypvannet er vanskeligere å forklare. Hvis oksygenforbruket i fjorden kun er avhengig av tilført mengde planteplankton, må fjorden tilføres fosfor fra andre kilder. Anomalien kan forklares ved utslipp fra treforedlingsindustri. N/P- forholdet i utslipp fra treforedlingsindustrien med fremstilling av sulfatmasse er ca. 11-12:1, men med et betydelig større oksygenforbruk enn hos planteplankton. Skulle denitrifikasjonen være lav i Ytre Oslofjorden ville utslippene fra treforedlingsindustrien kunne forklare anomalien.

Bakgrunnsverdier av tot-P og tot-N er ca. 0.10 resp. 12.9  $\mu\text{M}$ . For uorganisk nitrogen er de ca. 2.5  $\mu\text{M}$ . Dette gir meget høyt N/P-forhold for totalverdiene, ca. 125:1. For de uorganiske forbindelsene ligger N/P-forholdet på ca. 9:1. Det er således en overkonsentrasjone av organisk bundet nitrogen i de dypere vannmassene i Ytre Oslofjord i forhold til Redfieldforholdet (16:1), mens det er det motsatte for de løste forbindelser. Dette kan skyldes at nitrogenet tildels er bundet til forbindelser som er vanskelige å bryte ned, som f.eks. humus (se videre resultatet fra augusttoktet).

Tabell 3 viser en sammenstilling av resultatene.

Det er en forskjell mellom de ulike stasjonene (områdene) i Ytre Oslofjord. Ved den ytre stasjonen (T 2) er regresjonen fra 20 meters dyp til bunnen god, med  $R^2$  mellom 80-98 %. C:Si:N:P var 106:12:9.3:1.5 for tot-N, tot-P og 106:12:9.3:2.1 for uorganiske næringssalter. På de øvrige stasjonene lengre inn i fjorden er regresjonen ikke like god.

Tabell 3 Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp 13.-16.6.1988. ( - =  $R^2 < 65\%$ , ( ) =  $R^2$  fra 65-75, uten parentes =  $R^2 = 75-90$  og understreket  $R^2 > 90$ . a=tot-P og tot-N, b=uorg. P og N.

Dyp		Si	N	P
20 meter	a b	-	<u>13.9</u> 12.7	1.0 -
30 meter	a b	-	- -	(0.9) -
40 meter	a b	-	13.2 12.2	- (1.1)
50 meter	a b	- -	15.6 -	1.4 1.9
75 meter	a b	- -	- (13)	<u>1.9</u> <u>2.7</u>
100 meter	a b	- -	- -	1.1 2.6
125 meter	a b	- -	- -	1.0 2.4
150-400 m.	a b	<u>17.0</u>	4.5 5.4	<u>1.5</u> <u>1.3</u>

Følgende resultat for C:Si:N:P er beregnet:

	<u>Med tot-P og tot-N.</u>	<u>Med uorg. N og P.</u>
T 2:	106:12:9.3:1.5	106:12:9.3:2.1
Vn 1:	106:7.3:7.7:1.5	106:7.3:7.3:1.7
Nh 1	106:17.2:6.8:1.8	106:17.2:8.7:1.9
Im 2	få observasjoner	106:25.8:8.8:3.9

Statistisk (se tabell 4) sett blir analysen usikrere på stasjonene innenfor Torbjørnskjær (T 2). På Vn 1 er analysen kun signifikant for fosfor ( $R^2=77-83\%$ ), ved Nh 1 er  $R^2 = 75-87\%$ , og for Im er  $R^2 = 88\%$ . Likevel framtrer et mønster med økende konsentrasjoner av fosfor og silikat i Breidangen og Drøbaksundet mens det synes som om det er avtakende konsentrasjoner av nitrogen fra T 2 til Nh 1 for total nitrogen. De uorganiske nitrogenforbindelsene viser ikke noen egentlig tendens.



Tabell 4. Analyse av oksygenforbruk på stasjonene T 2, Vn 1, Nh 1 og Im 2 juni 1988 (20 meters dyp til bunn)  $Y = a+b \cdot \text{AOU}$ .

Sta/Param.	a	b	R <sup>2</sup>	Sta/	a	b	R <sup>2</sup>
T 2 / Tot-P	0.19	0.005	98	Nh 1	-0.06	0.006	87
/ PO <sub>4</sub>	0.18	0.007	96		0.04	0.007	75
Tot-N	12.9	0.033	90		13.3	0.024	55
DIN	2.65	0.033	85		3.7	0.031	65
Si	-2.09	0.042	81		-4.32	0.062	60
Vn 1 /Tot-P	0.18	0.005	83	Im 2	-0.35	0.000	67
PO <sub>4</sub>	0.01	0.006	77		-1.19	0.014	88
Tot-N	13.1	0.028	48		15.4	0.019	78
DIN	3.64	0.026	57		3.11	0.031	55
Si	-0.94	0.026	36		-8.5	0.093	65

Analysen av næringssalter i Ytre Oslofjords dypvann juni 1988 har således vist en akkumulasjon av fosfor og silikat fra munningen og innover fjorden, spesielt i området Breidangen og Drøbaksundet, sammenlignet med oksygenforbruket (AOU) i vannmassene. Derimot avtok totalnitrogenkonsentrasjonen, mens det ikke var noen signifikant forandring av uorganiske nitrogenforbindelser. Analysen viser videre at dypvannet hadde større fosforkonsentrasjoner enn det en nedbrytning av planteplankton skulle tilsi, men lavere nitrogenkonsentrasjoner. Endelig er det vist en overkonsentrasjon i dypvannet av organisk bundet nitrogen, sammenlignet med Redfieldforholdet.

Anomaliene lar seg ikke forklare med sikkerhet. De mest sannsynlige faktorene som ligger bak dem, er tilførsel av organisk materiale (f.eks. fra treforedlingsindustri) som gir høyere fosforkonsentrasjoner sammenlignet med oksygenforbruket og Redfieldforholdet. Denitrifikasjonsprosesser kan forklare de lavere nitrogenkonsentrasjonene. En betydelig mengde vanskelig nedbrytbart organisk bundet nitrogen kan forklares med at det er bundet til humus (tilførsel av humus til dypvannet kan også skyldes utslipp fra treforedlingsindustri). Avvikene fra Redfieldforholdet gjør seg mest gjeldende i de indre deler av Ytre Oslofjord, som Breidangen og Drøbaksundet.

### 3.3 Observasjoner den 1-5.8.1988.

#### 3.3.1 Meteorologiske og hydrologiske forhold.

Luftrykket var kraftig stigende i slutten av juli etter en lavtrykkspassasje. Vannstanden i Oslofjorden steg under lavtrykkspassasjen, men sank kraftig de siste dagene i juli og frem til den 3.8. Den 4-5.8 var vannstanden svakt stigende. Vindene var vekslende mellom nord og sør, med vinder fra sørvest den 1.8, fra nord den 2.8 sakte dreierende over til SV den 3 og 4.8. Den 5.8 var vinden nordvest. Således hadde vinden etter en sterk sørvestlig kuling før toktet avtatt og i perioder vekslet den over til nord.

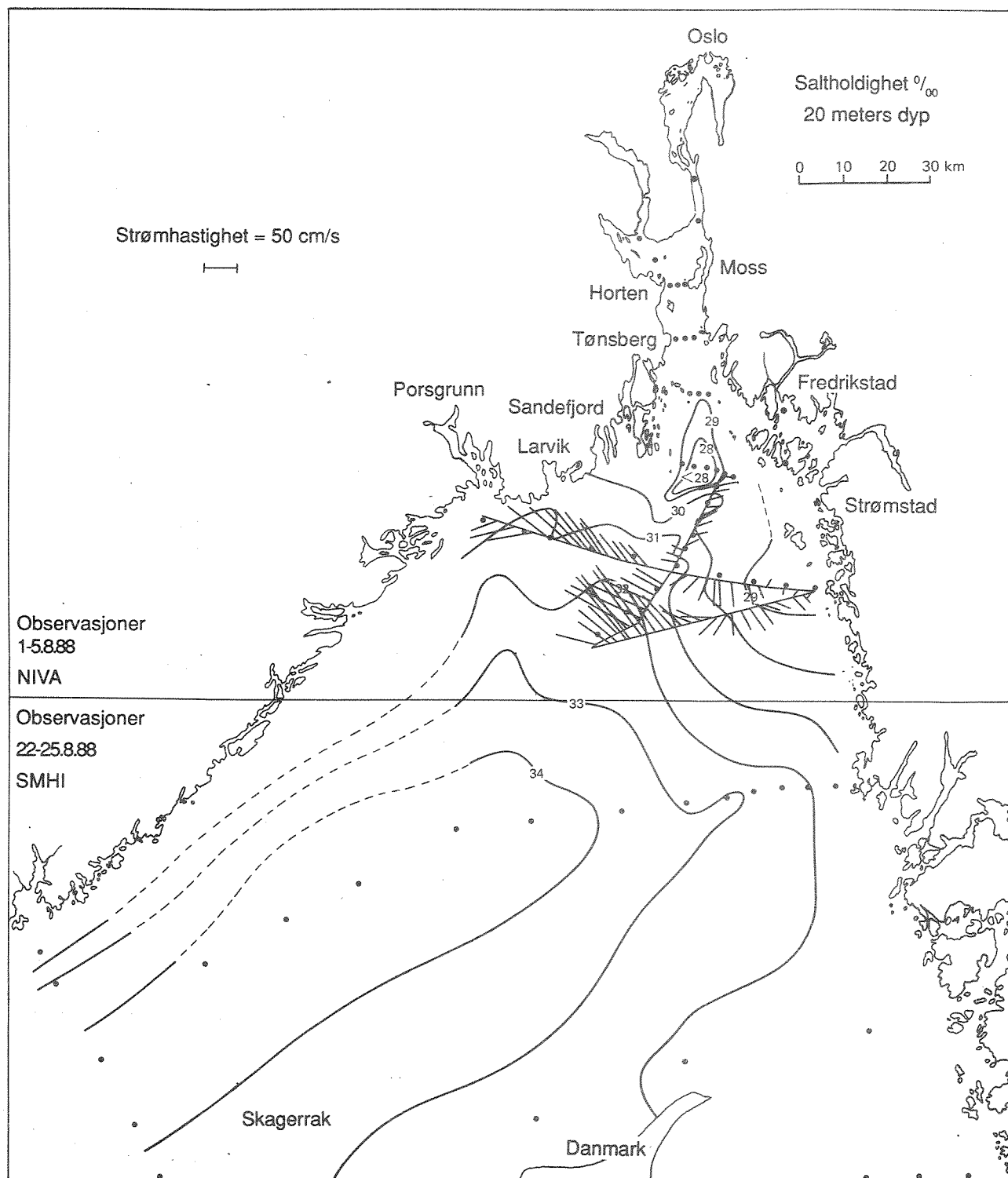
Vannstanden i Østersjøen var stigende i slutten av juli frem til den 3.8.

Med stigende vannstand i Østersjøen skulle den Baltiske strøm bli svekket. Synkende vannstand i Oslofjorden tilsier en utstrømning av vann fra området. Etter en periode med sterke sørvestlige vinder skulle samtlige ytre faktorer ligge til rette for en utstrømning av vann fra Ytre Oslofjord til Skagerrak.

Strømmålinger på 5 meters dyp ved Missingene viste også en sterk utgående strøm i perioden. Ved Grisebådene var strømmen nordvestlig den 1.8 men dreide mot sørvest på kvelden og var den 2-3.8 pendlende mellom sørvest og nordost med overgang til sydlige strømmer den 3-4.8 (10 meters dyp). På 20 og 30 meters dyp var strømmen sørlig.

Vannføringen i Drammenselva og Glomma var ca. 400 respektive 800 m<sup>3</sup>/s og i slutfasen av en sommerflomtopp.

Strømmene i Skagerrak den 2-3.8 ble observert med ADCP og fremgår av figur 23 (etter Hackett og Dahl 1989). Hovedstrømmen kommer fra sør og går mot Frierfjordområdet, hvor den snur mot sør/vest. I munningen av Oslofjorden går strømmen mot øst og ved svenskekysten mot sør.



Figur 23. Strøm (observert med ADCP) og saltholdighet på 20 meters dyp i Skagerrak og Ytre Oslofjord den 2-5.8 kombinert med saltholdighetsobservasjoner på 20 meters dyp den 22-25.8.1988 (SMHI).

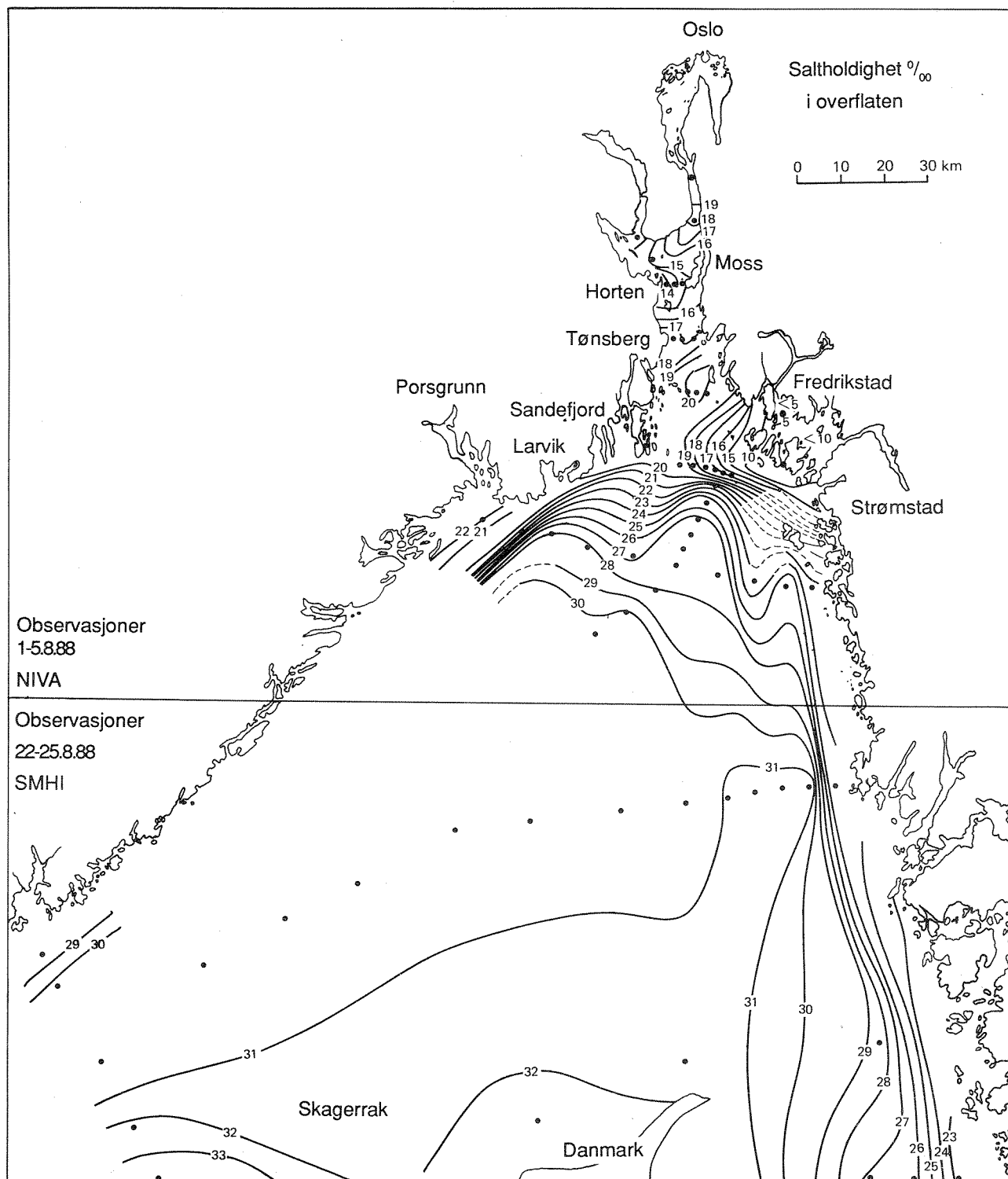
### 3.3.2. Overflateobservasjoner i Skagerrak/Ytre Oslofjord.

I det følgende er det brukt data fra Ytre Oslofjord den 1-5.8 og fra Skagerrak den 1-3.8 samt den 22-25.8 (data fra Sveriges meteorologiska og hydrologiska institut, SMHI). I samtlige figurer hvor SMHI's observasjoner er kombinert med toktet i begynnelsen av august er dette markert med et strek over figuren. Observasjonene kan ikke behandles som synoptiske med et avstand i tid på vel 14 døgn, men de er tatt med fordi de allikevel antas å illustrere forskjeller mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak.

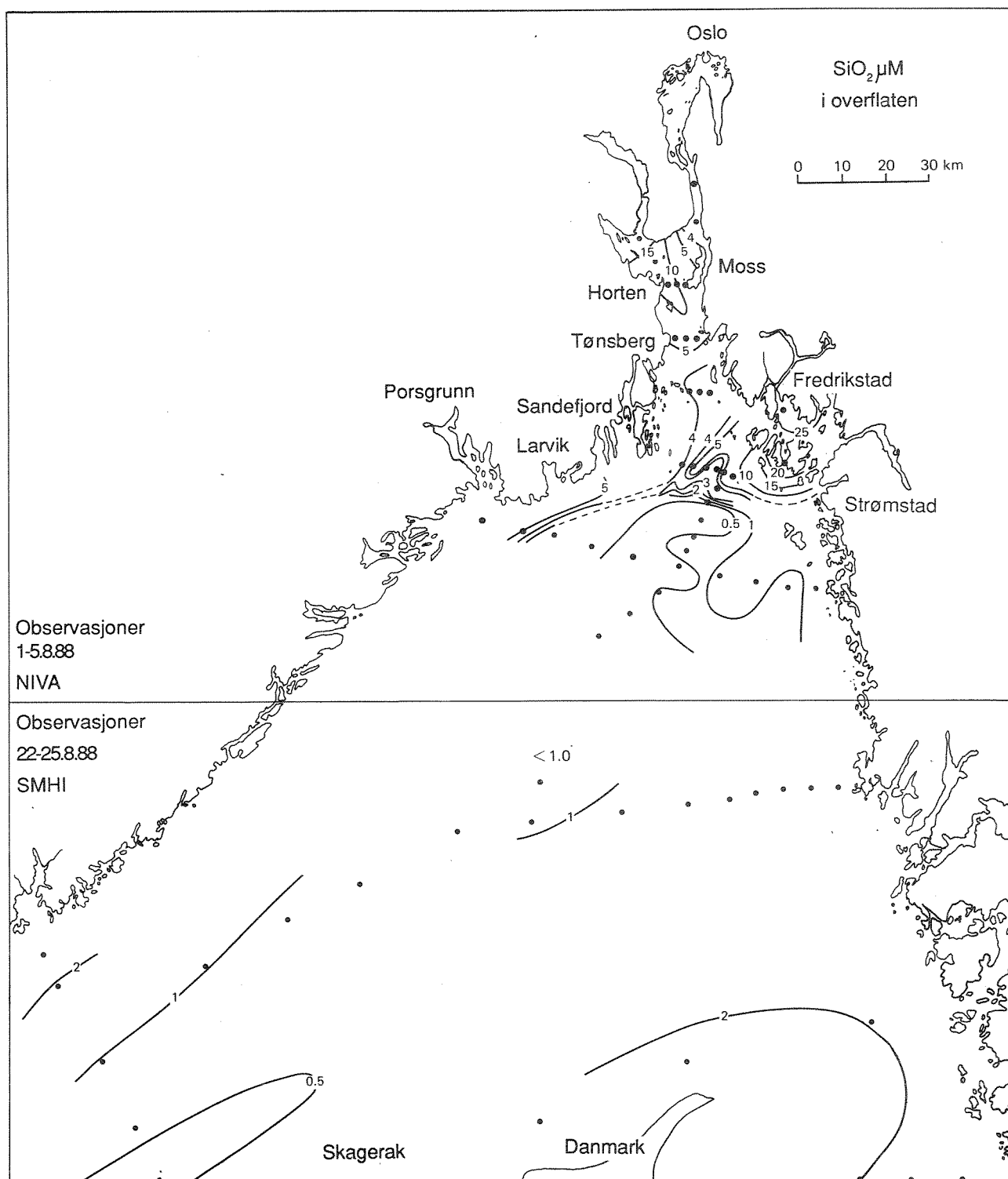
Saltholdigheten i overflaten viser at brakkvann fra Hvalerområdet strømmet sørover langs svenskekysten (figur 24). Også på 20 meters dyp (figur 23) var saltholdigheten i det nordøstlige hjørnet av Skagerrak lavere. På figuren er også innlagt strømobservasjonene på samme dyp (etter Hackett og Dahl 1989). Figuren viser at brakkvann ble trukket sørover i en bakevje i Kosterområdet og på grunnbankene utenfor. Videre viser figuren at vann med høyere saltholdighet strømmet inn mot Hvaler fra sørvest. Hovedstrømmen ("Skagerraksnurran") fulgte dypdekoten på ca. 200 meters dyp. Dette er i overensstemmelse med observasjonen til Rodhe (1987), hvor han observerte at hovedstransporten ofte lå over dypdekotene 100-200 meters dyp (se figur 4).

Det var lavere saltholdighet i Kattegat N og høyere saltholdighet utenfor nordkysten til Danmark. Det var omtrent samme forhold på 20 meters dyp, men her fulgte saltholdigheten nesten helt dypdekotene i Skagerrak, med høyeste saltholdighet over Norskerennen. Silikatkonsentrasjonen i overflaten (figur 25) fulgte saltholdigheten i Ytre Oslofjord, dvs. lav saltholdighet ved høye silikatkonsentrasjoner. Silikatildene var elvene Drammenselva og Glomma. Glommas influens kan spores langs svenskekysten utenfor Koster. Det var tilstrekkelig med silikat for oppblomstring av diatomeer i Ytre Oslofjord, men i Skagerrak var konsentrasjonen lav. Litt høyere silikatverdier ble observert ved norskekysten og langs nordkysten av Danmark.

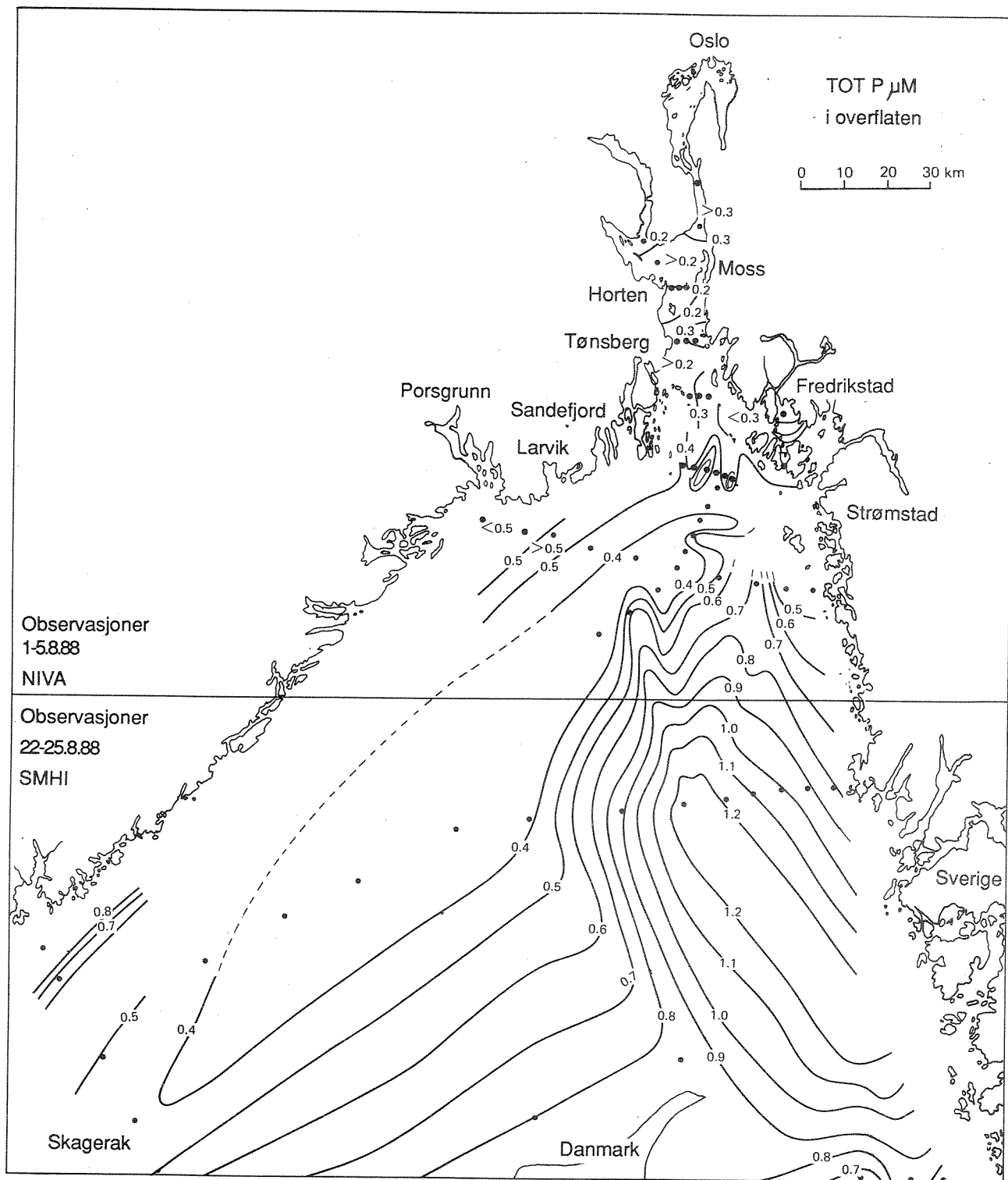
Figur 26 viser overflatekonsentrasjoner av totalfosfor. Igjen må kombinasjonen av NIVA's og SMHI's observasjoner tolkes forsiktig. Observasjonen viser imidlertid at fosforkonsentrasjonene i Ytre Oslofjord var betydelig lavere enn i sørøstlige Skagerrak. Også på 20 meters dyp (figur 27) var tot-P konsentrasjonen i dette område gjennomgående høyere enn på tilsvarende dyp i Ytre Oslofjord. Dette gjaldt også for tot-N (figur 28), hvor kun konsentrasjonene i Hvalerområdet var større enn i sørøstlige Skagerrak og hvor konsentrasjonene i øvrige deler av Ytre Oslofjord var omtrent de samme som i Skagerrak.



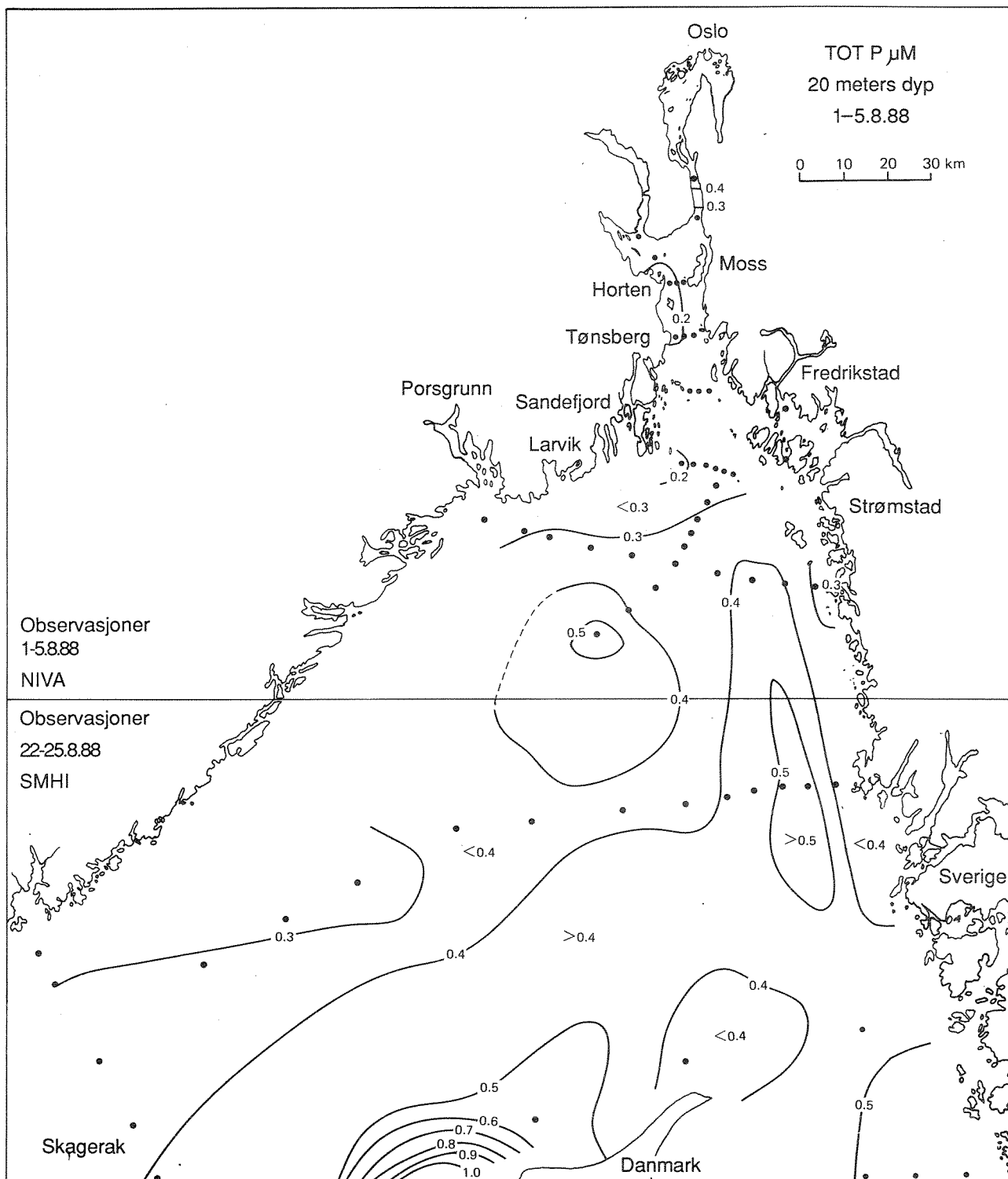
Figur 24. Overflatesaltholdigheten i Skagerrak den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).



Figur 25. Silikatkonsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).

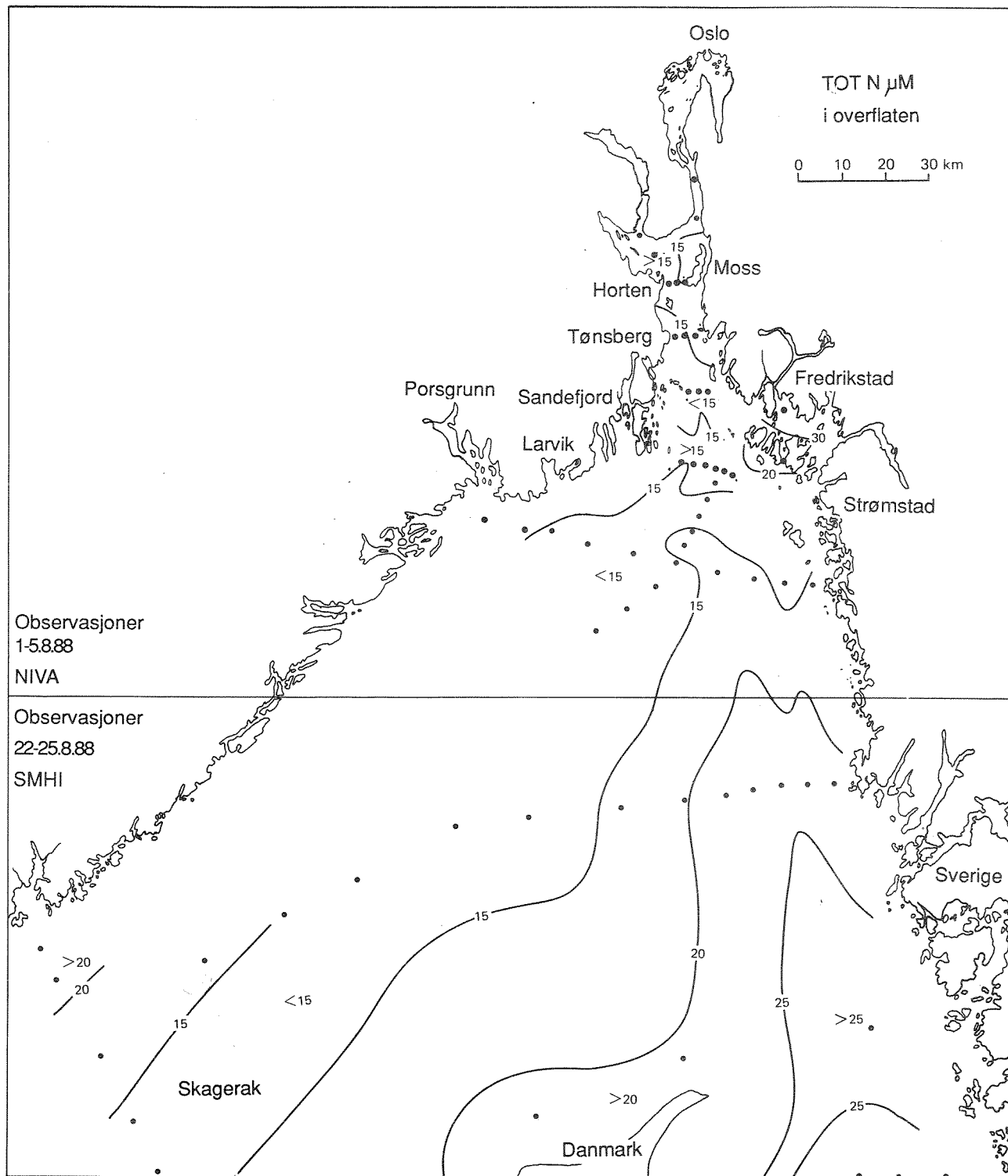


Figur 26. Tot-P konsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).



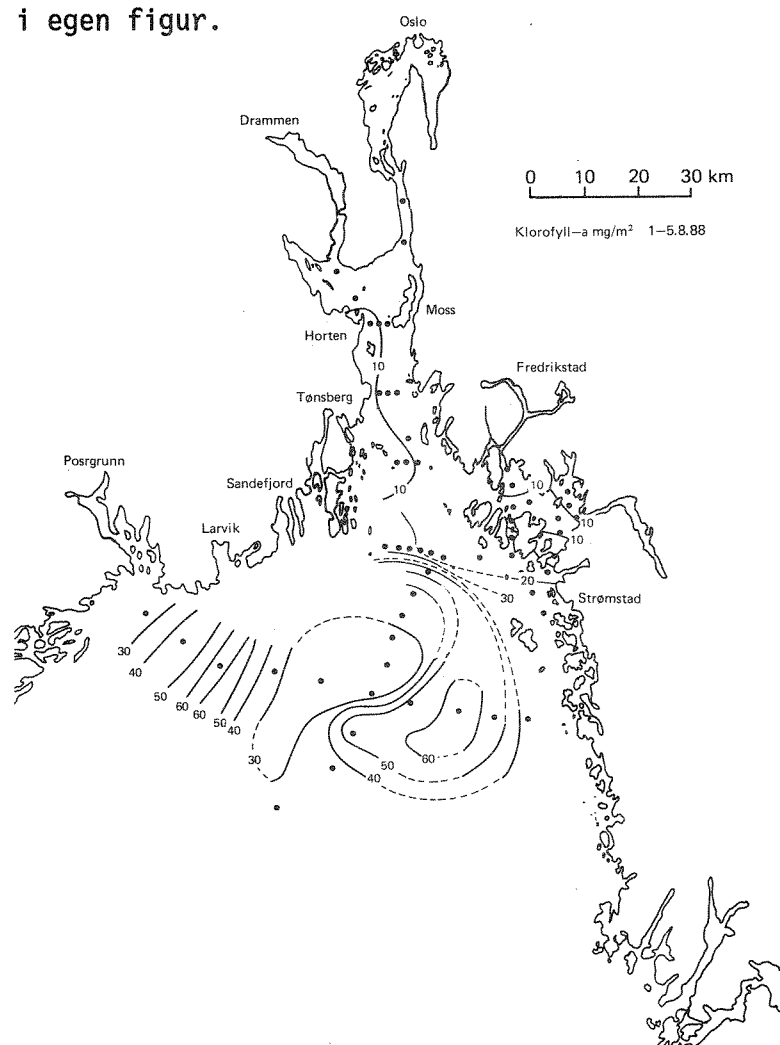
Figur 27. Tot-P konsentrasjonen i Skagerrak på 20 meters dyp den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).



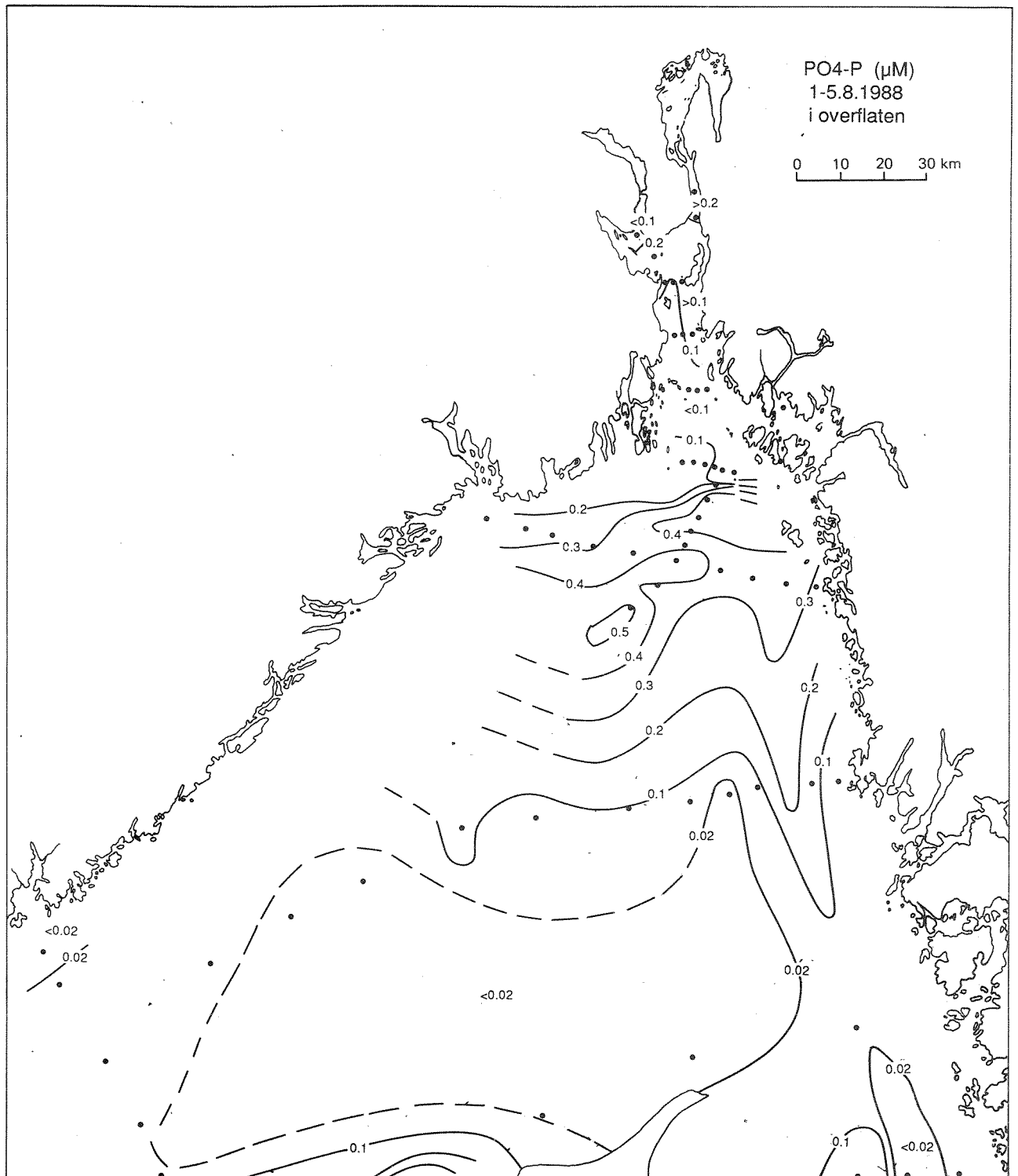


Figur 28. Tot-N konsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).

Integrert klorofyll (0-50 meters dyp) i figur 29 viser større planteplanktonmengder i august i Skagerrak enn i Ytre Oslofjord. Dette kan være forklaringen til konsentrasjonsforskjellene mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak for tot-P og tot-N. De høyere fosfor og nitrogenkonsentrasjonene fra munningen av Kattegat og nordover langs den svenske vestkysten, sammenfalt med overmetning av oksygen og lavere ortofosfatkonsentrasjoner (figur 30). Nitrogen og fosfor var sannsynligvis for en stor del bundet i planteplankton. Figur 30 viser at ortofosfatkonsentrasjonen var meget lav i munningen av Kattegat, dvs. at transporten av fosfor (og nitrogen) skjer ved transport av planteplankton. Ortofosfatkonsentrasjonen var størst mellom Frierfjorden og Koster. Nitratkonsentrasjonen var lav i hele området og generelt lavere enn deteksjonsgrensen i hele Skagerrak og er derfor ikke presentert i egen figur.



Figur 29. Integrert klorofyll-a (0-50 meters dyp) 1-5.8.1988.



Figur 30. Ortofosfatkonsentrasjonen i Skagerraks overflatevann den 2-5.8 (NIVA) og den 22-25.8.1988 (SMHI).

De konklusjoner som kan trekkes fra dette tokt, er at de løste næringsssaltkonsentrasjonene i Ytre Oslofjords sentrale deler ikke var spesielt høye, ved en sammenligning med konsentrasjonene i Skagerrak og Kattegat. De høyere konsentrasjoner av totalnitrogen og totalfosfor i Kattegat og i området syd for Ytre Oslofjord viser, sammen med strømobservasjonene, at betydelige mengder organisk bundet nitrogen og fosfor - trolig i form av planteplankton - ble transportert mot nord, mot Ytre Oslofjord og den norske sørkysten. Det skjer også en tilførsel fra den danske nordvestkyst. I Ytre Oslofjords munningsområde ble det også transportert vann fra Hvalerområdet mot sør langs den svenske vestkysten.

Planteplanktonmengden, målt som klorofyll-a, var klart mindre i Ytre Oslofjord og dessuten begrenset til et tynt overflatesjikt, sammenlignet med Skagerrakobservasjonene. En vannutskiftning mellom Ytre Oslofjord og Skagerrak's overflatelag (0-30 meters dyp), ville ha tilført Ytre Oslofjord betydelige mengder planteplankton og økt den organiske belastningen på fjorden. Derved ville også tilførselen av organisk bundet nitrogen og fosfor til Oslofjorden økt. Samtidig viste strømobservasjonene at det delvis ville kunne skje en tilbaketransport av næringsalter langs den svenske vestkysten i tillegg til forurenset vann fra Hvalerområdet.

Det mangler observasjoner som kan si noe om denne situasjons representativitet, men sett ut fra analysen av strømdata fra Grisebådene, er transporten langs den svenske vestkysten av vann fra Hvalerområdet trolig begrenset i tid og omfang. Derimot er transporten av næringsalter fra Kattegat mot nord en vanligere situasjon, men det er usikkert hvor mye av dette vannet som tilføres Ytre Oslofjord. Normal-situasjonen er sannsynligvis den at vannmassene fra det sørøstlige Skagerrak og Kattegat stryker forbi Ytre Oslofjord og fortsetter i den norske kyststrømmen. Imidlertid viste observasjonene av Chrysochromulina polylepis våren 1988 at deler av disse vannmasser også kan bli tilført Ytre Oslofjord.

### 3.3.3. Planteplanktonfordelingen i Skagerrak/Ytre Oslofjord i august 1988.

Figur 31 viser klorofyll-a fra Drøbaksundet (IM 2) til stasjon S9 i Skagerrak. Mens verdiene lå mellom 1-2  $\mu\text{g/l}$  i Ytre Oslofjord og biomassen var begrenset til de øverste 5 metrene, var konsentrasjonen i munningen av fjorden 3-4  $\mu\text{g/l}$  (S1 og T2), samtidig som planktonet ble registrert i et meget tykkere lag- ned til 15-25 meters dyp. Figur 31, som viser et snitt mellom Havstensund og Frierfjorden, viser samme bilde, med høyere konsentrasjoner av plankton i et tykkere lag. Dette gir totalt en meget større biomasse pr  $\text{m}^2$  i Skagerrak sammenlignet med Ytre Oslofjord (figur 29) og forklarer tildels de relativt høye tot-P og tot-N verdiene i Skagerrak.

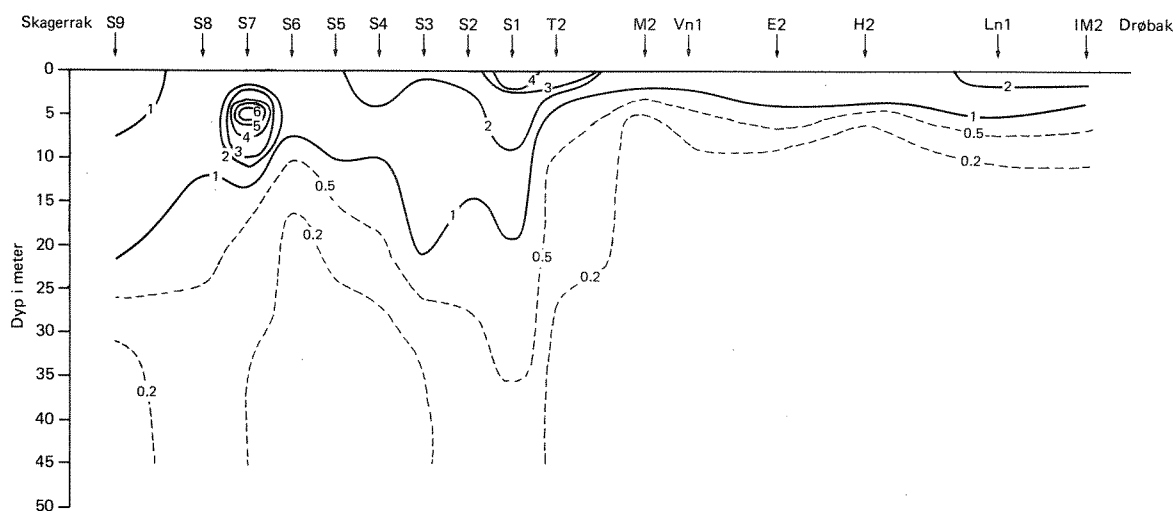
Sammenlignes klorofyll-a med strømmålingene (figur 31), var hovedkonsentrasjonen av planteplankton ved stasjon S7 i hovedstrømmen mot nordvest. Nord for strømskjæret ved stasjon S5, hvor strømmen vekslet fra nordvest til øst, økte klorofyll-a konsentrasjonen.

Sammenlignes klorofyll a (figur 32) og strøm (figur 33) i snittet S18-S10 var hovedmengden av planteplankton i overkant av den sørgående strømmen ved S15-S17. Mellom S15 og S6 var det et strømskjær, hvor strømmen endret retning fra sør mot nordvest. Den høyere klorofyll-konsentrasjonen som ble funnet ved S12, lå i hovedstrømmen mot nordvest. Ved stasjon S11 snur strømmen mot syd langs den norske sørkysten. Her ble det også observert større konsentrasjoner av klorofyll-a. Sannsynligvis er det en sammenhengende planteplanktonbiomasse som følger hovedstrømmen i Skagerrak mot nordvest ved stasjon S12 og siden transporteres mot sør ved stasjon S11.

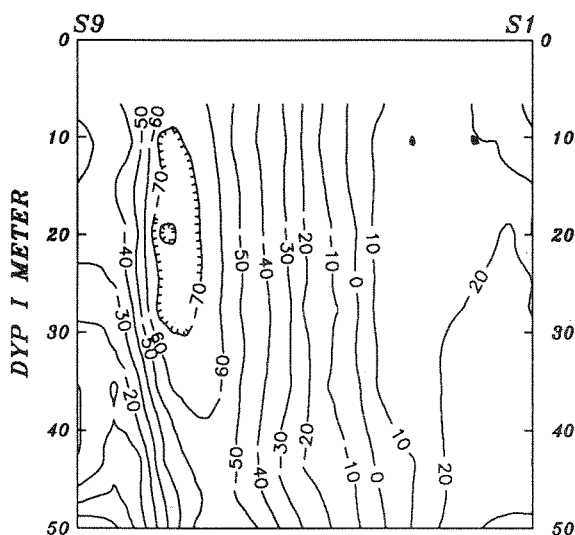
Det ble bearbeidet et begrenset antall planktonprøver fra overflaten og interessante klorofyllflourecenstopper, totalt ca. 25 prøver.

Generelt var planktonet dominert av flagellater, med varierende innslag av dinoflagellater. I Drøbaksundet og i overflaten på stasjonene S1-S7 var det innslag av diatomeer. Ved Missingen (M1) var det innslag av Prorocentrum minimum. På snittet Torbjørnskjær-Færder var det både Gyrodinium aureolum og P.minimum på stasjon T 2, mens det ved Færder også ble registrert Ceratium furca.

I fronten mellom brakkvann og sjøvann ved stasjonene S1-S3 var overflateplanktonet dominert av Prorocentrum minimum, mens den mot nordvest strømmende "planktonpakken" ved stasjon S7 ble dominert av Gyrodinium aureolum. Lengre ut ved stasjon S9 ble det igjen registrert Prorocentrum minimum i overflaten.

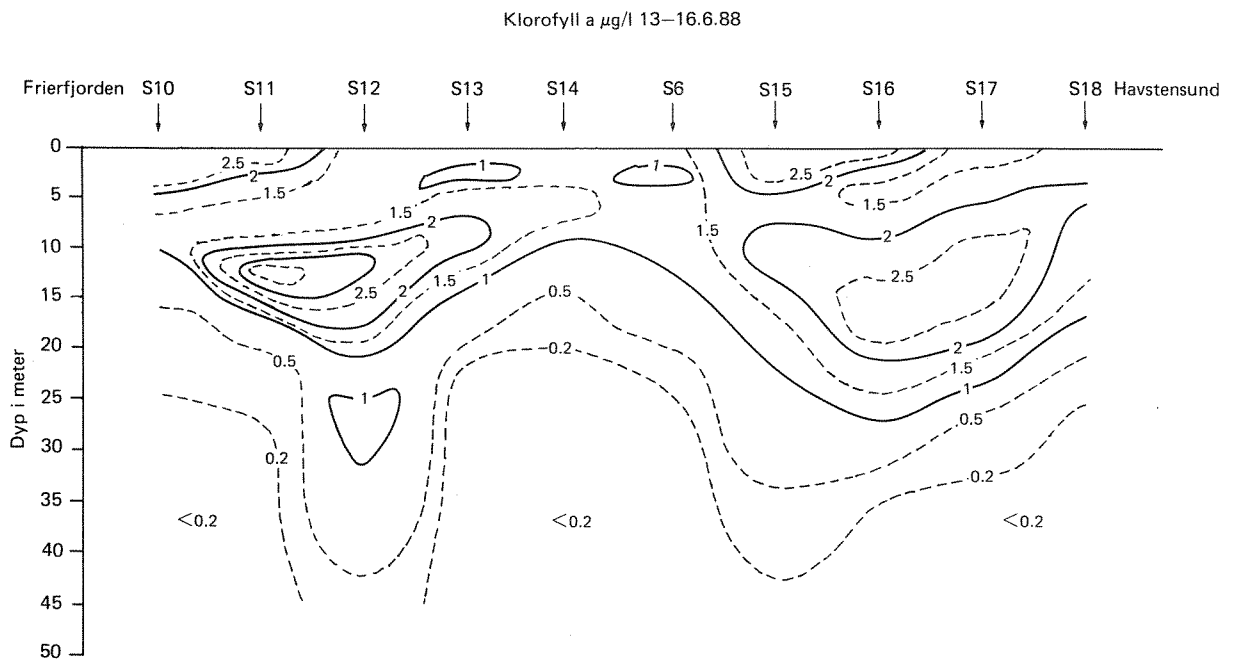


STRØM (ADCP) CM/S MOT ØST (+)

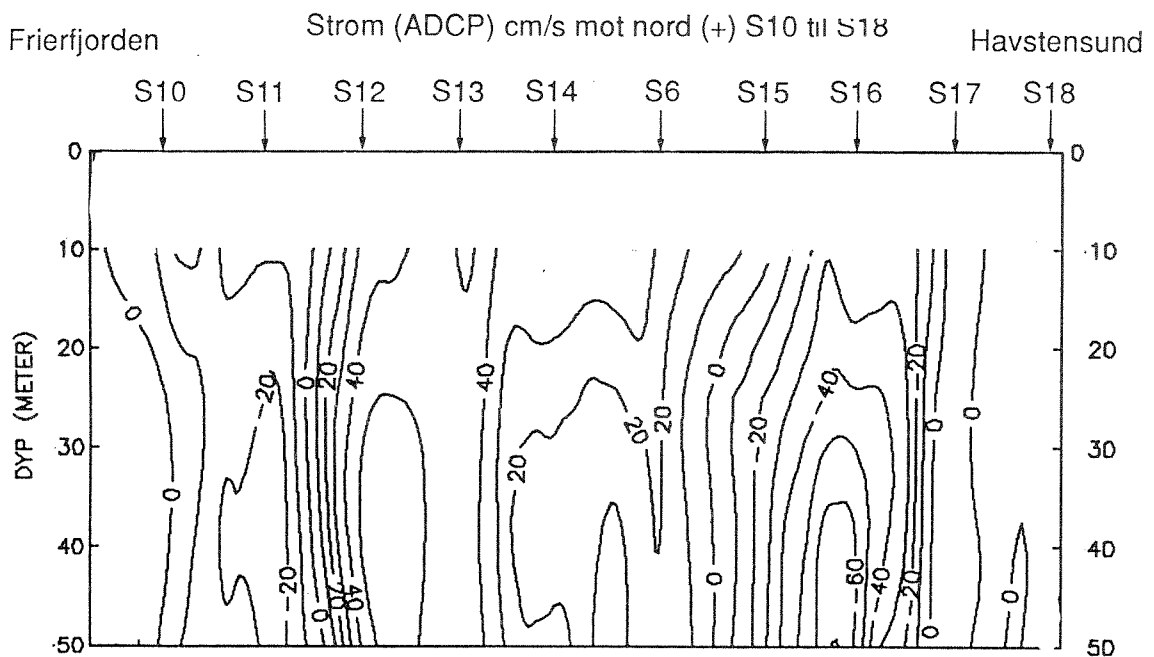


Figur 31. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) i Ytre Oslofjord og Skagerrak den 2-5.8. 1988 (øverste figur), samt strømobservasjoner (ADCP).

På tverrsnittet Havstenssund - Frierfjorden ble det dessverre ikke tatt planteplanktonprøver på stasjon S17 - S15. På 5 meters dyp på stasjon S18 dominerte Ceratium furca. På klorofyllmaks på stasjonene S14-S11 dominerte G.aureolum av de større artene. På stasjon S10 dominerte forskjellige større planteplanktonarter på ulike dyp. Øverst, på ca. en halv meters dyp, lå Ceratium furca sammen med P. minimum. På 5 meters dyp var flagellatene dominert av P. Mimimum. På 10 meters dyp dominerte igjen C.furca, mens det på 20 meters dyp var Gyrodiniumlignende plankton sammen med P.mimimum.



Figur 32. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) i Skagerrak den 2-3.8.1988.



Figur 33. Strøm (ADCP) i Skagerrak den 2-3.8.1988.

### 3.3.4. Hydrografi og beregning av strøm og transporter i Skagerrak 2-3.8.1988.

Figur 34 viser saltholdighetsfordelingen fra Drøbak til stasjon S 9 i Skagerrak. Strømmålinger (Hackett og Dahl, 1989) viste at strømmen var rettet mot øst ved stasjonene S5-S1 fra overflaten til ca. 80 meters dyp (figur 23). Fra S6-S9 var strømmen vestlig, dvs en del av "Skagerraksnurran". Saltholdighetsfordelingen viser at den vestlige strømmen førte med seg en helt annen vannmasse enn den østlige strømmen. Overflatelaget i Ytre Oslofjord var ca. 20-30 meter dypt (saltholdigheter < 30 ‰/oo).

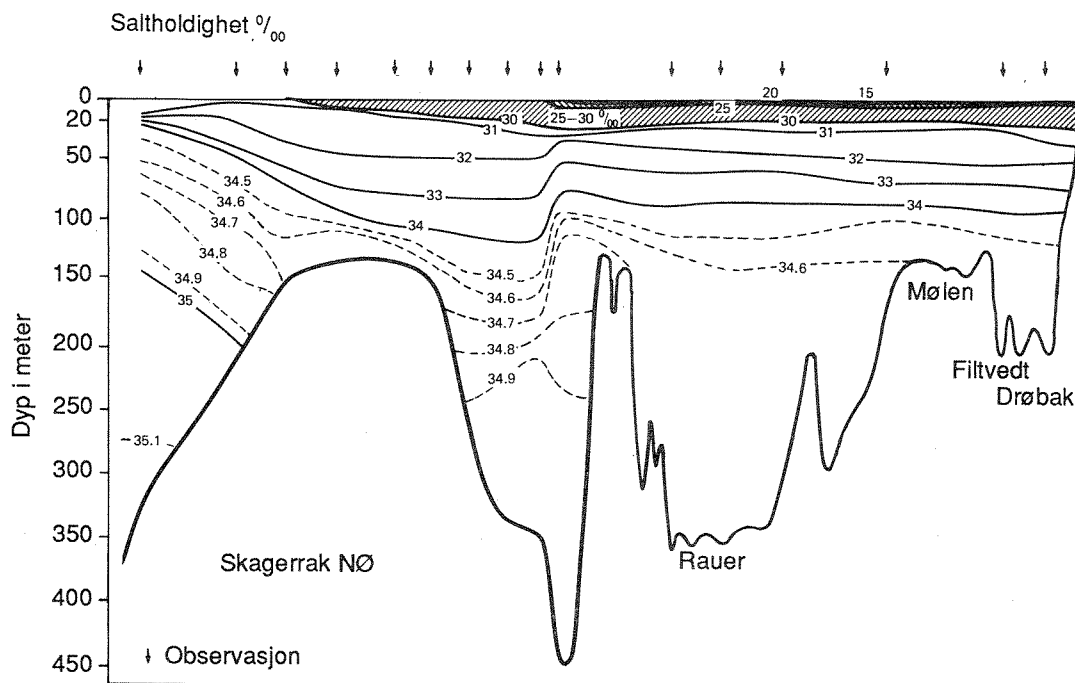
Oksygenkonsentrasjonen (figur 35) viser tilfredstillende forhold i Skagerrak med konsentrasjoner omkring 5-6 ml/l. I Oslofjorden var også konsentrasjonene tilfredstillende, men noe lavere i Hvalerdypet (stasjon T), Rauøydypet og på mellomnivåer i Breidangen/Drøbaksundet. (På figuren fremgår ikke at også Mølendypet i Breidangen hadde lavere oksygenkonsentrasjon). Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU, figur 36) viser samme situasjon, med størst oksygenforbruk i Hvalerdypet og Rauøydypet samt Breidangen og Drøbaksundet.

Figur 37 viser saltholdighetsfordelingen og strøm mellom Havstensund i Sverige og Frierfjorden i Norge. Strømmålingene (Hackett og Dahl, 1989) viser den dominerende "Skagerraksnurran" (se også figur 23). Mellom overflaten og ca. 80 meters dyp strømmet vannmassene mot NV ved stasjonene S6 til S12. Saltholdigheten på dette vannet var mellom 32 - 33 ‰/oo. Denne vannmassen strømmet mot sørvest langs norskekysten (stasjon S 11). Ved svenskekysten var strømmen rettet mot sør. Saltholdigheten var omtrent den samme i hovedstrømmen, men fra overflaten til ca. 25 meters dyp var det et vannlag med betydelig lavere saltholdighet som strømmet mot sør. Således ble deler av det nordgående vannet som kommer fra Kattegat ført tilbake langs den svenske vestkysten i de dypere lag, samtidig som vann med lavere saltholdighet trekkes med fra Ytre Oslofjord og Hvalerområdet i overflaten.

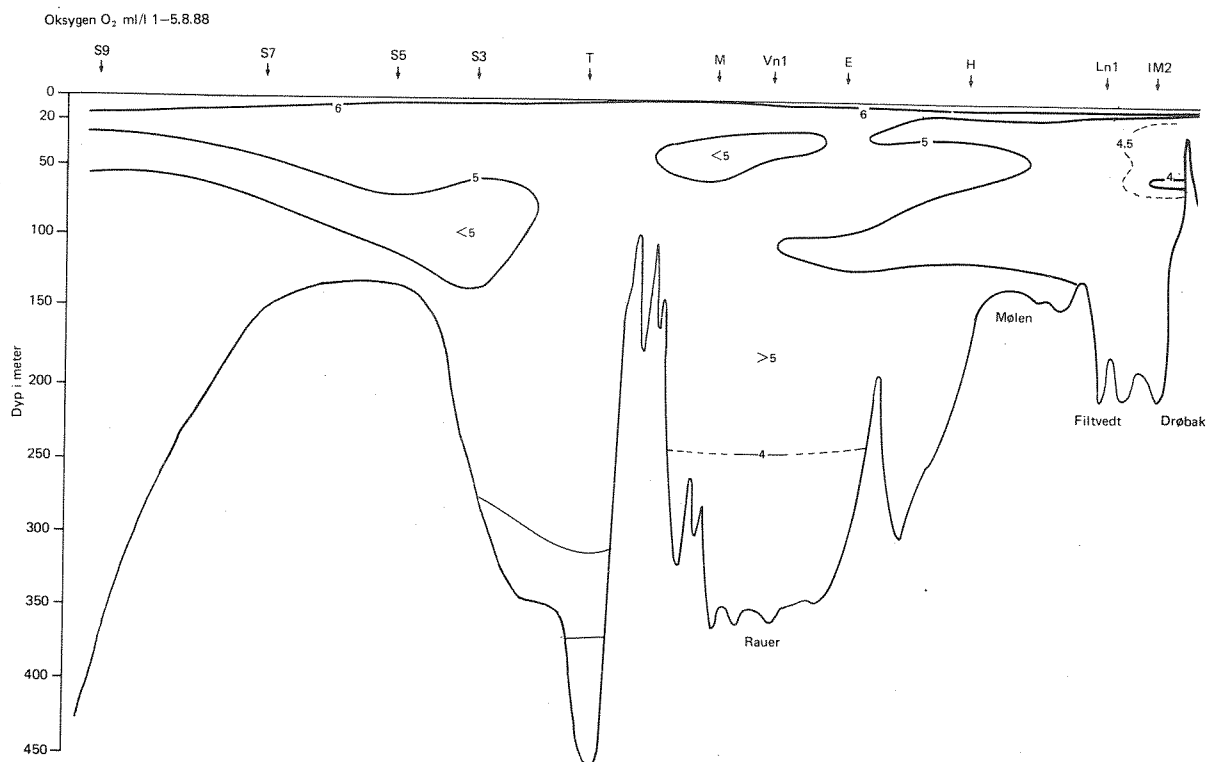
Mellom ca. 100 meters dyp og bunn var strømmen derimot rettet mot NØ.

Hovedtransportene gjennom dette tverrsnitt er beregnet ut fra en digitalisering av figurene i strømmåler rapporten (Hackett og Dahl, 1989). De beregnede transportene blir nødvendigvis ikke helt nøyaktige med en slik fremgangsmåte, men dette har mindre betydning i denne sammenheng.

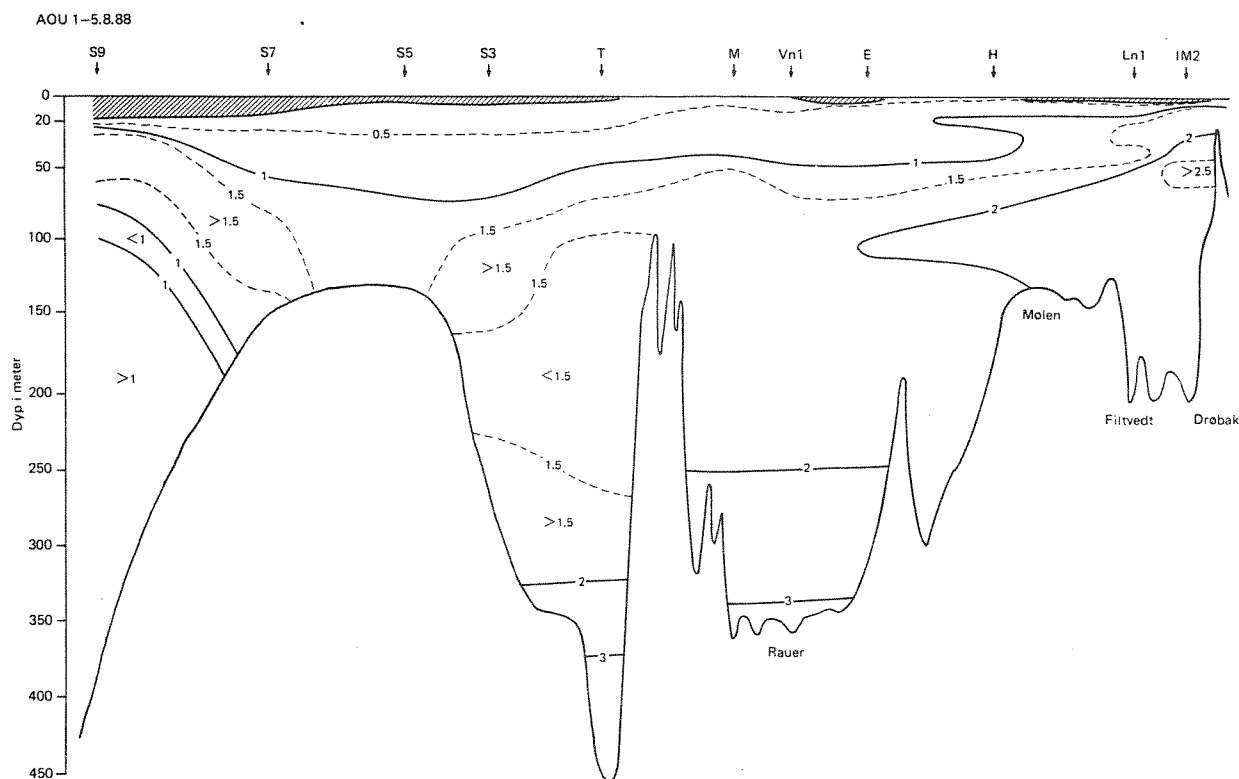




Figur 34. Saltholdighet (o/oo) den 2-5.8.1988 fra Drøbak i Ytre Oslofjord til stasjon S9 i Sagerrak.



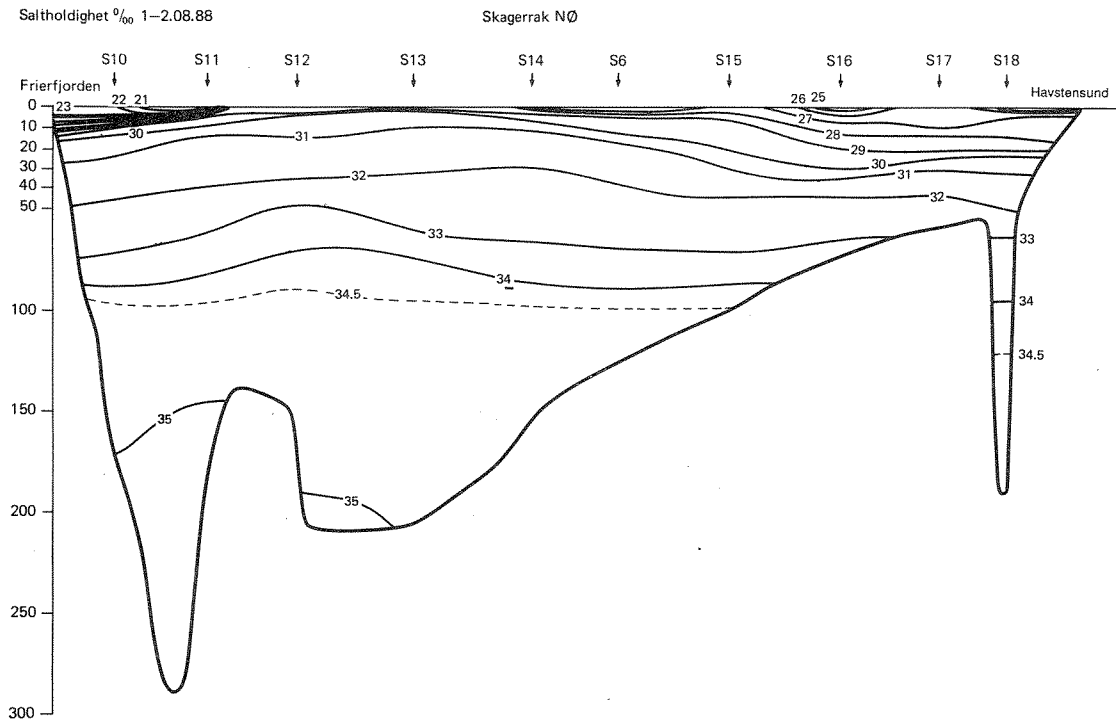
Figur 35. Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i Ytre Oslofjord/Skagerrak den 2-5.8.1988.



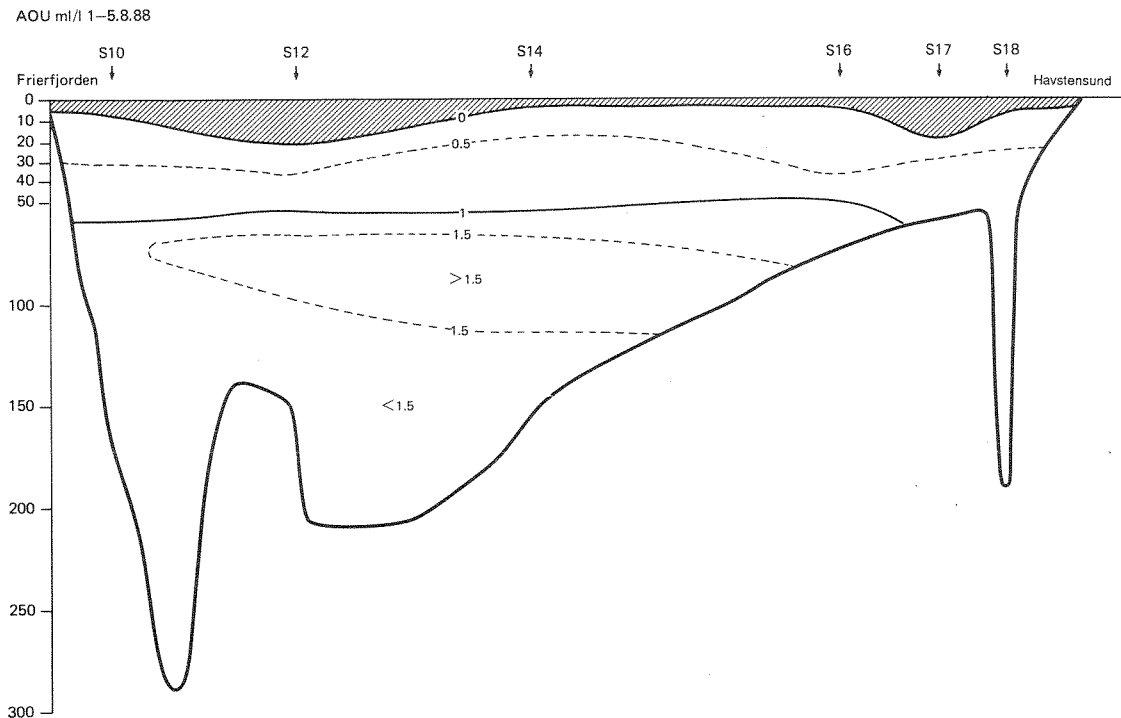
Figur 36. Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU-ml/l) i Ytre Oslofjord /Skagerrak den 2-5.8.1988.

Den sydgående strømmen langs svenskekysten som ble observert på toktet den 1-5.8.1988, transporterte vann med lavere saltholdighet og var på ca.  $4 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/s (0.4 Sverdrup). Hovedstrømmen mellom stasjonene S6 og S12 transporterte ca.  $9 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/s (0.9 Sverdrup). Den sørgående strømmen utenfor Frierfjorden transporterte ca.  $4 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/s (0.4 Sverdrup). Disse transporter kan sammenlignes med andre beregninger av strømtransporter i Skagerrak. Rodhe (1987) beregnet gjennomsnittlig transport i Skagerraksnurran til ca.  $5 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/s (0.5 Sverdrup). Våre beregninger viser således at det i august 1988 gikk noe mer vann i "snurran", men at transporten av vann lå innenfor det en kan forvente (se Rodhe 1987). Augustobservasjonene 1988 var således transportmessig ikke uvanlige.

Observasjonene dekker dessverre ikke hele strømsystemet., men det er nærliggende å anta at den NV-gående hovedstrømmen delte seg i to i munningen av



Figur 37. Saltholdigheten (o/oo) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.



Figur 38. Oksygenforbruk (AOU-ml/l) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988

Ytre Oslofjord. En del fortsatte mot syd som den Norske kyststrømmen, og en del gikk mot øst tvers munningen av Oslofjorden og strømmer tilbake langs den svenske vestkysten. Muligens var dette enhvirvel hvor store deler av den sørgående strømmen føres tilbake i den NV-gående hovedstrømmen.

Oksygenkonsentrasjonen i snittet varierte omkring 5 ml/l. Figur 38 viser et noe større oksygenforbruk mellom 50 til 100 meters dyp. Overmetning av oksygen (som viser høy planteplanktonproduksjon) ble registrert på større dyp langs den svenske vestkysten og nær strømskillet mellom nordgående strøm ved S12 og sørgående strøm ved S11. Likeså har det vært høyere oksygenforbruk i den vannmassen som strømmet mot sør langs den svenske vestkysten på 50-80 meters dyp, sammenlignet med hovedtransporten mot nord.

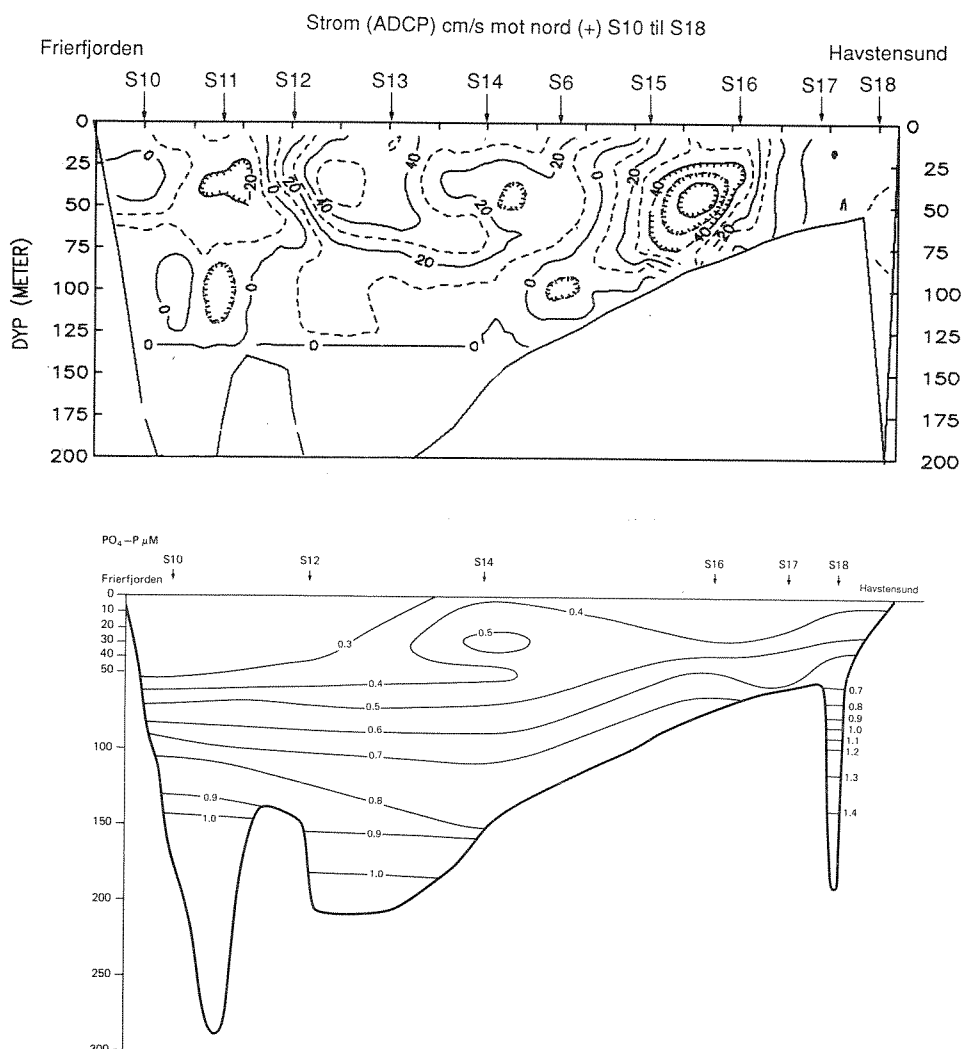
Figur 39 og 40 (uorganisk fosfor og nitrogen) viser at i overflate-laget var den nordvestgående hovedstrømmen næringsrik sammenlignet med den sørgående strømmen ved den svenske vestkysten. De sterkeste strømmene på snittet ble observert i nitrogengradienten, dvs. i eller under nedre grense for fotosyntesesonen. I de sentrale deler av Skagerrak lå næringsrikt vann nærmere overflaten.

Systemet transporterte betydelige mengder næringsalter i tidsrommet 1-5.8.1988. Beregnet gjennomsnittelig transport sørover langs den svenske vestkyst blir ca. 4 kg tot-P/s og 80 kg tot-N/s. Tilsvarende transporterte den nordvestgående strømmen ca. 10 kg tot-P/s og 118 kg tot-N/s. Sørover langs norske kysten ble det transportert ca. 3.2 kg tot-P/s og 82 kg tot-N/s. Ser vi kun på transporten i fotosyntesesonen blir den ca. 350.000 m<sup>3</sup>/s, hvilket gir en "returtransport" av ca. 4 kg tot-P/s og 75 kg tot-N/s.

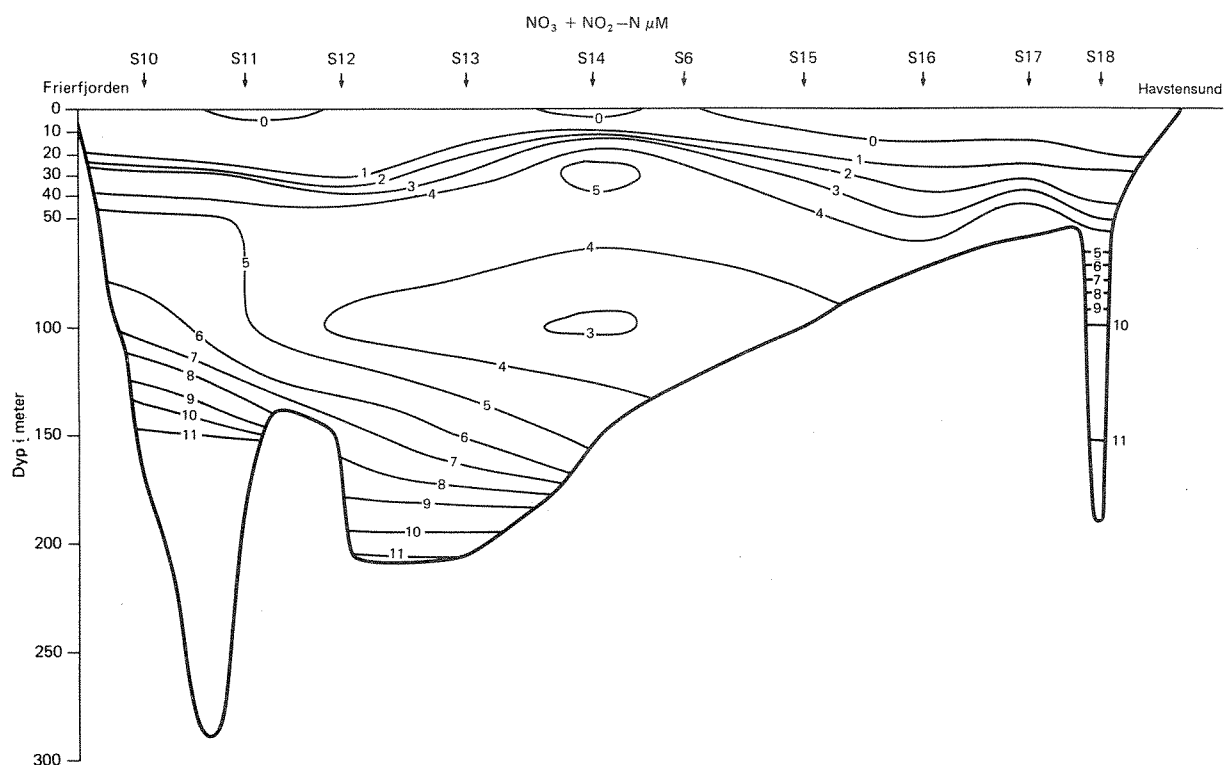
Næringssaltstransportene i havet kan sammenlignes med tilførslene fra land for å få et perspektiv på forholdet mellom tilførsler og transporter. Imidlertid er det i dette tilfelle en sammenligning med en enkelt observasjon og kun de horisontale transporter, slik at det gjenstår å vurdere hvor representativ en slik sammenligning er. Det er også viktig å skille mellom tilførsler og transporter i fotosyntesesonen og totaltransportene. Sammenligner vi de totale tilførsler fra land i Oslofjordområdet (inklusive tilførsel fra Indre Oslofjord og Drammensfjorden) blir den årlige gjennomsnittlige tilførslen fra land ca. 1 kg tot-N/s og 0.05 kg tot-P/s. Dette er ca. 1 % av transporten i fotosyntesesonen i den egentlige kyststrømmen. Sammenlignes tilførslene fra land i Østfold med transporten av næringssaltene i fotosyntesesonen i den sydgående strømmen ved svenskekysten blir dette ca. 2 % på årsbasis. Dette betyr at denne sydlige strømmen også henter

næringssalter fra den nordgående overflatestrømmen i området, dvs det skjer en tilbaketransport av næringssalter langs den svenske vestkysten.

Resultatene fra observasjonene i august 1988 kan tyde på at influensen av utslippene i Hvalerområdet er begrenset sørover til Kosterområdet. Videre kan observasjonene tyde på at situasjonen i Kattegat og muligens søndre Nordsjøen er vel så viktige for den langsiktige eutrofiutviklingen ved den svenske vestkysten. Imidlertid er det foreløpig et spørsmål om representativiteten av den situasjon som ble observert i august 1988. Det er også klart at influensen fra Hvalerområdet på den svenske vestkysten er kvalitativt forskjellig fra den mer storstilte påvirkningen, spesielt fordi brakkvannsutbruddene mot sør fra Hvaler er begrenset til et tynt overflatelag.



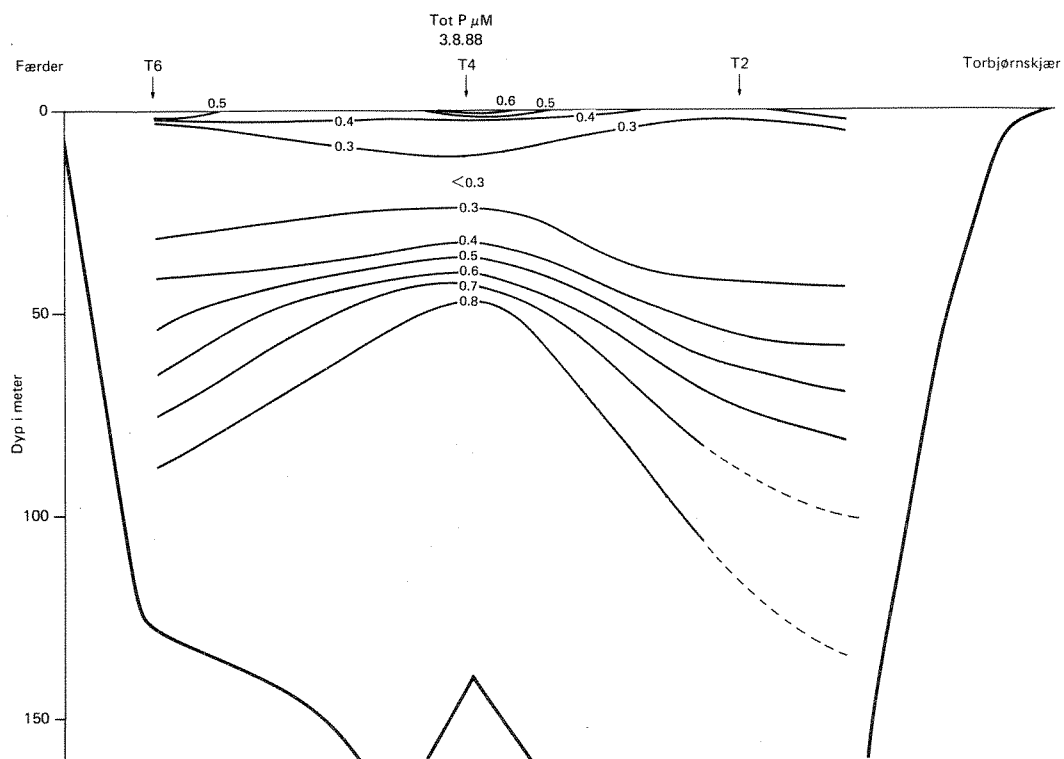
Figur 39. Strøm (øverst) og ortofosfatkonsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.



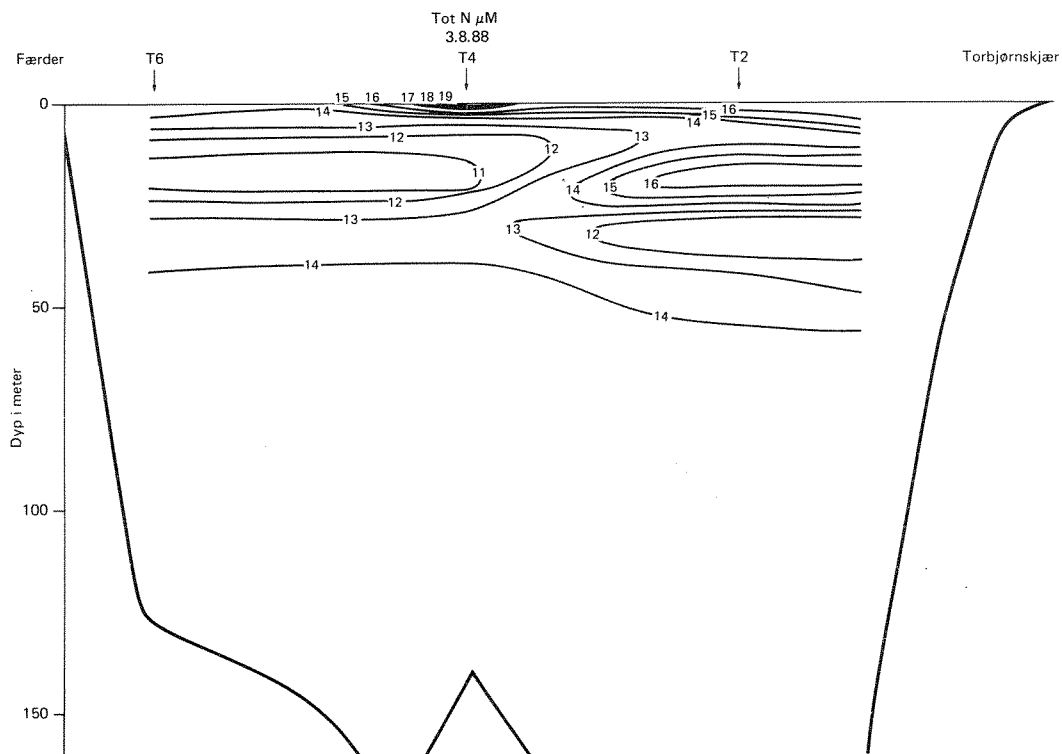
Figur 40. Uorganisk nitrogen ( $\mu\text{M}$ ) i Skagerrak mellom Frierfjorden og Havstensund den 2-3.8.1988.

### 3.3.5. Beregning av transporter i Ytre Oslofjord i august 1988.

Den hydrografiske situasjonen i august 1988 er vist i figur 34-35. Som det fremgår av beskrivelsen av observerte hovedstrømmer i kap 3.3.3, var strømmene utenfor munningen av Oslofjorden i hovedsak østlige. I munningen av fjorden ble det foretatt strømmålinger (Hackett og Dahl, 1989) og hydrokjemi den 3-4.8.1988. I overflatelaget var strømmen om morgenen den 4.8 i hovedsak inngående fra 6 meters dyp til 30 meters dyp, med den største transporten på østsiden (stasjon T1-T4). På 30-50 meters dyp var strømmen inngående på østsiden (stasjon T1-T2) og i øvrig utgående. Mellom 50-100 meters dyp var strømmen inngående på østsiden, utgående midtfjords og svakt inngående på vestsiden. Figurene 41 og 42 viser fordelingen av totalfosfor og totalnitrogen mellom Torbjørnskjær og Færder. Med en hovedsakelig inntransport av vann ved stasjon T2 og uttransport ved T4 ble Ytre Oslofjord tilført næringsalter fra Skagerrak. Tabell 5 viser en beregning av transportene gjennom snittet.



Figur 41. Totalfosforkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) tvers av munningen av Ytre Oslofjord den 4.8.1988.



Figur 42. Totalnitrogenkonsentrasjonen ( $\mu\text{M}$ ) tvers av munningen av Ytre Oslofjord den 4.8.1988.

Tabell 5. Beregnet transport i forskjellige dypintervaller gjennom snittet Færder-Torbjørnskjær den 4.8.1988. (+ inn fjorden, - ut fjorden)

Dypintervall ( meter)	Transport (m <sup>3</sup> /s)			Brutto- transp.
	Sta. T6	Sta. T4	Sta. T2	
6 - 30 m	+2656	+8152	+6526	17334
30-54 m	-2527	-3139	+16518	22184
54-94 m	+987	-10428	+12991	24406
SUM:	+2026	-5415	+36035	63924

På tilsvarende måte er det utført transportberegninger for snittene ved Slagentangen (ADCP-observasjoner ved Missingen mangler), Horten og Drøbaksundet (Hvitsten). Tabell 6 viser en sammenfatting av beregningene.

Tabell 6. Beregnet bruttotransport av vann (m<sup>3</sup>/s), i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten).

Dypintervall ( meter)	Transport (m <sup>3</sup> /s)			
	Snitt T	Snitt E	Snitt H	Snitt Dr
6 - 30 m	17334	4800	2452	1496
30-54 m	22184	1650	705	1224
54-94 m	24406	4942	1682	876
Sum 6-94 m	63924	11392	4839	3596

Sammenlignes bruttotransporten mellom Færder og Torbjørnskjær med transporten i de øvrige snittene lengre inn i Ytre Oslofjord, fås en klar minsking av transporten fra munningen og innover (tabell 7).



Tabell 7. Bruttotransport av vann ( $m^3/s$ ) ved snitt E, H og Dr gjennom bruttotransporten ved snitt T (%) i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten).

Dypintervall ( meter)	Transport (%)		
	Snitt E/T	Snitt H/T	Snitt DR/T
6 - 30 m	27 %	14 %	9 %
30-54 m	7 %	3 %	5 %
54-94 m	20 %	7 %	4 %
Sum 6-94 m	18 %	7 %	6 %

Tabell 7 viser at transporten ble kraftig redusert fra munningen av Ytre Oslofjord til snittet mellom Slagentangen og Eløya. Trolig skjer reduksjonen mellom Missingen og Fuglehuk. Mye av de vannmassene som således ble transportert inn mellom Torbjørnskjær og Færder strømmet tilbake ut i Skagerrak eller tvers over fjordmunningen mot svenske-kysten eller den norske sørkysten. For overflatelaget er dette også illustrert i den tyngdereduserte modellen (Røed og Skåtun, 1989).

Tabell 8 viser bruttotransport av næringsalter (tot-P og tot-N).

Tabell 8. Bruttotransport av næringsalter i snitt E, H og Dr i  $kg/s$  i forskjellige dypintervaller den 4-5.8.1988. (T=T1-T6, E=E1-E3, H=H1-H3, Dr=Drøbaksundet v. Hvitsten).

Dypintervall og parameter	Snitt T	Transport ( $kg/s$ )		
		Snitt E	Snitt H	Snitt Dr
6-30m/tot-P	0.16	0.03	0.016	0.012
6-30m/tot-N	3.28	0.78	0.42	0.28
30-54m/tot-P	0.22	0.01	0.006	0.023
30-54m/tot-N	3.92	0.24	0.15	0.36
54-94m/tot-P	0.51	0.09	0.017	0.03
54-94m/tot-N	3.03	1.05	0.37	0.17
6-94m/tot-P	0.89	0.13	0.04	0.065
6-94m/tot-N	10.23	2.07	0.94	0.81

Bruttotransportene av næringsaltene avtar fra munningen av fjorden og

innover fjorden. Dette er tydeligst for overflatelaget (6-30 meters dyp). For mellomdyp (30-54 meter) skjer det en klar reduksjon mellom fjordens munning og de øvrige snittene, men sammenlignes de indre snittene er det en liten økning i transportene i Drøbaksundet. I det dypeste området skjer det en klar reduksjon i transporten fra munningen til Slagentangen (snitt E) og videre ytterligere en reduksjon til snittet ved Horten (snitt H).

Representativiteten av disse observasjoner er foreløpig uklar. Men det er trolig at den store reduksjon i transporter av næringssalter og vann fra fjordens munning til de innenfor liggende delene gjelder generelt, unntatt i perioder med store vannutskiftninger. Normalt vil således fjordområdet innenfor Horten være betydelig mer ømfintelig for lokale forurensningstilførsler enn området syd for Horten. Området mellom Horten og Fulglehuk vil være noe mindre ømfintelig, men betydelig lettere å påvirke enn området i fjordens munning.

Økningen av næringssaltstransportene i Drøbaksundets dypere vannmasser sammenlignet med transportene ved Horten, viser at Drøbaksundets vann tilføres relativt mer næringssalter. Dette er lokale tilførsler i området og tilførsler fra Indre Oslofjord.

### 3.3.6 Hydrokjemiske observasjoner i overflatelaget i Ytre Oslofjord.

Figur 43-49 samt tabell 9 viser overflatekonsentrasjoner av saltholdighet, oksygenmetning og klorofyll-a fra overflaten, som gjennomsnitt av observasjoner fra 0,5 og 10 meters dyp (0-10 meters dyp) og som gjennomsnitt av 0,5,10,15 og 20 meters dyp (0-20 meters dyp). Næringssaltkonsentrasjoner og N/P-forhold er vist som gjennomsnitt fra 0-10 meters dyp. For de stasjoner som ligger på snitt tvers over fjorden er det dessuten tatt middel for hele snittet.

Saltholdigheten i overflatelaget var lavest i Breidangen og økte innover og utover fjorden (figur 43). Det var størst gradient i overflaten (0 meters dyp). Det var overmetning av oksygen i det øverste laget i Drøbaksundet og i de ytre delene av fjorden dvs. omtrent samme gradient som planteplanktonkonsentrasjonen (figur 44 og 48).

Silikatkonsentrasjonen (figur 45) fulgte saltholdighetsgradienten. Ortofosfatkonsentrasjonen (figur 46) var størst innerst i fjorden ved munningen til Drammensfjorden og i Breidangen ut til Horten. Konsentrasjonen videre utover fjorden var omtrent konstant. Totalfosforkonsentrasjonen var omtrent konstant i fjorden ut til munningen hvor den økte. Konsentrasjonen av løste nitrogenforbindelser var størst innenfor Slagentangen (figur 47) og med høyeste verdier ved Horten og munningen av Drammensfjorden, dvs. også hvor saltholdighet var lavere

Tabell 9. Gjennomsnittelige konsentrasjoner i overflatelaget (0-10 meters dyp) 3-5.8.1988 (n=38).

STASJONER	S ‰	PO <sub>4</sub> -P μM	Tot-P μM	Uorg-N μM	Tot-N μM	Si μM	Tot-(N/P)	Uorg-(N/P)
T1-T6	22.0	0.15	0.38	1.13	15.2	3.1	43	11
M1-M3	23.7	0.12	0.23	0.9	12.0	2.0	52	9
VN 1	23.8	0.13	0.28	0.9	11.8	1.6	42	8
E1-E3	23.1	0.11	0.24	0.7	12.7	3.4	53	14
H1-H3	21.2	0.18	0.19	3.7	13.7	6.0	73	33
NH 1	22.3	0.26	0.26	1.9	13.2	4.3	54	8
MG 1	19.0	0.22	0.19	4.2	14.6	8.4	77	38
LN 1	23.0	0.24	0.28	0.9	13.2	2.3	46	4
IM 2	24.3	0.27	0.28	1.8	13.9	2.2	50	6
Gj.Snitt	22.5	0.17	0.28	1.7	13.8	3.9	54	16
St.Av.	1.6	0.08	0.12	2.17	2.7	4.2	17	26

(figur 43). Totalnitrogenkonsentrasjonen var jevnt avtakende fra Breidangen til Missingen og økte igjen ytterst i fjorden.

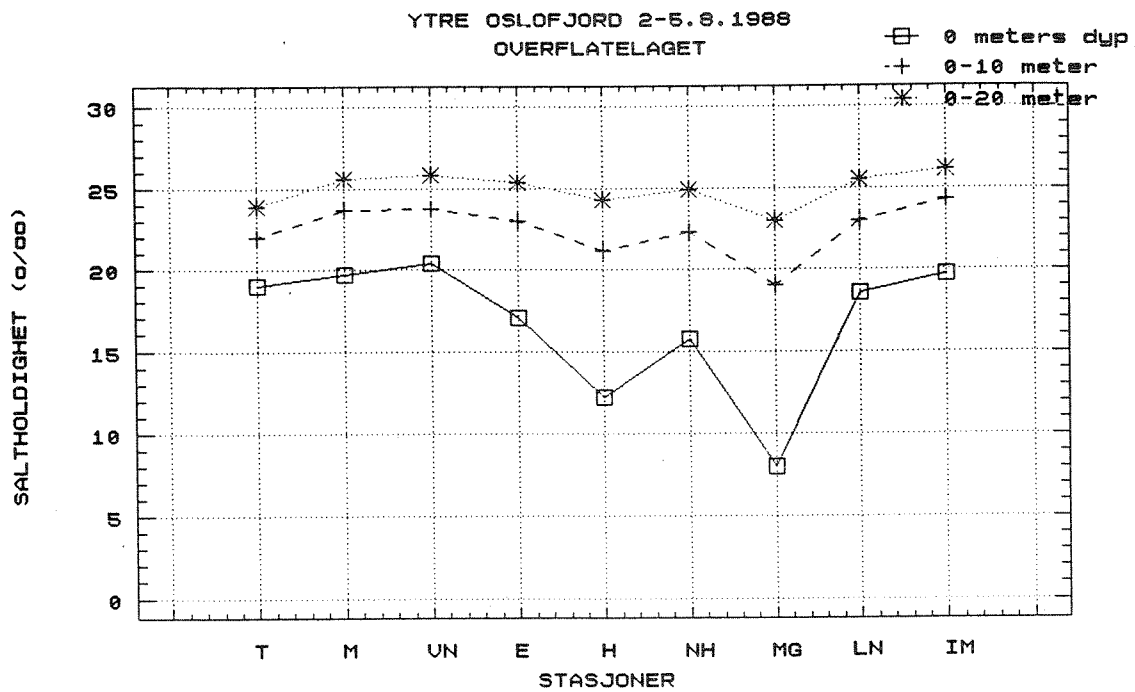
Det ble således registrert klare gradienter i Ytre Oslofjords overflatelag i august 1988, med høyere konsentrasjoner av løste nærings-salter i området Drøbaksundet til Horten. For tot-P, tot-N og klorofyll-a økte konsentrasjonene igjen ytterst i fjordens munning.

### 3.3.7. Begrensende nærings salt i juli/august 1988.

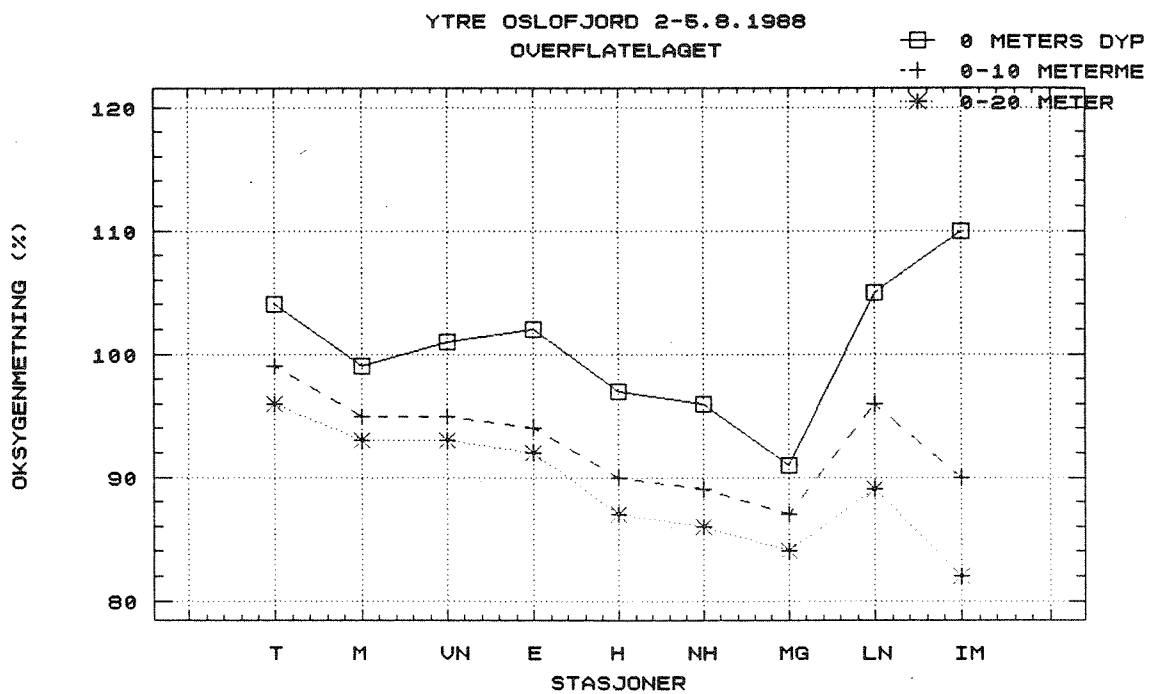
Med bruk av samme kriterier som nevnt under junitoktet (kap 3.2.2) viser figur 46-49 at det ikke var noen entydig fosfor eller nitrogenbegrenset algevekst i Ytre Oslofjord. De uorganiske nitrogenforbindelsene var over antatt nivå for direkte vekstbegrensning i området mellom Drøbaksundet og Slagentangen. I de ytre delene av fjorden lå konsentrasjonen omkring grensen på 1.0  $\mu\text{M}$ . Uorganisk N/P (figur 49) viste at potensielt begrensende nærings salt varierte i fjorden fra fosforbegrensning ved Horten og munningen av Drammensfjorden til nitrogenbegrensning ved Missingen/Rauøy, Mølen og i Drøbaksundet. Silikatkonsentrasjonene skulle være tilstrekkelige for oppblomstring av diatomeer. På tross av rikelig tilgang på nærings-salter var det lite planteplankton i fjorden (figur 48). Figur 29 viser at konsentrasjonene var større i Skagerrak.

Eksperimentelle undersøkelser av begrensende nærings salter som ble utført av Paasche (1989) i begynnelsen av juli, og august samt i slutten av august ved Rauøy (VN 1) viste at planteplanktonet i begynnelsen av juli var samtidig, men bare svakt, begrenset av både nitrogen og fosfor. I begynnelsen av august var den klart fosforbegrenset, dog med tilløp av sekundær nitrogenbegrensning. I slutten av august var det en unormalt stor planteplanktonbestand ( $\text{chl-a} = 50 \mu\text{g/l}$ ), samtidig som nærings saltmålinger tyder på at det ikke var noen nærings saltbegrensning.

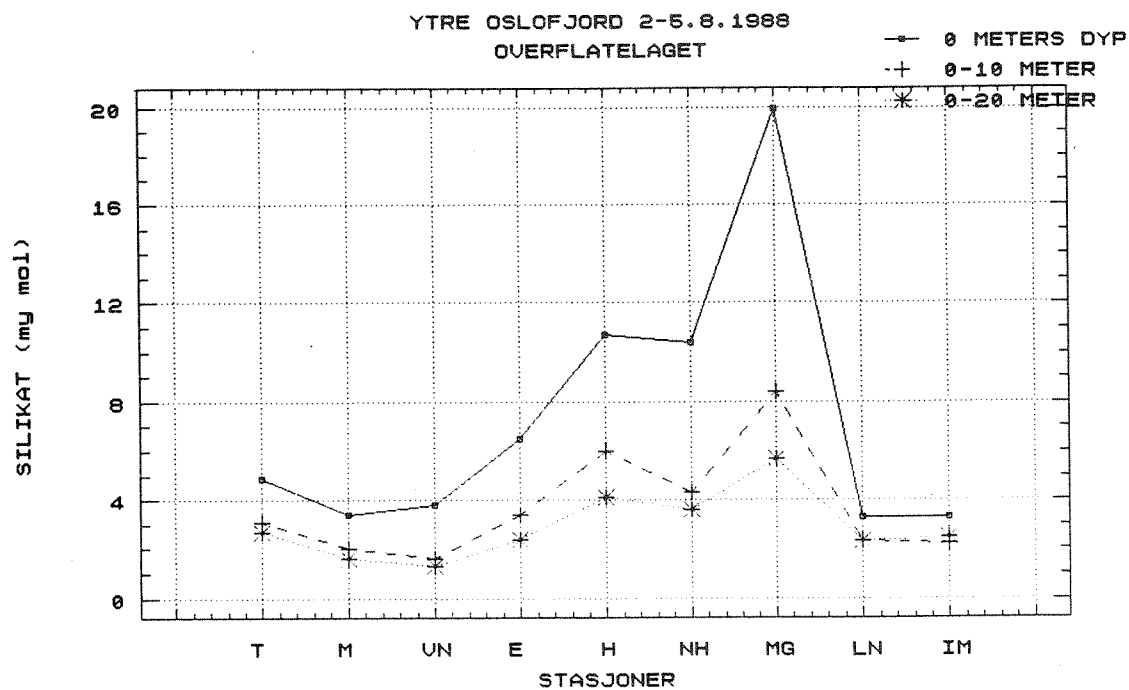
De få observasjonene som ligger til grunn for en bedømmelse av begrensende nærings salt i Ytre Oslofjord viser således variasjoner både i tid og rom mellom potensiell fosfor og nitrogenbegrensning. Det er foreløpig ikke mulig å si hvilket nærings salt som har størst betydning for planteplanktonproduksjonen i Ytre Oslofjord.



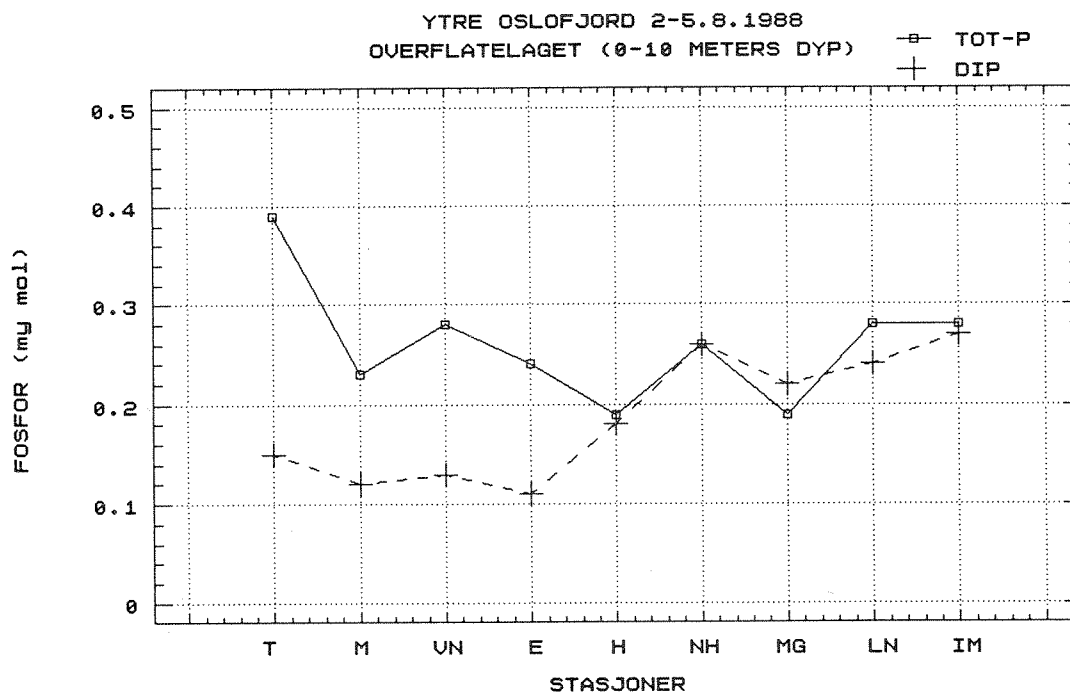
Figur 43. Saltholdighet (o/oo) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.



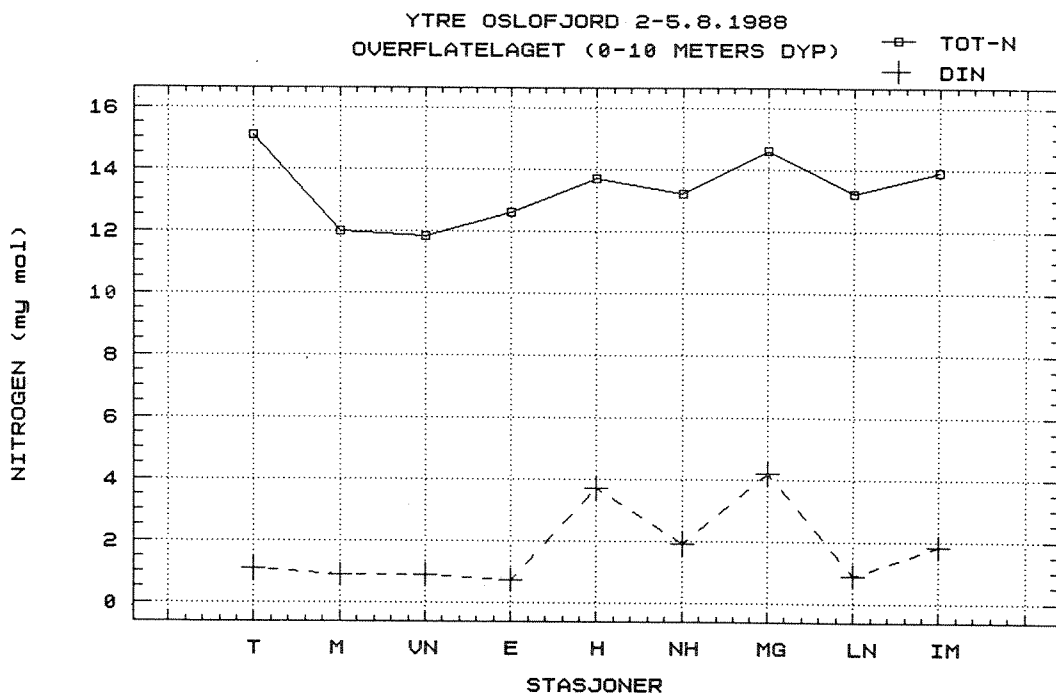
Figur 44. Oksygenmetning (%) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.



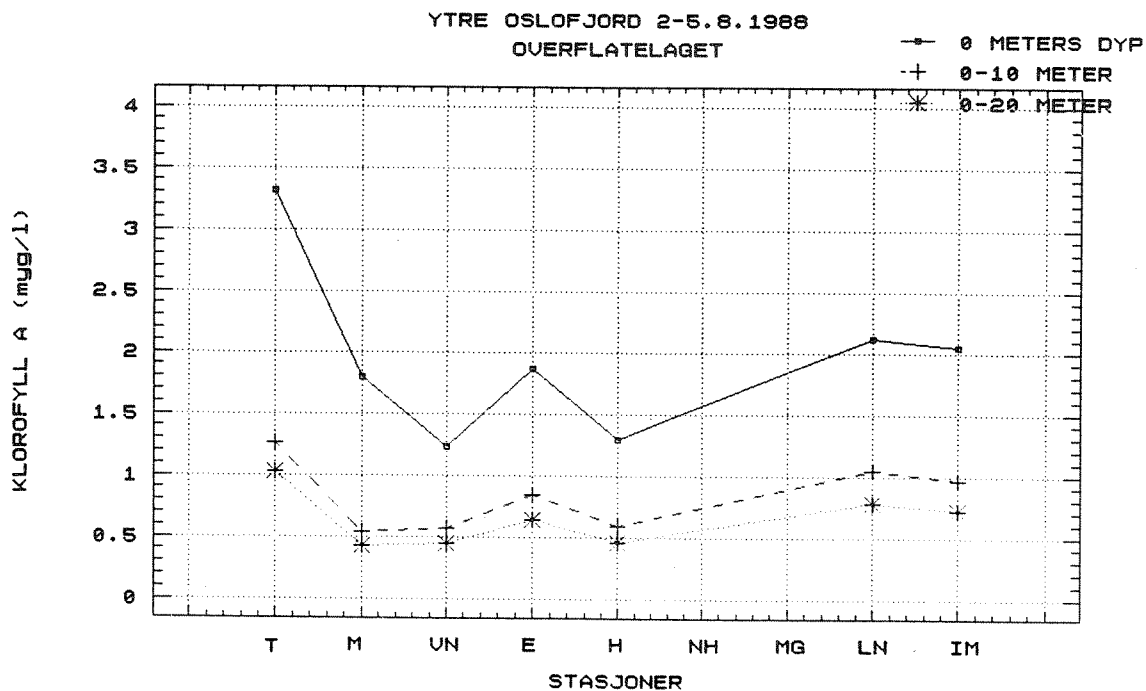
Figur 45. Silikat ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.



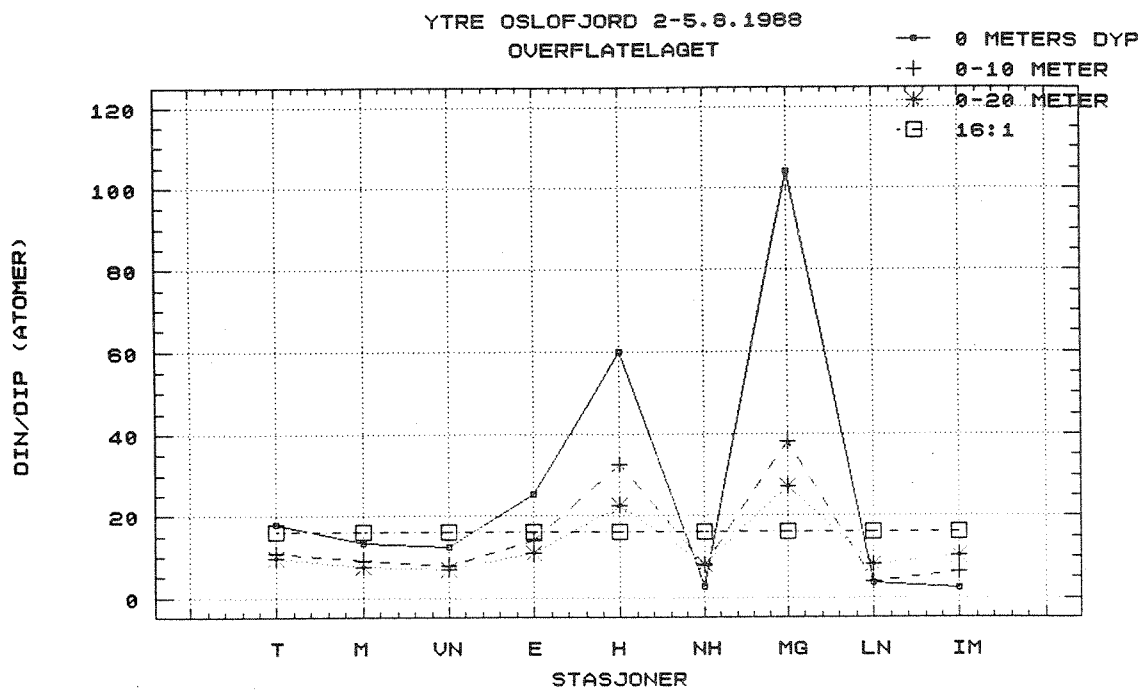
Figur 46. Tot-P og DIP ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord 4-5.8.1988.



Figur 47. Tot-N og DIN ( $\mu\text{M}$ ) i overflatelaget i Ytre Oslofjord den 4-5.8.1988.



Figur 48. Klorofyll-a ( $\mu\text{g/l}$ ) overflatelaget i Ytre Oslofjord den 4-5.8.1988.



Figur 49. Uorg N/P-forhold (DIN/DIP, atomekt) i Ytre Oslofjord den 4-5.8.1988.



### 3.3.8. Hydrokjemiske observasjoner i dypvannet i august 1988.

Tilsynelatende oksygenforbruk (AOU) er sammenlignet med silikat, fosfor og nitrogenkonsentrasjoner (se junitoktet, tabell 2 side 38).

Tabell 10. Korrelasjon mellom næringsalter og AOU i august 1988 (20 meters dyp til bunn).

Parameter	R	R <sup>2</sup>	a	b	N
Tot-P	0.87	0.76	-0.17	0.0061	44
Tot-N	0.87	0.76	9.77	0.0385	44
PO <sub>4</sub> -P	0.88	0.77	-0.12	0.0059	44
DIN	0.91	0.82	-1.08	0.0646	44
Silikat	0.92	0.84	-3.03	0.0560	44

Korrelasjonen mellom AOU og næringssaltene var omtrent på samme nivå som for junitoktet. For totalfosfor og ortofosfat var koeffisienten omtrent lik mellom juni og augusttoktet, mens det var forskjeller for de øvrige næringssaltene. Dessverre var antallet observasjoner mindre i august enn i juni, slik at korrelasjonens variasjon med dypet ikke lar seg gjennomføre fullt ut for augusttoktet. Likevel fremgår av tabell 9 at det nesten gjennomgående var meget dårlig korrelasjon mellom oksygenforbruket og uorganiske nitrogenforbindelser, mens korrelasjonen med totalnitrogen var bedre og for fosfor noe dårligere enn for junitoktet i hele vannmassen .

Si:N:P forholdet i august var 15.5:10.6:1.7 for tot-N og tot-P verdiene og 15.5:16.6:1.6 for de uorganiske forbindelsene. Silikat var nær Redfieldforholdet (106:15) omtrent som på junitoktet. For nitrogen var C/N-forholdet lavere for totalnitrogen, men omtrent likt Redfieldforholdet for løste nitrogenforbindelser. For fosfor var forholdet som i juni, dvs. over Redfieldforholdet.

Bakgrunnsverdien (dvs. interceptet i regresjonsanalysen) for totalnitrogen var i august ca. 10 µM mot 12.9 i juni. Dette er trolig organisk bundet nitrogen som ikke er tilgjengelig for planteplanktonproduksjonen. En forklaring kan være at nitrogenet er bundet til humus, som tilføres med ferskvannet i området (Drammenselva og Glomma)

eller via utslipp fra treforedlingsindustrien.

Konklusjonen fra toktet i august er den samme som for junitoktet mht. fosfor- nemlig en større konsentrasjon av fosfor i de dypere vannmassene enn nedbrytning av planteplankton skulle tilsi mens nitrogenkonsentrasjonen er bedre overensstemmende for uorganisk nitrogen. For totalnitrogen gir beregningene for lave konsentrasjoner. Silikat-konsentrasjonen ligger nær Redfieldforholdet.

Det er ikke lett å tolke nitrogenverdiene fra augusttoktet når resultatet varierer såpass mellom løste nitrogenforbindelser og total-konsentrasjoner. For totalverdiene er situasjonen i august som i juni med "for lite" nitrogen i fjordens dypvann, hvilket kan forklares med denitrifikasjonen. Imidlertid tyder ikke de løste nitrogenforbindelsene fra augusttoktet på noen denitrifikasjon.

"Overkonsentrasjonen" av fosfor forklares ved at fosfor direkte tilføres Ytre Oslofjord fra andre kilder enn ved nedbrytning av planteplankton, eller at nedbrytningshastigheten for fosfor og nitrogen i planteplankton er forskjellig.

Tabell 11. Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp august 1988.

- =  $R^2 < 65\%$ , ( ) =  $R^2$  fra 65-75, uten parentes =  $R^2$  mellom 75-90 og understreket  $R^2 > 90$ . a=tot-P og N, b=uorg. P og N.

Dyp		Si	N	P
20 meter	a	4.1	<u>16.2</u>	0.3
	b		<u>14.8</u>	0.5
30 meter	a	<u>8.8</u>	<u>18.3</u>	<u>0.7</u>
	b		-	0.7
50 meter	a	<u>7.8</u>	<u>16.7</u>	-
	b		-	(0.6)
100 meter	a	28	<u>15.4</u>	(1.6)
	b		-	2.2)
150-400 m	a	<u>16</u>	<u>7.6</u>	<u>1.5</u>
	b			<u>1.3</u>

Tabell 12. Beregnet Si:N:P forhold på ulike dyp august 1988.  
 - =  $R^2 < 65\%$ , ( ) =  $R^2$  mellom 65-75, uten parentes =  
 $R^2$  mellom 75-90 og understreket  $R^2 > 90$ . a=tot-P og N,  
 b=uorg. P og N.

Dyp	Si	N	P
Ytre Oslofj.a 20m -bunn b	15.5	10.6 16.6	1.7 1.6
Ytre Oslofj.a 150-bunn b	<u>16.0</u>	<u>7.6</u> 9.4	1.5 <u>1.3</u>

Den geografiske forskjellen fremgår av følgende analyse av observasjonene fra 20 meters dyp til bunn (se også tabell 13):

	<u>Tot-N og tot-P</u>	<u>Uorg. N og P</u>
T2,T4 og T6:	17:11:2	17:19:1.8
Vn 1:	17:12:1.8	17:19:1.8
NH 1:	18:7:1.7	18:13:1.6
IM 2:	ikke statistisk signifikante beregninger	

Det er nesten ingen gradient innover i fjorden for silikat og fosfor, mens det synes som om det kan være en avtakende tendens for nitrogenforbindelsene innover i fjorden.

Tabell 13. Analyse av oksygenforbruk på stasjonene T 2, Vn 1, Nh 1 og Im 2 i august 1988 ( 20 meters dyp til bunn)  $Y = a+b*AOU$ .

Sta/Param.	a	b	R <sup>2</sup>	N	Sta/	a	b	R <sup>2</sup>	N
T1-T6/Tot-P	-0.16	0.007	92	17	Nh 1	-.29	.0062	96	5
/ PO <sub>4</sub> -P	-0.11	0.006	87	17		-0.04	.0057	95	5
Tot-N	9.54	0.038	89	16		11.6	0.026	94	5
DIN	-0.58	0.069	83	17		1.4	0.047	85	5
Si	-2.79	0.061	89	17		-4.7	0.065	95	5
Vn 1/Tot-P	-.20	0.006	94	6	Im 2	0.59	.0014	--	5
PO <sub>4</sub> -P	-0.21	0.006	91	6		0.76	.0006	--	5
Tot-N	8.5	0.042	94	6		4.66	0.071	74	5
DIN	-2.1	0.070	94	6		-5.7	0.086	64	5
Si	-3.73	0.061	95	6		1.6	0.023	--	5

### 3.3.9. En enkel sammenligning av forholdene i Ytre Oslofjord med forholdene i Kattegat N, Skagerrak NØ og Indre Oslofjord.

En sammenligning mellom forholdene i Ytre Oslofjord og Indre Oslofjord, samt forholdene i Skagerrak/Kattegat er gjort i figurene 50-52, som viser gjennomsnittlige konsentrasjoner i ulike dypintervaller fra en stasjon utenfor Gøteborgs skjærgård (Kattegat N), i Skagerrak (S9), i Ytre Oslofjord på stasjonene VN 1 (Rauøy), NH 1 (Mølendypet), IM 2 (Drøbaksundet) og DK 1 (Vestfjorden i Indre Oslofjord). Næringssaltdata fra DK1 er fra august 1978, ettersom det mangler nitrogenobservasjoner fra august 1988 i Indre Oslofjord. Imidlertid var totalfosforkonsentrasjonen i Indre Oslofjord august 1988 omtrent lik den i august 1978, d.v.s. omtrent sammenlignbare forhold i 1978 og 1988

Oksygenkonsentrasjonen (figur 50) viser den laveste konsentrasjonen i

Indre Oslofjord, men også lav konsentrasjon i Kattegat. For øvrig var det liten forskjell i august mellom oksygenkonsentrasjonen i Skagerrak og Ytre Oslofjord, unntatt på mellomnivåer i Drøbaksundet (20-50 meters dyp) og i bunnvannet ved Mølen (Breidangen). Imidlertid var konsentrasjonen over eller omkring 4 ml/l i Ytre Oslofjord, hvilket er en nivå som ikke kan forventes å ha direkte negative effekter på miljøet.

Figur 51 viser klare gradienter i overflatelaget (0-10 meters dyp), av totalfosfor, totalnitrogen og løste næringssalter (DIP og DIN). De største overflatekonsentrasjonene av tot-P og tot-N ble observert i Kattegat N og Skagerrak, hvor konsentrasjonen ikke bare var større enn i Ytre Oslofjord, men også større enn i Indre Oslofjord. Derimot var forholdet det motsatte for de løste næringssaltene med økende konsentrasjoner fra Kattegat til Indre Oslofjord (unntatt for DIP i Indre Oslofjord). De løste næringssaltene fulgte samme mønster i 20-50 meters dyp, men her var totalkonsentrasjonene også størst i Indre Oslofjord. Fortsatt var totalfosforkonsentrasjonene noe større i Kattegat N enn i Ytre Oslofjord, unntatt i Drøbaksundet, mens totalnitrogenkonsentrasjonen i dette dypintervall varierte omkring samme verdier som i Kattegat og Skagerrak.

Fordelingen av de ulike fraksjonene av næringssalter i vannmassene mellom 0-50 meters dyp viser at fosfor og nitrogen i hovedsak var organisk bundet i Kattegat og Skagerrak, mens dette kun gjaldt for nitrogen i Ytre Oslofjord. Denne forskjell tyder på at Ytre Oslofjords overflatelag direkte tilføres organisk bundet nitrogen (f.eks. humus) i større utstrekning enn Kattegat og Skagerrak, der det er mest sannsynlig at den organiske fraksjonen er bundet til planteplankton. Dette stemmer bra med observasjonene av klorofyll a i Skagerrak og Ytre Oslofjord. Resultatet viser også at fotosyntesesesonen er dypere i Kattegat og Skagerrak enn i Oslofjorden.

Innstrømning av overflatevann fra Skagerrak (eventuelt fra Kattegat) vil således kunne øke den organiske belastningen på Ytre Oslofjord.

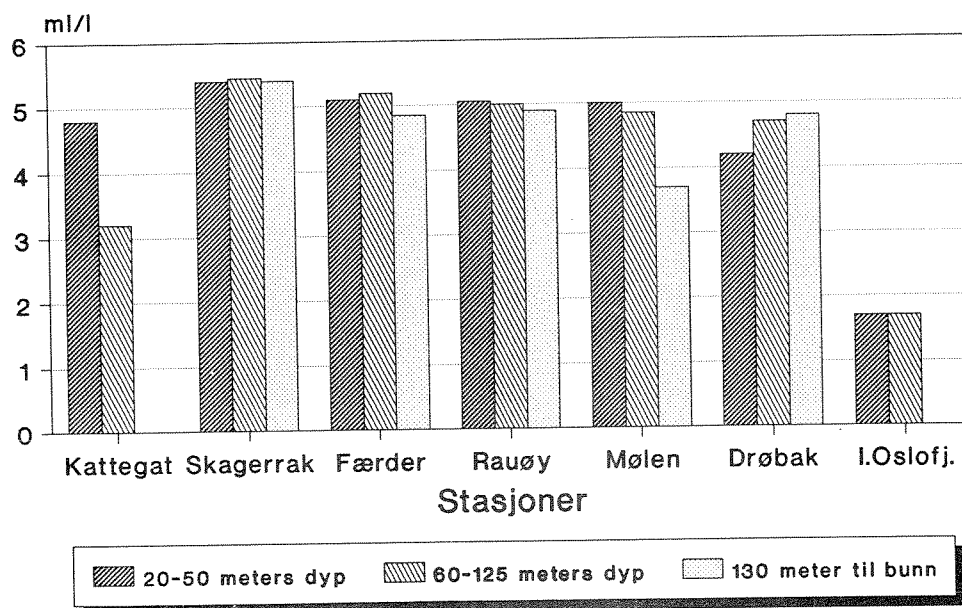
I de dypere vannlag (60-125 meters dyp), var næringssaltkonsentrasjonen i Kattegat større enn i sentrale deler av Ytre Oslofjord. Derimot var konsentrasjonene i Skagerraks vannmasser på dette dypintervall omtrent lik eller lavere enn i Ytre Oslofjord. På dyp større enn 150 meter (under terskeldypet til Ytre Oslofjord) var konsentrasjonene større i Ytre Oslofjord enn i Skagerrak.

Dette betyr at en innstrømning av dypvann fra Skagerrak til ytre Oslofjord ville ha en positiv effekt på fjordens dyvann, ved at

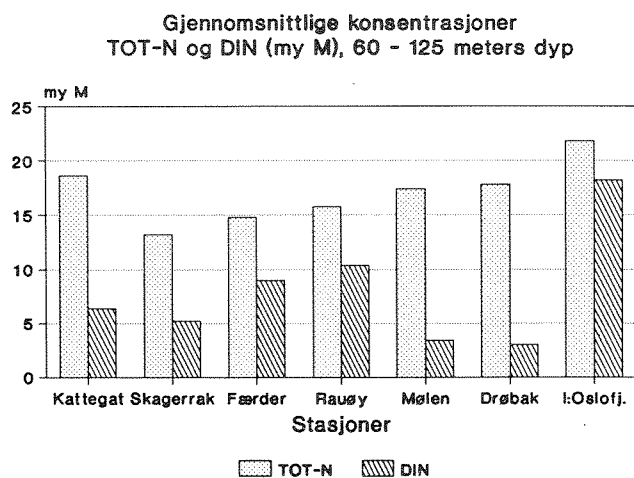
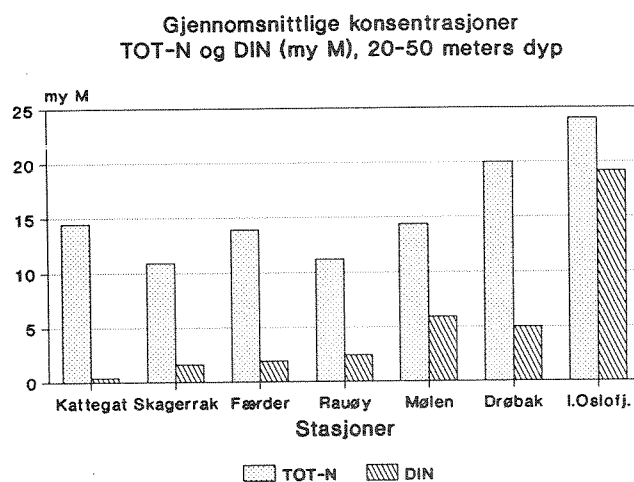
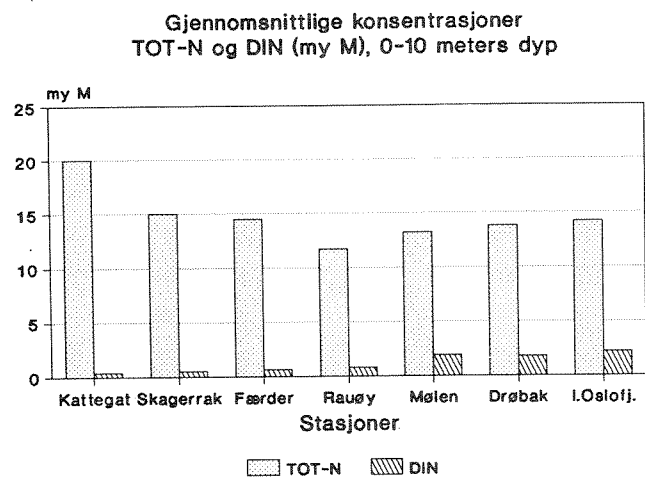
oksygenkonsentrasjonene skulle økt og næringssaltkonsentrasjonene avtatt. En innstrømming av vann fra 0-50 meters dyp i Skagerrak ville gi noe bedre oksygenforhold i Ytre Oslofjord, men samtidig en økt tilførsel av organisk bundet nitrogen og fosfor. Dessverre er det ikke mulig å si noe om hvor ofte og når vannutskiftning med ulike vannmasser i Skagerrak forekommer, ettersom dette forutsetter flere års samtidige observasjoner av forholdene i Skagerrak og Ytre Oslofjord.

Resultatene viser at oksygenforholdene i Ytre Oslofjord neppe er kritiske, sammenlignet med forholdene i nordre Kattegat og Indre Oslofjord. Hverken algebiomassen eller observasjonene av organisk bundet nitrogen og fosfor tyder på at forholdene i Ytre Oslofjord er dårligere enn i Kattegat. De løste næringssaltene viser dog at nedbrytningen av organisk stoff starter høyere opp i vannmassen i Ytre Oslofjord, dvs fotosyntesesonen er grunnere i fjorden enn i Skagerrak.

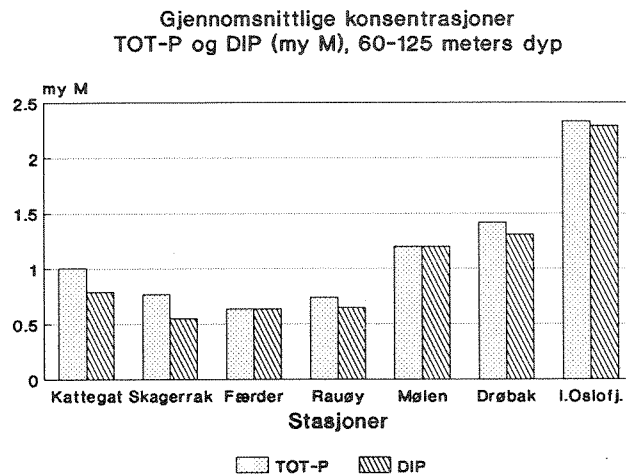
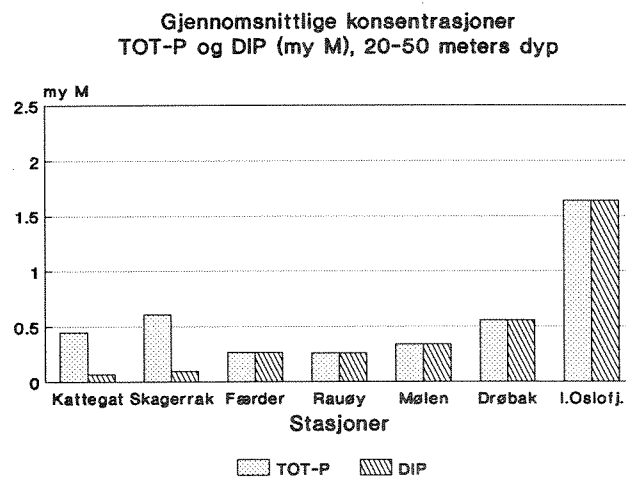
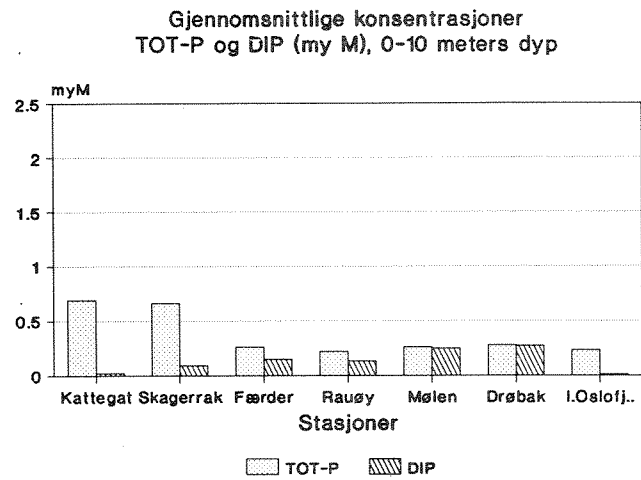
Oksygen (ml/l) i ulike dypintervall  
Gjennomsnittlige konsentrasjoner



Figur 50. Gjennomsnittlig oksygenkonsentrasjon (ml/l) i Kattegat N, Skagerrak Ø og Oslofjorden i ulike vannmasser august 1988.



Figur 51. Gjennomsnittlig nærings盐konsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i Kattegat N, Skagerrak Ø og Oslofjorden i ulike vannmasser i august 1988.



Figur 52. Gjennomsnittlig næringssaltkonsentrasjon ( $\mu\text{M}$ ) i Kattegat N, Skagerrak Ø og Oslofjorden i ulike vannmasser i august 1988.



### 3.4. Partikulært materiale i vannmasser. Resultater fra august 1988.

#### Innledning

Partikulært materiale i sjøvann er definert som den fraksjonen som kan frafiltreres vannet ved hjelp av et 0.4  $\mu\text{m}$  Nuclepore filter. Partikler som er mindre enn 0.4  $\mu\text{m}$  kan i mange tilfeller frafiltreres på grunn av klogging av porene i filtret. Det er således ingen absolutt avgrensning mellom partikulære og løste substanser.

Partikler i sjøvann består av både uorganiske komponenter (knyttet til aluminiumsilikater) og organiske komponenter (plankton, terrestriske plantefragmenter etc.) (Price og Skei, 1975, Skei og Melsom, 1982). Den kjemiske sammensetningen av partikler kan være med å karakterisere vannmasser ettersom disse partiklene er så små at de nærmest oppfører seg konservativt i vannmasser (Eisma et al., 1984). Partiklenes sammensetning sier derfor mere om vannkvaliteten enn om sedimentkvaliteten.

Det eksisterer et begrenset antall studier av kjemisk sammensetning av partikulært materiale i sjøvann. I tilknytning til undersøkelsesområdet Ytre Oslofjord - Indre Skagerrak er det tidligere foretatt undersøkelser av partikler i Frierfjord - Langesundsområdet (Green et al., 1979), i Hvaler-området (Næs og Skei, 1986) i Bunnefjorden (Skei, 1980 og Skei og Melsom, 1982,) og i Skagerrak (Eisma et al., 1984).

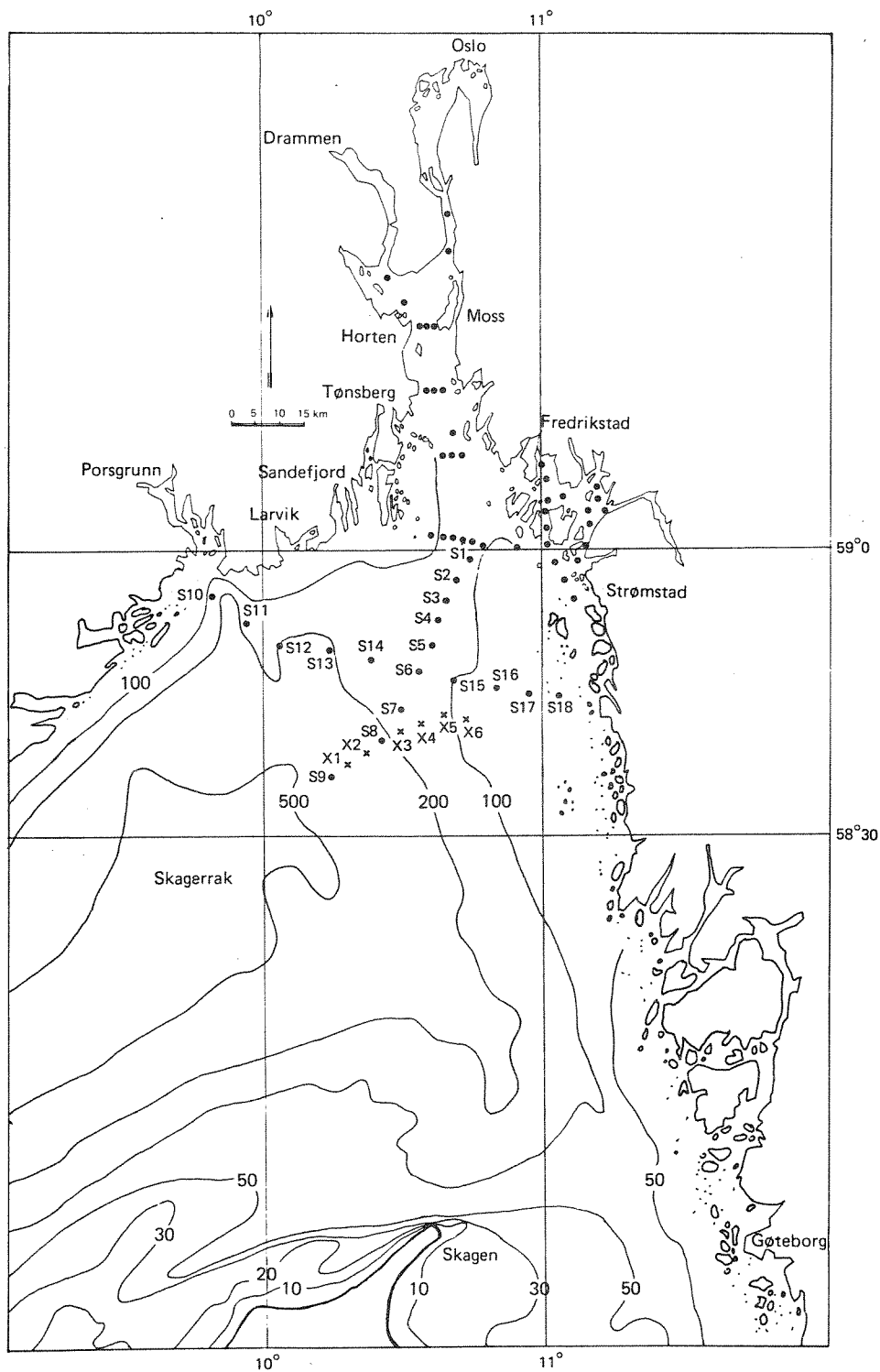
#### Målsetting

Studiene av suspendert partikulært materiale i vannmassene har hatt følgende mål:

- Kartlegge fordelingen av uorganiske sedimenter (mineralsk materiale), organisk materiale (f.eks. plankton) og forurensningskomponenter (f.eks. titan) i vannmassene.
- Bruke denne fordelingen til å sannsynliggjøre kilder og transportretninger.
- Ut fra kjemiske karakteristikk av det partikulære materialet kunne skille vannmasser fra hverandre.

## Resultater og diskusjon

Prøver for analyser av partikulært materiale ble innsamlet på stasjoner vist på figur 53.



Figur 53. Stasjoner hvor prøver for analyser av partikulært materiale ble innsamlet i perioden 1.8 - 5.8.88.

### 3.4.1 Total suspendert materiale (TSM).

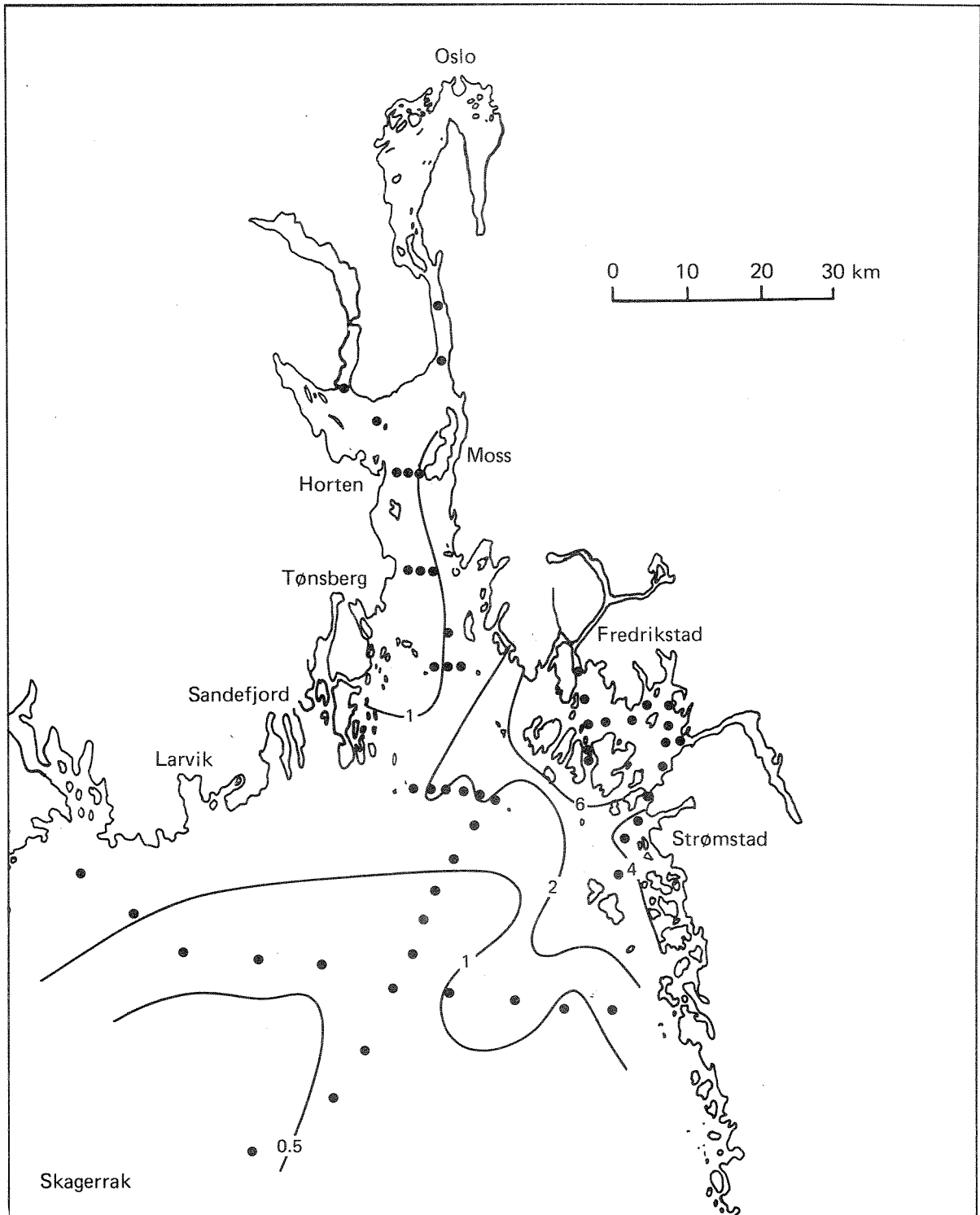
Ved måling av mengde TSM i vannmassen oppstår et problem når filtrene må vaskes for å fjerne salt. Samtidig med at saltet fjernes, blir også betydelige mengder organiske forbindelser (lipider i plankton) vasket ut. Av den grunn blir TSM-verdiene lavere enn de skulle ha vært, spesielt i overflatelaget hvor innslaget av plankton er størst.

Konsentrasjonene av TSM varierte mellom 0.3 og 2.2 mg/l med unntak av Hvaler-områder hvor det ble målt TSM-verdier i intervallet 4-14 mg/l (figur 54). De høyeste verdiene ble målt i overflatelaget, men på en del stasjoner ble TSM-maksimum registrert nærmest bunnen. Som eksempel kan nevnes at på stasjon S 14 (figur 53) ble det registrert dobbelt så mye partikler nærmest bunnen (140 m) som i overflaten (0.5 m). Undersøkelser i Skagerrak i juni 1982 viste TSM-verdier mellom 0.1 og 2.9 mg/l, svært ofte med høyeste verdier nært bunnen (Eisma et al., 1984).

Det siste må skyldes en betydelig oppvirvling av bunnsedimenter på grunn av store vannbevegelser (sterk strøm). Strømmålinger som er gjort viser at strømhastigheten ofte øker mot bunnen i Skagerrak (Rhode, 1987). En annen bidragende faktor kan være hyppig bunntråling.

Avstandsgradienten fra Drøbak (IM2) og midt fjords til den ytterste stasjonen i Skagerrak (S9) (figur 55) viser at de høyeste konsentrasjonene av partikler er rett vest for Hvalerøyene. Det er åpenbart at partikkeltransporten i Glomma er forklaringen på dette. Drammenselva ser ikke ut til å påvirke overflatevannets partikkelmengde utenfor Svelvik (Figur 54, MG 1).

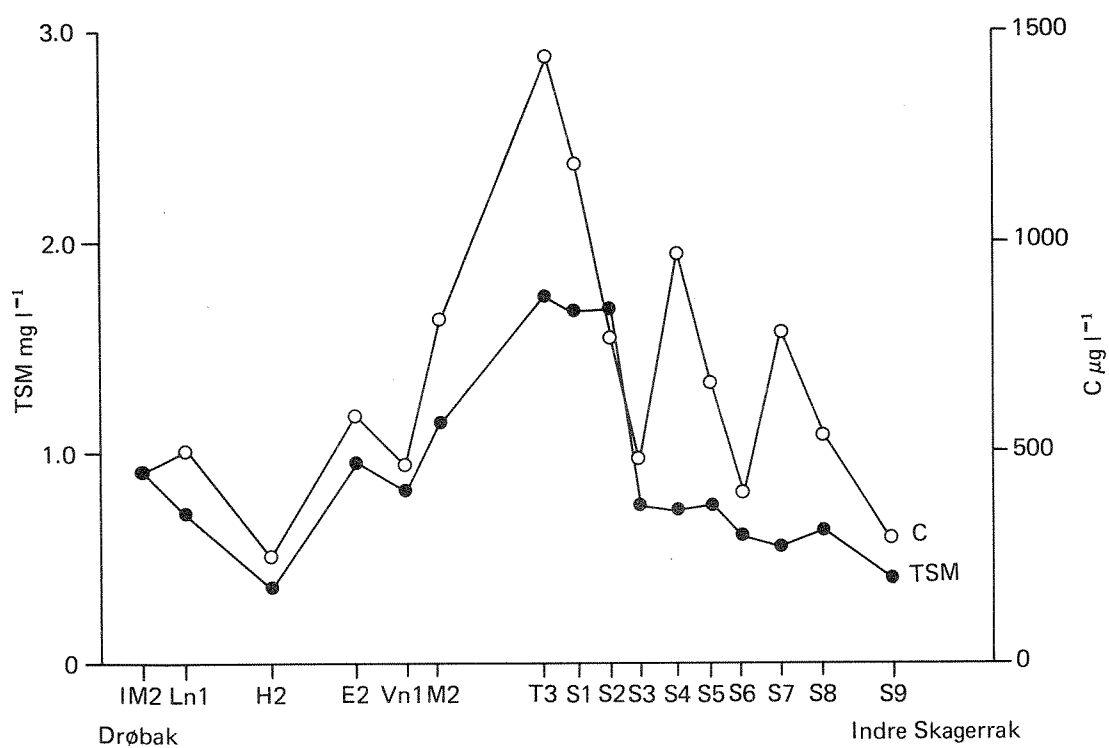
Terrsnittet Langesund (S10) - Kosterøyene (S18) (Figur 56) viser at mengdene av partikulært materiale i overflatevannet øker mot land. Det ble ikke registrert noe tilsvarende økning for partikulært aluminium, slik at denne økningen i TSM mot land neppe skyldes silikatpartikler (leire etc.). Derimot ble det registrert en tilsvarende økning for partikulært karbon (figur 56) slik at forklaringen må være større mengder organisk materiale nærmere land. Det kan derfor konkluderes med at det var mengden organiske partikler (f.eks. plankton) som i hovedsak bestemte fordelingen av TSM i Ytre Oslofjord august 1988 (figur 55).



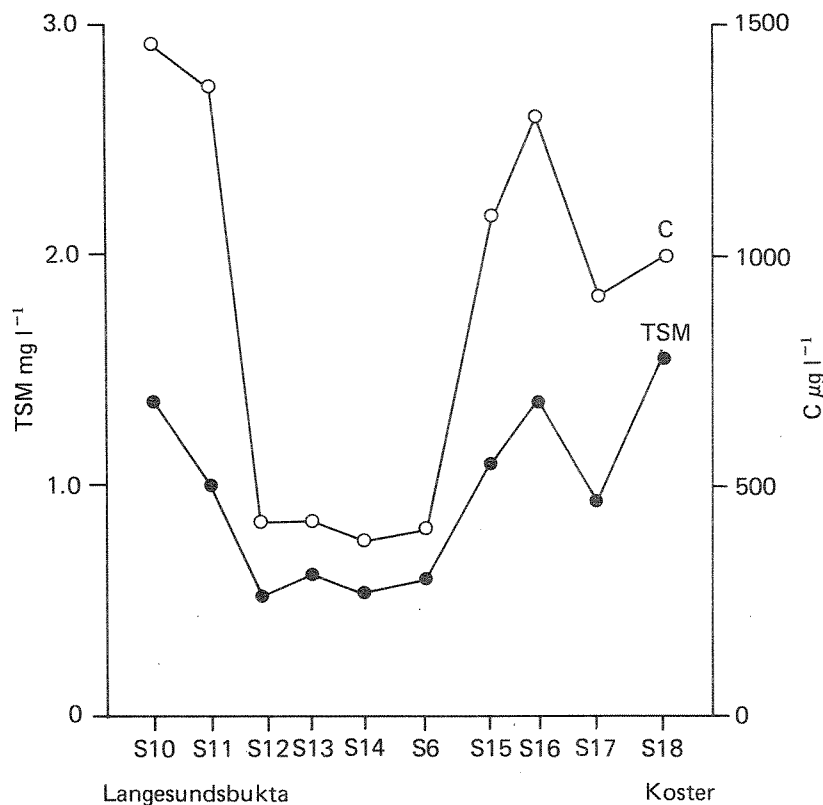
Figur 54. Total suspendert materiale (TSM) i overflateprøver, august 1988.

### 3.4.2. Partikulært aluminium (Al).

Konsentrasjonene av aluminium i partikulært materiale gir en indikasjon på mengde uorganisk silikatmateriale i prøven (Price og Skei, 1975). Undersøkelser av partikulært aluminium i prøver fra Skagerrak tatt i juni 1982 viste verdier mellom 0.6 og 205  $\mu\text{g/l}$  (0.1-24% Al). Til sammenligning inneholder leire i sedimenter fra Barentshavet 10% Al mens silt inneholder 5.9 % Al (Wright, 1972).



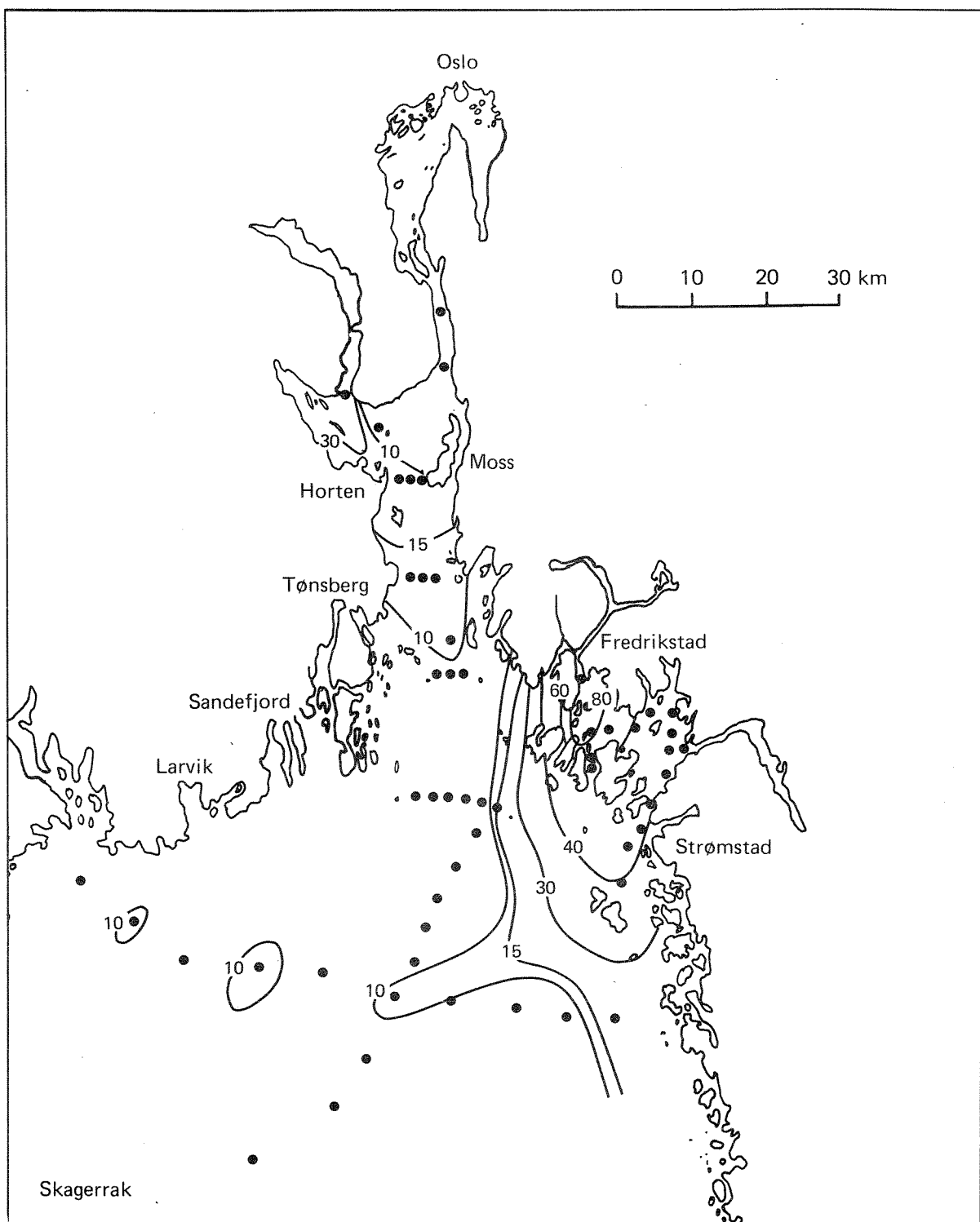
Figur 55. Fordeling av total suspendert materiale (TSM) og organisk karbon (C) i overflatevann på strekningen Drøbak - Indre Skagerrak.



Figur 56. Fordelingen av total suspendert materiale (TSM) og organisk karbon (C) i overflatevann på strekningen Langesundbukta - Koster.

Undersøkelsene av partikler i Ytre Oslofjord i august 1988 viste at konsentrasjonene av aluminium stort sett varierte i intervallet 2-10 µg/l (~1% Al) i overflatevannet. Unntak var overflatevannet fra utløpet av Drammensfjorden (MG 1) og øverst i Løperen (HL 2 og HL 5). Her ble det målt henholdsvis ~35 og ~270 µg/l aluminium (6 og 12% Al). Dette skyldes leiretransport i Drammenselva og Glomma (figur 57).

Aluminium-innholdet i bunnvannet er på de fleste stasjoner mange ganger høyere enn i overflaten. Dette indikerer oppvirvling av leire. Som eksempel kan nevnes at overflatevannet på stasjon S 3 i de sentrale deler av Ytre Oslofjord (figur 53) inneholdt 7.5 µg/l (1.0%) Al, mens vann på 275 m dyp inneholdt 59.4 µg/l (6.4%) Al.



Figur 57. Mengde partikulært aluminium ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevannet, august 1988.

Mens aluminium-mengden økte med en faktor på 7.9 mot bunnen, økte mengden av TSM bare med en faktor på 1.2. Dette tyder på at overflatevannet domineres av organiske partikler (plankton) mens bunnvannet domineres av uorganiske partikler (leire). Manglende sammenheng mellom TSM og Al viser at det er andre faktorer som bestemmer TSM-mengden (figur 58).

Tydelig resuspensjon av sedimenter kan registreres selv på den dypeste stasjonen i Hvaler-renna (T 2, 452 m). Her ble det 20 m over bunnen registrert over 22 µg/l Al.

Det kan konkluderes med at utbredelsen av partikulært aluminium i overflatevannet viser spredning av vann fra Drammensfjorden og Glomma som inneholder leire. Utbredelsen av leireholdig brakkvann sørover fra Hvaler tyder på at en annen vannmasse med lavt Al-innhold (og TSM-innhold, figur 54) påvirker stasjon S17 og tildels S16. Det bør påpekes at det er nesten 2 o/oo forskjell i saltholdighet i overflaten på stasjon S17 og S18 noe som indikerer at dette er to forskjellige vannmasser.

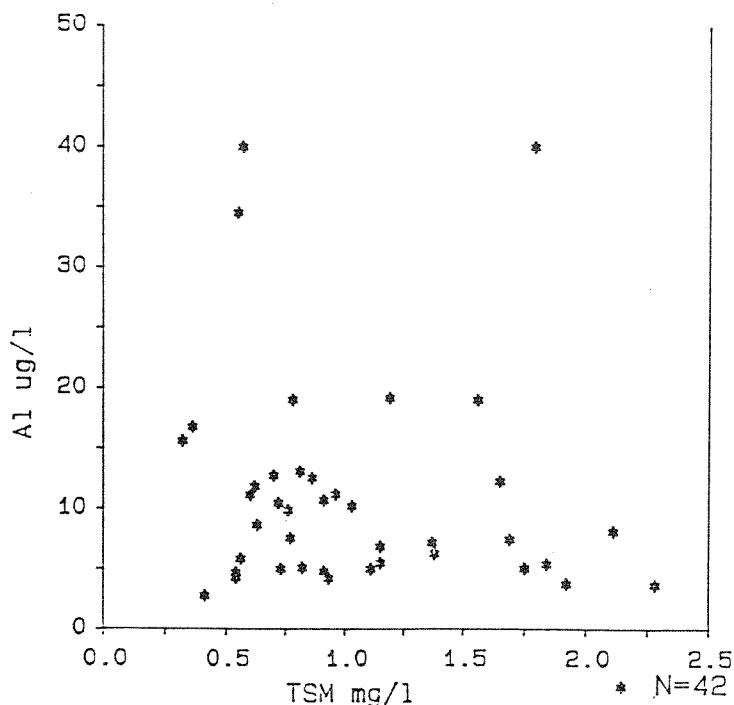
#### **3.4.3. Partikulært Silisium (Si).**

Silisium er i likhet med aluminium en av hovedkomponentene i silikat-mineraler (leire, etc.). Men i motsetning til aluminium er silisium tilstede i diatomèer slik at Si/Al-forholdet kan si noe om innslaget av plankton som har silisiumskall.

En lengdeprofil fra Drøbak til den ytterste stasjonen, viser at det er ingen klar gradient i Si/Al-forhold noe som indikerer store variasjoner i diatomè-skall i overflatevannet.

Si/Al-forholdet varierte stort sett mellom 4 og 10. Prøver som spesielt var leirholdige viste et Si/Al-forhold på 3.0 (Drammensfjorden) og 2.6 (Glomma). Det var således en del silisium i overflatevannet som må antas å være av biogen opprinnelse. Partikler i det bunn-nære vannet viste et Si/Al-forhold som var lavere enn i overflaten, noe som støtter antagelsen om at det er hovedsakelig uorganiske sedimenter som virvles opp. Sammenhengen mellom aluminium og silisium i prøvene er vist på figur 59. To prøver med ekstremt høyt Si/Al-forhold (22 og 34) ble tatt på stasjonene S15 og S17 og må utvilsomt skyldes lokal diatomè-utbredelse.





Figur 58. Totalt suspendert materiale (TSM) og partikulært aluminium (overflateprøver).

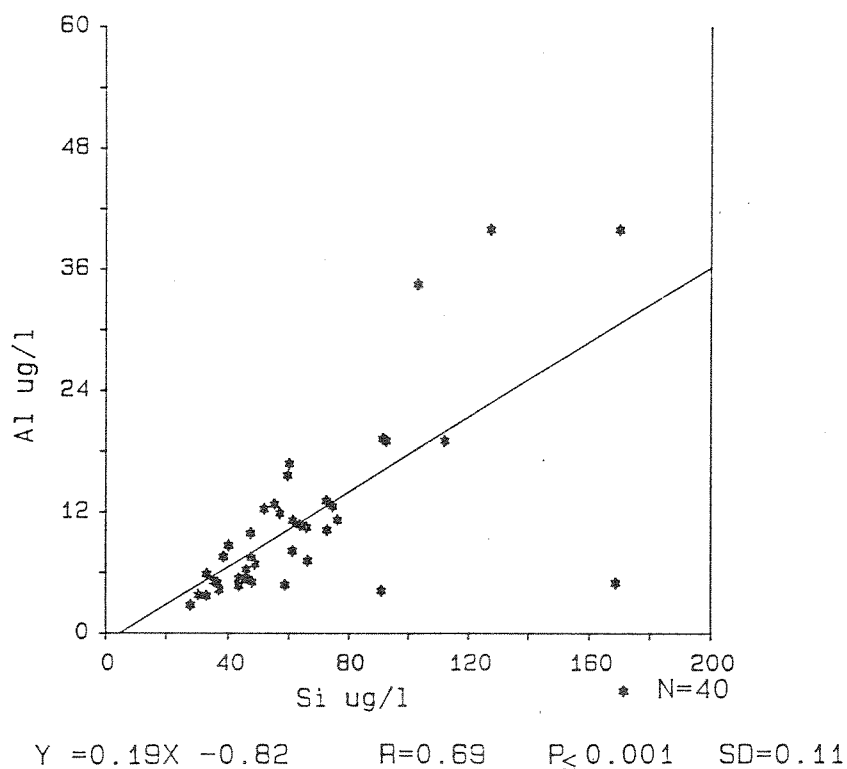
#### 3.4.4. Partikulært Jern (Fe).

Jern er, foruten en viktig komponent i silikatmineraler, også en betydelig forurensningskomponent, vesentlig som følge av utslipp fra Kronos Titan i Fredrikstad. Undersøkelser i Hvaler-området (Næs, 1983) viste at jernet oppstrøms Kronos Titan i Glomma hovedsakelig var bundet opp i leire, mens nedstrøms var det et stort innslag av jernforurensning. Men på grunn av de store mengdene med naturlig jern var det ikke enkelt å unngå en maskeringseffekt.

Figur 60 viser samvariasjonen mellom partikulært jern og aluminium (to prøver fra Glommas munning er utelatt på figuren pga. ekstremt høye konsentrasjoner; Fe ca. 120 µg/l og Al ca. 270 µg/l).

Figur 60 viser at det er en sterk korrelasjon mellom partikulært jern og aluminium ( $R = 0.92$ ,  $P \leq 0.001$ ). Dette betyr at det ut fra Fe/Al-forhold er lite tegn på jernforurensning i prøvene. Fe/Al-forholdet i overflateprøvene lå hovedsakelig i intervallet 0.6 - 1.0 uten særlig geografiske gradienter. Tverrsnittprofilen Langesundsbukta - Koster (figur 61) viser at Fe/Al-forholdet øker mot land. Det er imidlertid vanskelig å se at jernforurensningen fra Kronos Titan påvirker den kjemiske sammensetningen av partikulært materiale i Ytre Oslofjord

hvis bare forholdstall betraktes. Hvis derimot det prosentvise innholdet av jern i partikler også vurderes blir bildet noe mere nyanisert.

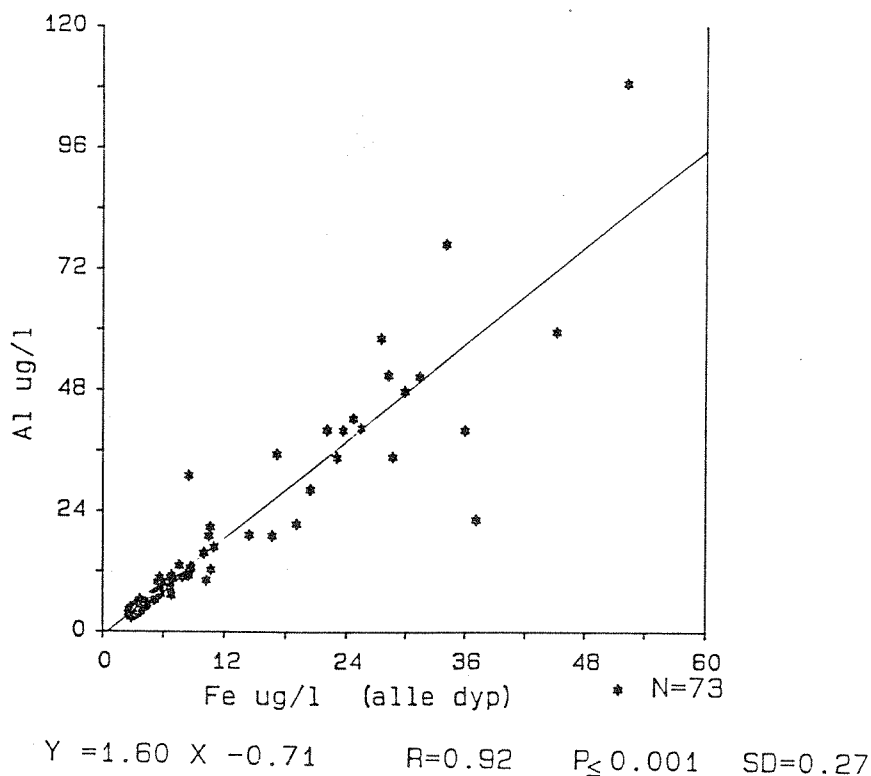


Figur 59. Korrelasjonen mellom partikulært silisium og aluminium (overflateprøver).

Av figur 62 fremgår at gjennomsnittskonsentrasjonen av jern i den ytterste delen av Ytre Oslofjord er 0.8% (n = 13) i overflatevannet. Ved tverrsnittet Færder - Torbjørnskjær (T1 - T6) og Fulehuk - Missingene (M1 - M3) var gjennomsnittskonsentrasjonene henholdsvis 0.2 og 0.4% jern. Fra de øvrige observasjonene (figur 62) går det frem at det er to kilder for jern. I Løperen inneholdt det partikulære materialet 5.3 - 5.8% jern, mens det ble målt 4.1% jern utenfor Iddefjorden og 2.0% like nord for Nord-Koster (HK1). Det er mye som tyder på at dette er overflatevann som er påvirket av utslipp fra Kronos Titan i Fredrikstad. Men i tillegg ser det ut til at overflatevannet fra Drammensfjorden er jernholdig (knyttet til humus eller jernminerale?) Ved Svelvik ble det målt 4.2% jern og det ble også registrert forhøyede nivåer i Horten-profilet (H1 - H3) og Eløya-profilet

(E1 -E3). Lenger ut kunne ikke påvirkningen spores.

Det kan konkluderes med at utbredelsen av jernholdige partikler i overflatevannet har to hovedkilder (Drammensfjord-området og Glomma) og at det er store likhetstrekk mellom utbredelsen av aluminium (figur 57) og jern (figur 62).

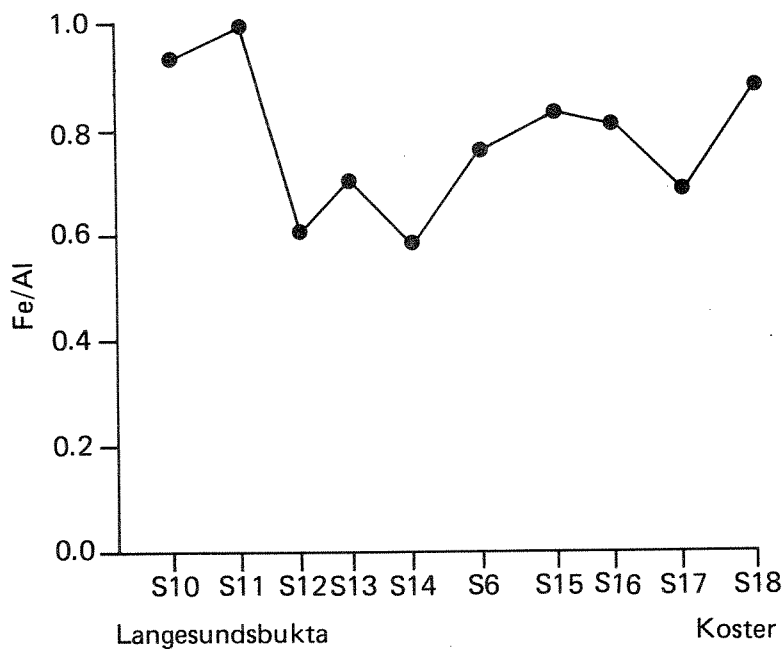


Figur 60. Korrelasjonen mellom jern og aluminium (alle dyp, med unntak av to prøver fra Løperen som er utelatt).

### 3.4.5. Partikulært Titan (Ti).

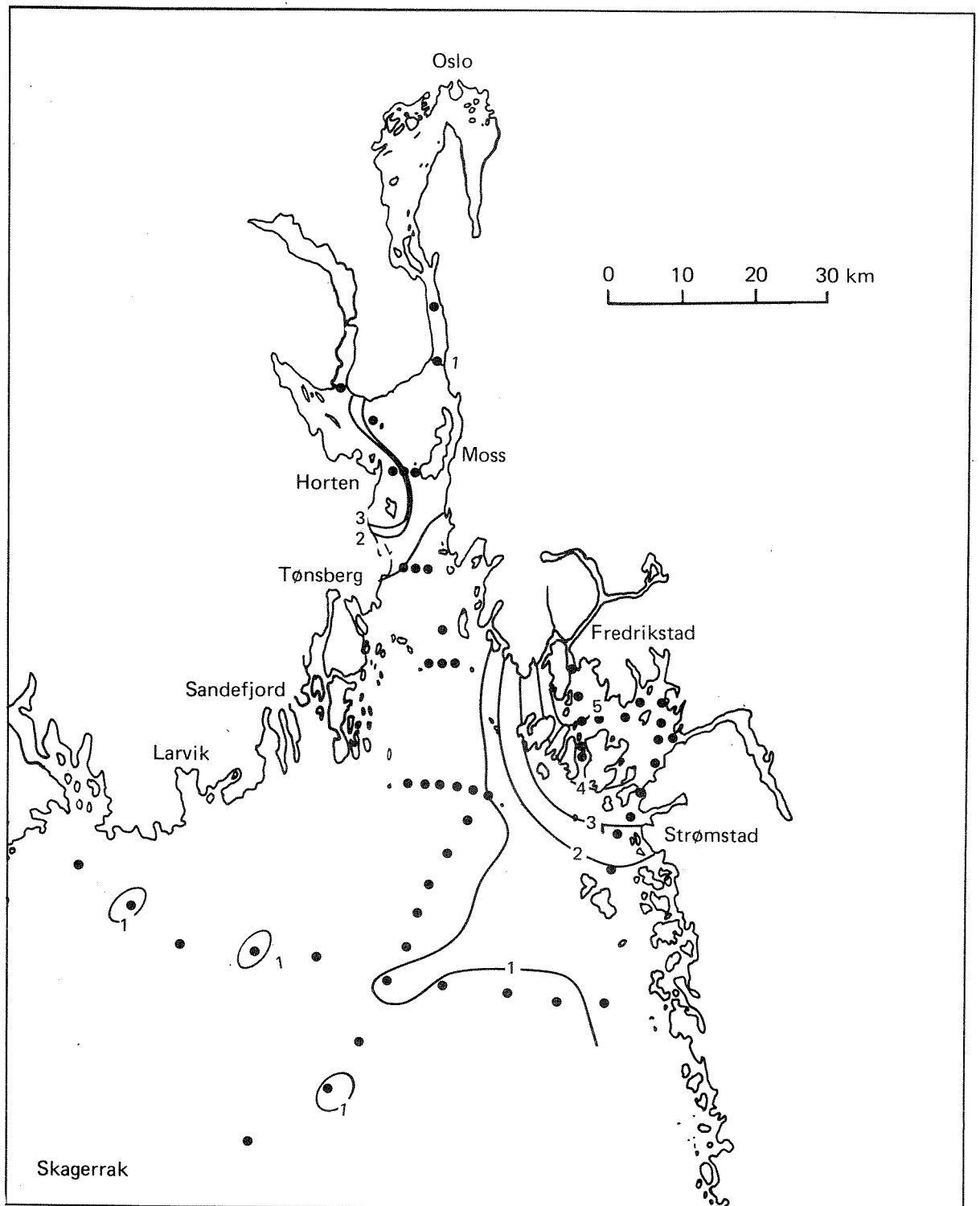
I tillegg til jern er titan en av de viktige komponentene i utslippet fra Kronos Titan. Men også naturlige silikatmineraler har et visst Ti-innhold og Ti/Al er tidligere målt til ca. 0.04 i områder uten titanforurensning (Price og Skei, 1975).

De fleste Ti/Al-forholdstallene i partikulært materiale i Ytre Oslofjord lå i et intervall som må anses som normalt.



Figur 61. Forholdet mellom jern og aluminium i partikulært materiale i overflatevann på strekningen Langesundbukta - Koster.

Prosenten av titan i det partikulære materialet lå i området 0.02 - 0.10% i det ytre området (figur 63). Unntak var prøver fra Løperen-området (HL2 og HL5), ved munningen av Iddefjorden (HS6), ved Nord-Koster (HK1) og rett vest for Hvaler-øyene (T1). Her inneholdt det partikulære materialet konsentrasjoner i området 0.13 - 0.53%. Det er meget sannsynlig at disse vannmassene er påvirket av utslipp fra Kronos Titan i Fredrikstad. Nøyaktig de samme overflateprøvene inneholdt også forhøyede konsentrasjoner av jern (1.3 - 5.8%). Det er forøvrig en sterk korrelasjon mellom jern og titan i samtlige prøver (figur 64). Dette skyldes mineralogiske forhold og kan være forklaringen på at partikulært materiale utenfor Drammensfjorden er anriktet både på jern og titan.



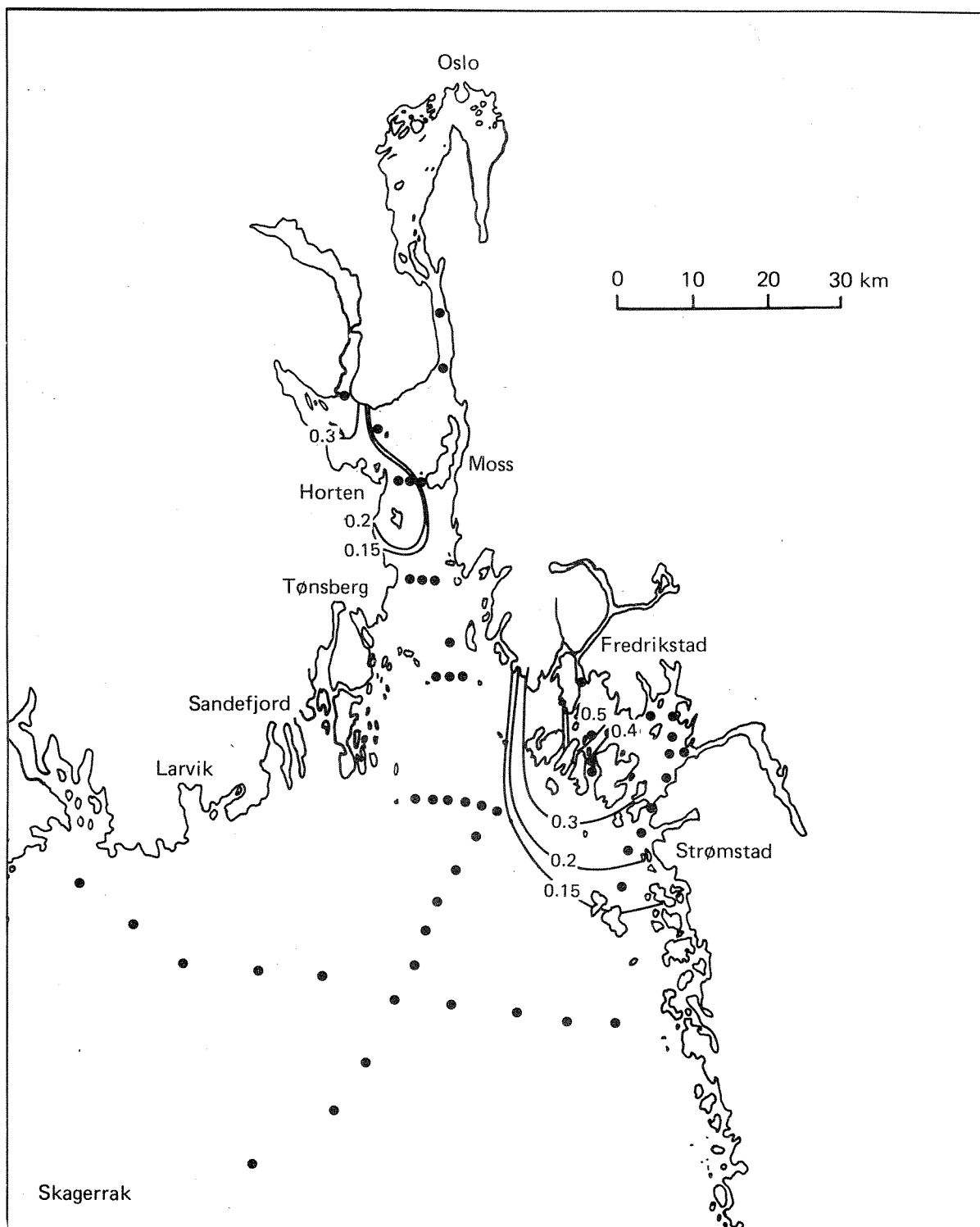
Figur 62. Jern (%) i partikulært materiale i overflatevann.

### 3.4.6. Partikulært fosfor (P).

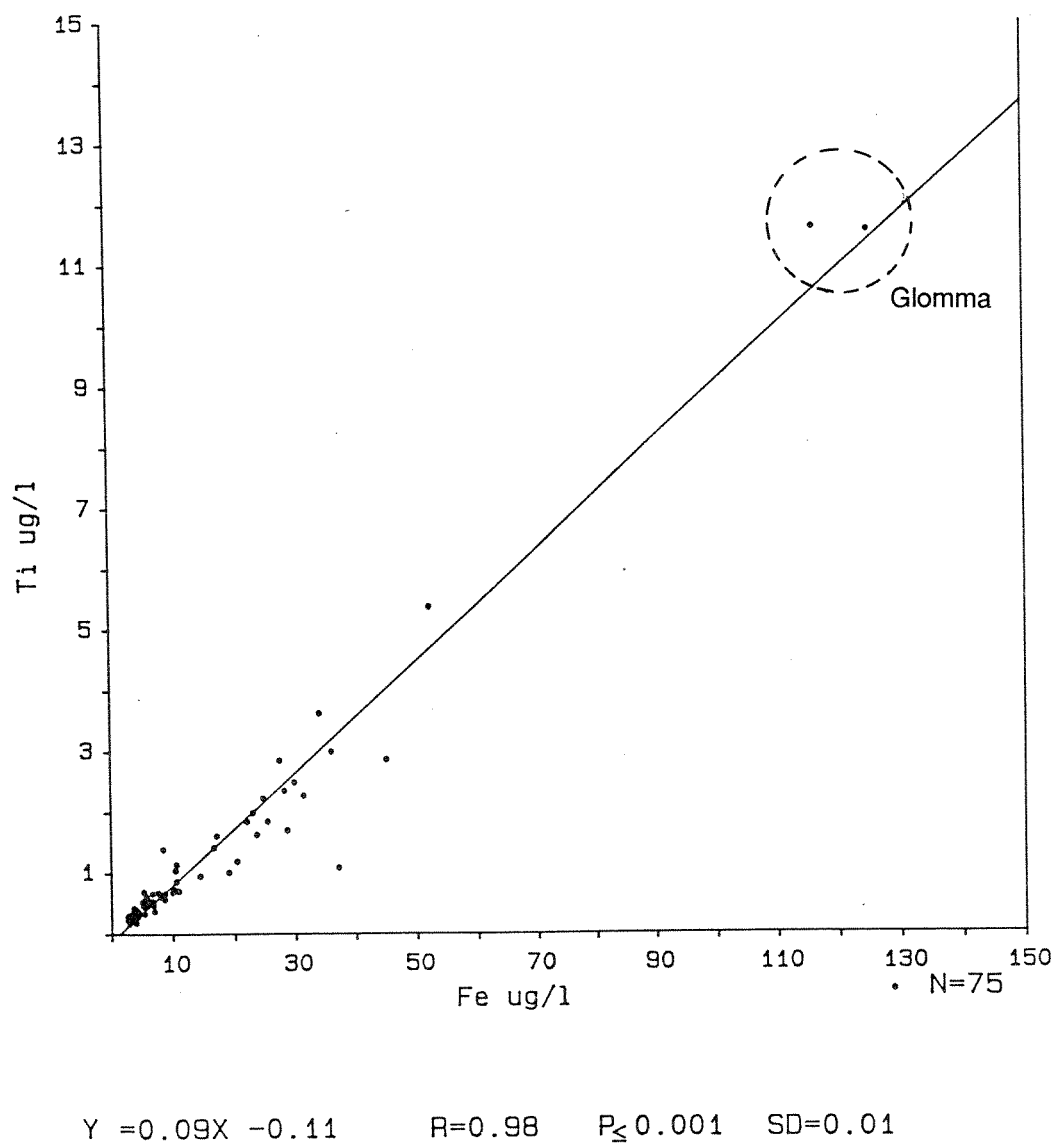
Som nevnt tidligere oppstår et problem når filtrene vaskes med deionisert vann for å fjerne salt. En stor del av fosformengden er knyttet til lipider og som lett fjernes ved vasking. Dermed blir fosforkonsentrasjonene underestimert. I rådata er det tatt med både fosforverdier for vaskede Nucleporefiltre og fosfor bestemt på glassfiberfiltre som ikke er vasket (tot-P). Det er store forskjeller (se også datarapporten), spesielt i overflatelaget hvor planktonmengden er størst. Differansen mellom fosfor-verdiene fremkommet på disse to forskjellige metodene gir en indikasjon på mengde "labilt" fosfor.

Med utgangspunkt i total fosfor (figur 65) fremgår at verdier som overskrider 10 µg/l opptrådte utenfor Langesunds-bukta, i Hvaler-Koster-området og midtfjords mellom Tristein og Torbjørnskjær. Dette stemmer også godt overens med klorofylldata (delprosjekt 3.7) som viser sammenfallende høye verdier. Mengdene av partikulært fosfor i området Moss til Missingen var høyest på østsiden.

Vertikalt i vannmassen avtok partikulært fosfor kraftig. Maksimum-konsentrasjonene opptrådte like under overflaten (4 - 20 m), deretter avtok konsentrasjonene ned mot bunnen på grunn av mineralisering av organisk materiale. Løst fosfat økte derimot.

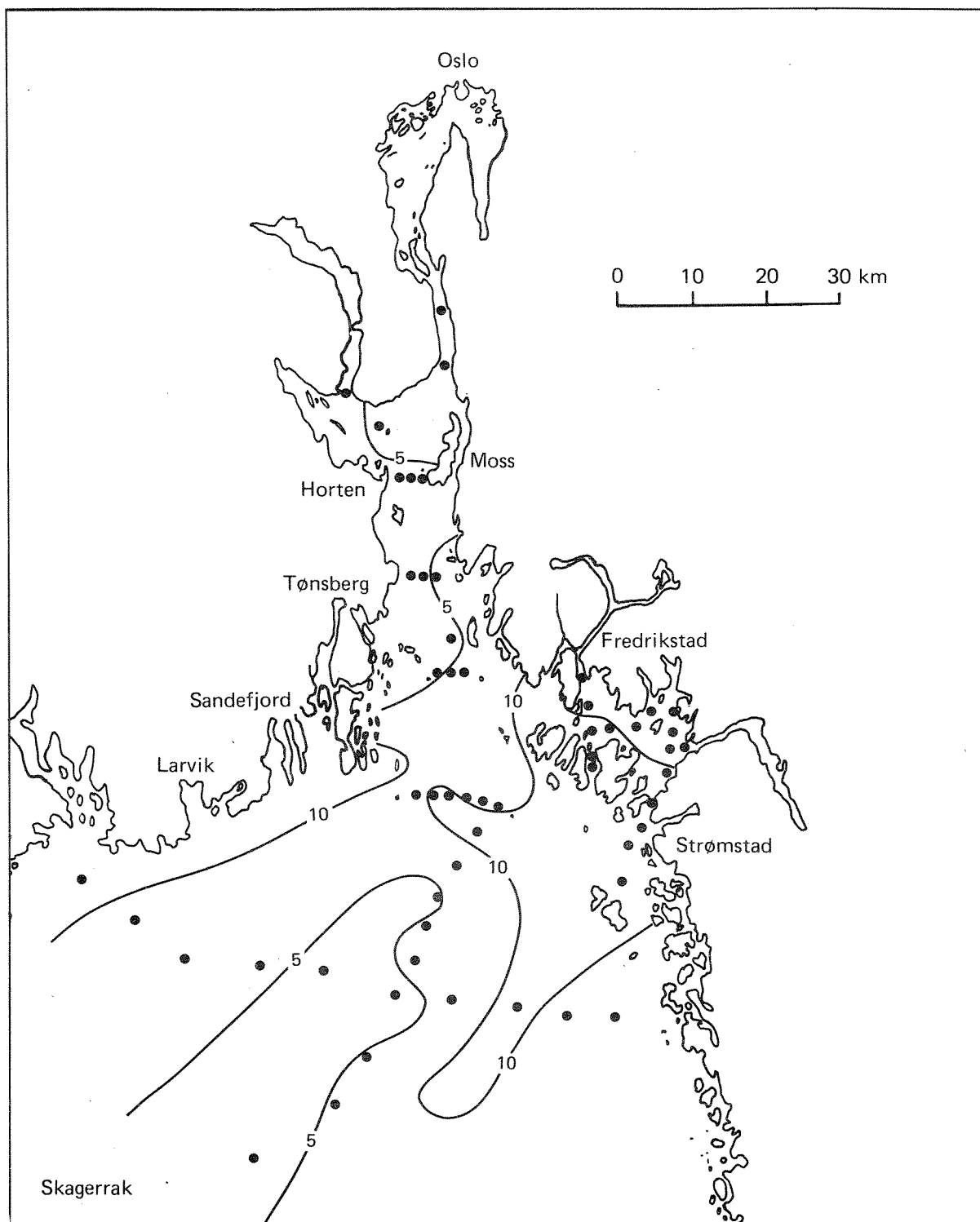


Figur 63. Titan (%) i partikulært materiale i overflateprøver.



Figur 64. Korrelasjon mellom partikulært jern og titan i samtlige prøver.





Figur 65. Mengde totalt partikulært fosfor ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.

### 3.4.7. Partikulært nitrogen (N).

Partikulært nitrogen er en bestanddel i organisk materiale og gir ofte et godt bilde av fordeling av organisk materiale i vannmassen. Overflatefordelingen (figur 66) viser at det er to områder med konsentrasjoner av partikulært nitrogen på over 100 µg/l. Det ene området er utenfor Langesundsbukta og det andre er området Tristein - Torbjørnskjær og ned til Kosterøyene. Innenfor Hvalerøyene var nitrogenmengdene betydelig lavere.

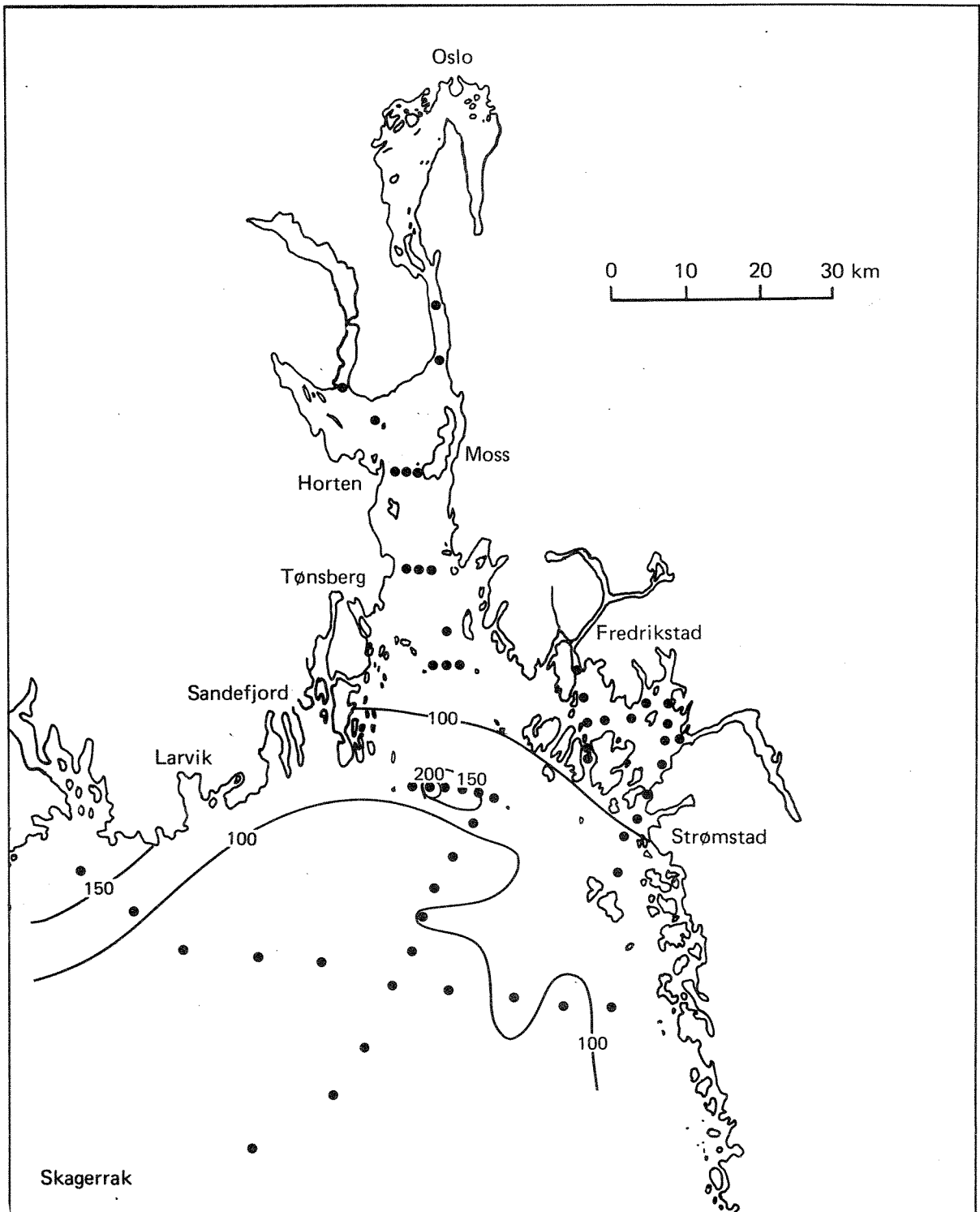
For N/P-forholdet (vekt) er det samme området som er karakterisert med høyt nitrogeninnhold også karakterisert med høyt N/P-forhold. Et vanlig N/P-forhold i plankton er ca. 7 (vektbasis). I området med høye N-verdier ble det registrert N/P-forhold i området 10 - 27. Konklusjonen blir at fordelingen av partikulært nitrogen i overflatevannet illustrerer produktiviteten i området bedre enn partikulært fosfor (figur 65). Figur 66 illustrerer også fronter mellom vannmasser spesielt i Tristein - Torbjørnskjær-profilen, men også nær stasjon S17 og S18 som tydelig representerer forskjellige vannmasser.

### 3.4.8. Partikulært karbon (C).

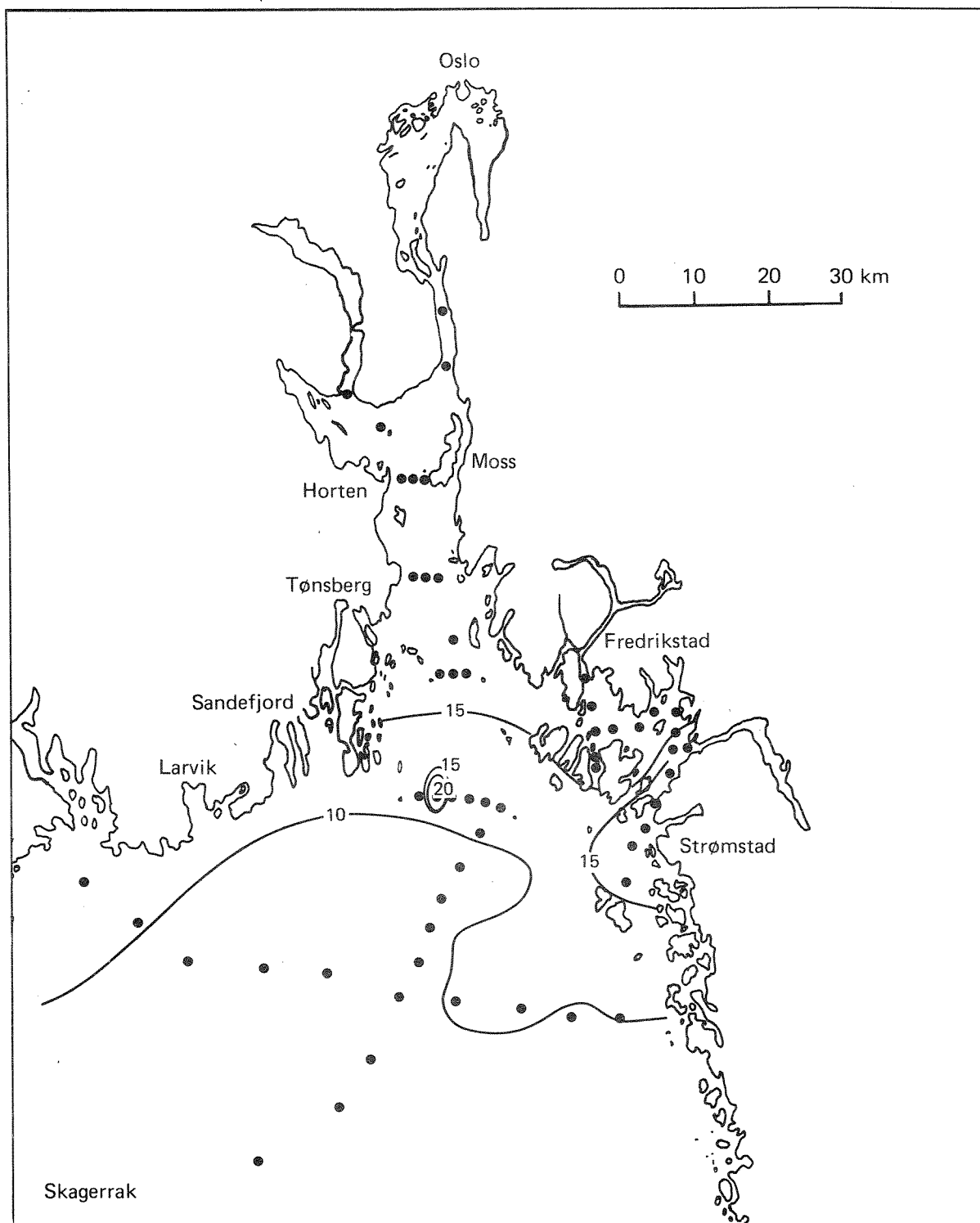
Glassfiberfiltrene ble behandlet med syre for å fjerne uorganisk karbonat, slik at C-verdiene representerer organisk karbon.

Overflatefordelingen av karbon er vist på figur 67. Denne viser en fordeling som er nokså lik den for nitrogen (figur 66). Overflatevann med stort innslag av partikler med høyt organisk innhold befant seg utenfor Frierfjorden og vest og sør for Hvaler-øyene. Innholdet av partikulært karbon i Løperen i august var imidlertid lavt, slik at det er ikke tilførsler av organiske partikler via Glomma som er forklaringen. Derimot kan næringstilførsel via Glomma bidra til den betydelige planktonproduksjonen på utsiden av Hvaler-området og ned til Koster-øyene. En annen karbon-kilde er Iddefjorden med utslipp fra Saugbrugsforeningen. Ved munningen av Iddefjorden ble det målt 1540 µg/l C. Her ble det også målt høye klorofyllverdier som kan være med og forklare den høye karbonverdien.

C/N-forholdet i det partikulære materialet varierte i overflaten mellom 6 og 23. To områder pekte seg ut med høye forholdstall. I munningen av Drammensfjorden ble det målt 16.5 sannsynligvis på grunn av humusholdig brakkvann fra Drammensfjorden.



Figur 66. Mengde partikulært nitrogen ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.



Figur 67. Mengde partikulært organisk karbon ( $\mu\text{g/l}$ ) i overflatevann, august 1988.

Saltholdighet ved overflaten var her 8 o/oo. Det andre området var Iddefjorden hvor det ble målt et C/N-forhold på 23.2. Dette er langt over det som er vanlig i plankton, slik at det må antas at utslipp fra Saugbrugsforeningen bidrar til forhøyet karbon-nivå. Et høyt C/N-forhold (14.8) ved Nord-Koster kan også ha sammenheng med påvirkning fra Iddefjord-vann.

### 3.4.9. Oppsummering – partikulært materiale.

Målet med å studere den kjemiske sammensetningen av partikulært materiale i forbindelse med eutrofiprojektet i Ytre Oslofjord var:

- (i) å se på fordelingen av mineralisk materiale (leire), organisk materiale og forurensningskomponenter hovedsakelig i overflaten, men også i enkelte dybdeprofiler
- (ii) se om det er mulig å bruke denne informasjonen til å sannsynliggjøre kilder og transportretning, samt identifisere vannmasser.

Hvis Al, Fe, Ti og Si hadde vært analysert i bunnsedimentene etter total opplutning, ville det også vært mulig å foreta en del sammenligninger med bunnsedimentene (Abdullah og Danielsen, 1989). Men ettersom sedimentene er oppluttet med svak syre er en slik sammenligning usikker. Også når det gjelder analyser av partikulært karbon er det metodiske forskjeller mellom de som Universitetet gjorde i august 1988 og de som NIVA foretok. Abdullah og Danielsen (1989) foretok ikke syrebehandling av filtrene, slik at C-analysene også inkluderer karbonater. Av den grunn viser Universitetets datamateriale at C/N-verdiene ikke endrer seg med dypet mens NIVAs data viser kraftig reduksjon i C/N-verdier vertikalt.

Fordelingen av mineralisk materiale er illustrert ved partikulært aluminium. Denne viser at det er to områder hvor overflatevannet har høyere nivåer av Al:

- (i) Hvaler-området og sørover forbi Koster
- (ii) Utløpet av Drammensfjorden og sørover til Horten – Tønsberg-området.

Det var sterk utstrømming av overflatevann fra Hvalerområdet i begynnelsen av august 1988 (Sørensen og Lindell, 1990). Satelittbilder sannsynliggjorde tilstedeværelse av Glomma-vann langt syd for Koster. Dette er også bekreftet av strøm- og saltholdighetsobservasjonene (Kap. 3.3.4). Høye aluminiumkonsentrasjoner både på stasjon HK1 og S18

(figur 57) kan derfor ha sammenheng med transport langt sørover av Glomma-vann som inneholder leire. Det er stor forskjell mellom overflatevannet på stasjon S17 og S18 med hensyn til innhold av mineralsk materiale (henholdsvis 4.2 og 19.1  $\mu\text{g/l Al}$ ). Saltholdigheten er også forskjellig ( $\delta S = 2$  o/oo) noe som støtter antagelsen at overflatevannet på stasjon S18 er influert av brakkvann fra Hvaler og befinner seg i en annen vannmasse enn på S17.

Vertikalprofilene for aluminium viser generelt høye verdier i bunnvannet. Dette må skyldes oppvirvling av uorganiske sedimenter på grunn av store strømhastigheter. Selv i Hvaler-renna hvor bunnypet på stasjon T2 ble registrert til 452 m, ble det målt en betydelig oppvirvling. Hyppig bunntåling kan også bidra til oppvirvlingen.

Fordelingen av organisk materiale er illustrert ved hjelp av C, N og P og deres forholdstall. Fordelingen av partikulært nitrogen i overflatevannet viser tre områder med høyt organisk innhold:

- (i) øst for Langesundsbukta
- (ii) vest for Hvaler-øyene og Koster-området.
- (iii) Kosterområdet

Spesielt høye konsentrasjoner av organiske partikler i området Tristein - Torbjørnskjær tyder på stor biologisk produksjon i overflatevannet i dette området. Her ble det målt verdier mellom 4 -5  $\mu\text{g/l}$  klorofyll (figur 29). Årsaken til at planktonproduksjonen er såvidt stor her, kan være at vannet har en lang oppholdstid på grunn av virveldannelse (se kapittel 3.3.2), eller at det er en fronteffekt.

Vertikalt i vannmassen avtar innholdet av organiske partikler. Det skjer samtidig en betydelig endring i C/N-forhold. På samtlige stasjoner reduseres C/N-forholdet kraftig. Som eksempel kan nevnes at C/N-forholdet i overflaten på stasjon S3 var ca. 17, mens det var ca. 7 på 12 m og ca. 3 på 275 m. Det skulle tyde på at karbon regenereres raskere enn nitrogen eller at overflatevannet og dypvannet tilføres karbon og nitrogen fra ulike kilder (forskjellige vannmasser).

Fordelingen av forurensningskomponenter er her illustrert ved jern og titan som slippes ut i store mengder fra Kronos Titan i Fredrikstad. Disse ble valgt for å se om utbredelsen kan si noe om transportretningen av Glomma-vann. Problemet med å bruke disse som traser er at de forefinnes i naturlige sedimentpartikler i betydelig omfang. Likevel er det mulig ut fra prosentvis innhold av henholdsvis jern og

titan å antyde noe. Det fremgår av figur 62 og 63 at jern /titanholdige partikler har to hovedkilder. Den mest markante kilden er Hvalerområdet hvor utslipp fra Kronos Titan er forklaringen. Her ble det målt ca. 0.5% titan i partiklene, mens det ble også påvist forhøyede nivåer ved munningen av Iddefjorden, vest for Torbjørnskjær og ned til Nord-Koster. Det er stor sannsynlighet for at dette indikerer Glommas influensområde i august 1988.

Den andre hovedkilden til høyt jern/titan-innhold er Drammensfjorden. Årsaken til dette er ikke klarlagt, men det kan være naturlige mineralogiske årsaker.

#### 4. REFERENSER

- Abdullah, M.I. og Danielsen, M., 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.6.b. Hydrokjemiske observasjoner i Ytre Oslofjord. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT), Rapport nr.421/90, Biologisk institutt, Universitetet i Oslo, 33 s. + vedlegg.
- Abdullah, M.I., Danielsen, M., 1989. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.10. Sedimentanalyser. Statlig program for forurensningsovervåking. Biologisk institutt, Universitetet i Oslo, 26 s Notat.
- Aure, J. and R.Sætre, 1981. Wind effects on the Skagerrak outflow. Pp, 263-293. In: The Norwegian Coastal Current, Eds: R.Sætre and M.Mork. University of Bergen.
- Brewer, P.G. and Riley, J.P., 1965. The automatic determination of nitrate in sea water. Deep Sea Research., 12, 765-772.
- Brewer, P.G. and Riley, J.P., 1966. The automatic determination of silicon in natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Acta, 35, 514-519.
- Dahl, F-E., 1990: Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.5.c. Strømmålinger i Oslofjorden - et sammendrag. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapp.nr. 423/90. VERITEC.
- Eisma, D., Skei, J., Westerlund, S., Kalf, J., Magnusson, B., Næs, K. & Sørensen, K., 1984. Distribution and composition of suspended particulate matter and trace metals in the Skagerrak. WGMS, Rosstock 1984. ICES Contribution, 14 p. + figures.
- Green, N., Kirkerud, L., Molvær, J., Rygg, B. og Skei, J., 1979. Overvåking av forurensninger i Grenlandsfjordene og Skienselva. Årsrapport for 1977. Norsk institutt for vannforskning, =0-76129, 152 s.
- Hackett, B. og Dahl, F-E, (1989). Data-atlas: Strømmålinger med en akustisk doppler strømmåler (ADCP) på F/F "Trygve Braarud", august 1988. Delprosjekt 3.5.a. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT): VERITEC, 56 s.



- Henriksen, A. and Selmer-Olsen, A.R., 1970. Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. *Analyst*, London 95, 514-518.
- Magnusson, J., Bokn, T. og T. Kallqvist, 1976. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Overvåkingsprogram - Årsrapport 1974. Norsk institutt for vannforskning.
- Magnusson, J., 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delrapport 3.4.c og 3.5.d. Hydrografiske observasjoner: Drøbaksundet februar-november 1988, Ytre Oslofjord juni 1988, Ytre Oslofjord/Skagerrak NØ august 1988. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport nr. 400/90. Norsk institutt for vannforskning.
- Magnusson, J., og J.M.Skei, 1984. Basisundersøkelser i Hvalerområdet og Singlefjorden. Hydrografi, vannutskiftning og hydrokjemii. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport nr. 170/84. Norsk institutt for vannforskning.
- Murphy, J. and Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- Næs, K., 1983. Basisundersøkelse i Hvalerområdet og Singlefjorden. Løste metaller og suspendert partikulært materiale i overflatevann og kjemisk sammensetning av bunnsedimentene, 1980-81. Statlig program for forurensningsovervåking, (SFT). Rapport nr 70/83. Norsk institutt for vannforskning.
- Næs, K. og Skei, J., 1986. Pollutant transport and sedimentation in the Glomma estuary, Southern Norway. *Rapp. P.-v.Reun.Cons.int. Explor. Mer.*, 196, 352-360.
- Paasche, E. (1989). Rapport til Statens forurensningstilsyn om tokt i Ytre Oslofjord, juli og august 1988. Biologisk Institutt, Avd. marin botanikk, Universitetet i Oslo. Notat.
- Paasche, E. & S.R. Erga, 1988. Phosphorus and nitrogen limitation og phytoplankton in the inner Oslofjord (Norway). *Sarsia* 73:229-243.
- Price, N.B. & Skei, J.M., 1975. Areal and seasonal variations in the chemistry of suspended particulate matter in a deep water fjord. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 3, 349-369.

- Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A., 1963. The influence of organism on the composition of sea-water. In: *The Sea*. (M.N.Hill, ed.) Interscience Publishers, John Wiley & Sons. Pp. 26-77.
- Reusch Berg, B. and Abdullah, M.I., 1977. An automatic method for the determination of ammonia in sea water. *Water Res.*, 11, 637-638.
- Rhode, J., 1987. The large-scale circulation in the Skagerrak, interpretation of some observations. *Tellus*, 39 A, 245-253.
- Røed, L.-P. og H.Skåtun, 1989. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.3b. Transportmodell av overflatelaget i Ytre Oslofjord. Rapport 2: Resultater fra simuleringer; En analyse og oppsummering. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport nr. 396/90. VERITEC; 78 s.
- Skei, J.M. & Melsom, S., 1982. Seasonal and vertical variations in the chemical composition of suspended particulate matter in an oxygen deficient fjord. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 14: 61-78.
- Skei, J., 1980. The chemistry of suspended particulate matter from two oxygen deficient Norwegian fjords - with special reference to manganese. *Fjord Oceanographic Workshop, Victoria*, 693-697.
- Stigebrandt, A. and Aure, J., 1988. Observations of plant nutrients in some Norwegian fjords. *Sarsia*, 74: 303-307.
- Svansson, A., 1972. Canal models of sea level and salinity variations in the Baltic and adjacent waters. Fishery Board of Sweden, Series hydrography, Report No 26, 72 s.
- Svansson, A., og R.Sætre, 1988. Hydrografiske forhold i grenseområdet mellom Sverige og Norge. Notat til Statens forurensningstilsyn.
- Sørensen, K., og T. Lindell, 1990. Eutrofisituasjonen i Ytre Oslofjord. Delprosjekt 3.7.a. Optiske observasjoner - overflatevannets kvalitet sett ut fra observasjoner i overflatelaget og fjernanalyse. Statlig program for forurensningsovervåking (SFT). Rapport 387/90. Norsk institutt for vannforskning, 42s.
- Wright, P.L., 1972. The geochemistry of recent sediments of the Barents Sea. Unpubl. Ph.D.thesis, Univ. of Edinburgh.

## VEDLEGG

RAPPORT TIL STATENS FORURENSNINGSTILSYN OM TOKT I  
YTRE OSLOFJORD, JULI OG AUGUST 1988.

E.PAASCHE

Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo

## RAPPORT TIL STATENS FORURENSNINGSTILSYN OM TOKT I YTRE OSLOFJORD, JULI OG AUGUST 1988

E. Paasche  
Biologisk institutt, Universitetet i Oslo

Målingene i ytre Oslofjord i 1988 ble utført i tilknytning til vårt forskningsprogram "Metodestudier for bestemmelse av begrensende næringsstoffer i fjorder". Ved tre anledninger i juli og august forlenget vi våre tokt slik at vi kunne besøke stasjonen Rauer (VN-1) i tillegg til Steilene (DK-1) i indre fjord. Vi fikk støtte fra SFT for å dekke de ekstra omkostningene.

Våre metoder er beskrevet i Prosjektrapport nr. 86 for 1988 under NTNFS program for VAR-teknikk (gult hefte). Det vises til denne og til andre rapporter som refereres der.

### Målinger i vannsøylen

Tabellen viser de hydrografiske, hydrokjemiske og planktonkjemiske forholdene ved Rauer på de tre dagene, 6. juli, 9. august og 30. august. På alle tre dagene var restkonsentrasjonene av fosfat, nitrat og ammonium så lave at både P og N var potensielt begrensende.

På de to første datoer var planktonbestandene normale for årstiden (1-4  $\mu\text{g}$  klorofyll/liter), mens en enorm biomasse (50  $\mu\text{g}$  klorofyll/liter) hadde etablert seg på den siste datoen. Mikroskopering viste at planktonet i juli og tidlig i august for det meste bestod av kiselalger, mens dinoflagellater (*Gyrodinium aureolum* og *Ceratium furca*) dominerte helt i den store oppblomstringen sent i august.

6. juli og 9. august tydet de atomære forholdstallene (PN/PP >20, PC/PP >200, PC/PN >10) på samtidig fosfor- og nitrogenbegrensning. Forholdstallene 30. august derimot lå meget nærmere Redfieldforholdene (som er PN/PP =16, PC/PP =106, PC/PN =6,6), slik at der ikke var noen tydelige tegn på næringsbegrensning da. Likevel kan næringsbegrensning ikke ha vært langt unna, siden der var 30 ganger mere nitrogen i algene enn det som var igjen i vannet som nitrat og ammonium; og tilsvarende for fosfor.

### Tilveksteksperiment

Resultater av tilveksteksperiment utført med fortyningsteknikk 6. juli og 9. august er vist i figuren. Forsøk på eksperimentering 30. august mislyktes pga den store planktonbiomassen.

Tolkningen av disse tilveksteksperimentene bygger på en videre ekstrapolering fra målte veksthastigheter til veksthastigheten ved uendelig stor fortynning (dvs til ordinataksen), ved hjelp av en tenkt kurve lagt gjennom målepunktene:

6. juli: Fortynningsserien selektivt anrikt med fosfat (fylte kvadrater) tillater en ekstrapolering til samme veksthastighet som regresjonslinjen for komplett anrikning med fosfat pluss ammonium (kors). Det samme gjelder serien selektivt anrikt med ammonium (åpne kvadrater). Dette betyr at næringsbegrensningen ikke var sterk, og at det ikke lar seg avgjøre om det var fosfor eller nitrogen som var mest begrensende.

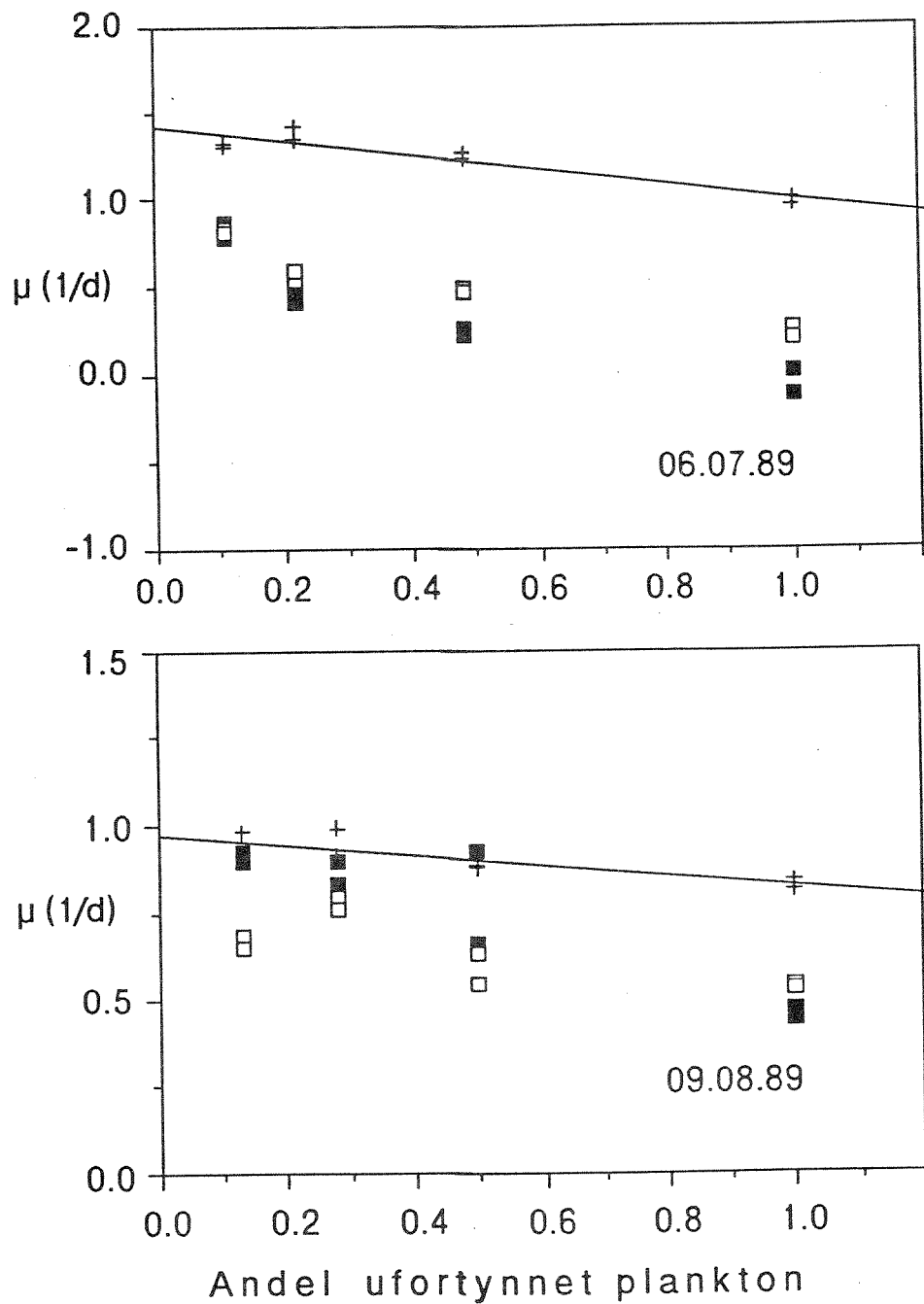
9. august: Fortynningsserien selektivt anrikt med fosfat (fylte kvadrater) tillater en ekstrapolering til samme veksthastighet som regresjonslinjen for komplett anrikning (kors). Derimot kan målingene fra serien selektivt anrikt med ammonium (åpne kvadrater) bare ekstrapoleres til en tydelig lavere veksthastighet. Dette betyr at fosfor var det begrensende næringsstoffet.

### Konklusjon

En samlet tolkning viser at planktonveksten i ytre Oslofjord (Rauer) i begynnelsen av juli var samtidig, men bare svakt, begrenset av nitrogen og fosfor, mens der i begynnelsen av august var klar fosforbegrensning, dog med tilløp til sekundær nitrogenbegrensning.

I slutten av august var planktonbestanden unormalt stor, samtidig som de kjemiske målingene tydet på at der ikke var noen næringsbegrensning. Dette siste lot seg ikke bekrefte eksperimentelt. Dagene i forveien må der ha vært en stor nettotilvekst av plankton, ensbetydende med en kraftig tilførsel av næring. Våre målinger kan ikke avgjøre om denne næringen kom fra dypet, fra andre områder ved langveis horisontal transport, eller fra det lokale omlandet rundt ytre Oslofjord. Siden samme oppblomstring ble rapportert fra hele Skagerrakkysten, er den siste forklaringen kanskje den minst sannsynlige.





Figuren viser resultat av tilveksteksperimenter 6. juli og 9. august 1988. Punktene angir komplett næringsanrikning (kors, med tilhørende regresjonslinje), anrikning bare med fosfat-fosfor (fylte kvadrater), og anrikning bare med ammonium-nitrogen (åpne kvadrater).

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69, Korsvoll  
0808 Oslo 8

ISBN 82-577 -1820-3