

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

0-71160 (0-160/71)

UNDERSØKELSE AV HYDROGRAFISKE OG
BIOLOGISKE FORHOLD I INDRE OSLOFJORD
OVERVÅKINGSPROGRAM - ÅRSRAPPORT 1978

Blindern/Brekke, 23 august 1979

Saksbehandlere: *Tor Bokn*
Lars Kirkerud
Jan Magnusson
Gotfred Nilsen
Jens Skei

Medarbeidere: *Einar I. Andersen*
Norman Green
Frank Kjellberg
Jon Knutzen
Torsten Källqvist

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse:
Postboks 333, Blindern
Oslo 3

Brekke 23 52 80
Gaustadalleen 46 69 60
Kjeller 71 47 59

Rapportnummer:

0-71160

Undernummer:

XXIX

Løpenummer:

1140

Begrenset distribusjon:

Fri

Rapportens tittel:

UNDERSØKELSE AV HYDROGRAFISKE OG BIOLOGISKE FORHOLD
I INDRE OSLOFJORD.
Overvåkingsprogram - Årsrapport 1978.

Dato:

23/8 1979

Prosjektnummer:

71160 30

Forfatter(e):

Lars Kirkerud
Jan Magnusson
Gotfred Nilsen
Jens Skei

Faggruppe:

Geografisk område:

Antall sider (inkl. bilag):

81

Oppdragsgiver:

Fagrådet for kloakksamarbeid i indre Oslofjord

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

Ekstrakt:

Overvåkingsprogram for oppfølging av forurensningsutviklingen i Oslofjorden 1978 ved beskrivelse av fjordens hydrografi, algevekst i overflatelaget og fastsittende alger. Spesialstudie av oksygenvariasjoner nær bunnen og av metallinnhold i bunnsedimentene.

4 emneord, norske:

1. Resipientovervåking
2. Hydrografi
3. Marin biologi
4. Sediment
5. Oslofjord

4 emneord, engelske:

1. Monitoring
2. Hydrography
3. Marin biology
4. Sediment
5. Oslo fjord

Prosjektleders sign.:

Seksjonsleders sign.:

Instituttets sign.:

ISBN 82-577-0192-0

F O R O R D

OSLOFJORDKONTORET (Kontor for interkommunalt kloakksamarbeid i indre Oslofjord) anmodet i 1972 Norsk institutt for vannforskning (NIVA) om å utføre overvåkingsundersøkelser i Oslofjorden, i den hensikt å studere fjordens forurensningsutvikling. Oslofjordkontoret ble nedlagt 31.12.1976, og i stedet ble Fagrådet for kloakksamarbeid i indre Oslofjord konstituert den 22.11.1977 som et samarbeidsorgan for kommunene rundt indre Oslofjord. En av Fagrådets oppgaver er å forestå undersøkelser og overvåking av fjorden. Den faglige styringen av overvåkingsundersøkelsene har Fagrådet delegert til Styringsgruppe (I) for overvåkingsundersøkelser i indre Oslofjord, (opprettet den 30.5.1978). Styringsgruppens formål er "å lede overvåkingsundersøkelsene av de hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord". Det er også oppnevnt en Styringsgruppe (II) for å arbeide med kartlegging av tilførslene til indre Oslofjord.

Overvåkingsprogrammet har fortsatt som tidligere under den nye styringsgruppen. Denne rapport er nummer fem i dette prosjektet, og omfatter året 1978.

Overvåkingsprogrammet er i så stor utstrekning som det har vært mulig koordinert med andre prosjekter i Oslofjorden. Det har vært en viss koordinering med Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen (forsker S. Tveite) om toktprogrammet, og med Institutt for Marin Biologi og Limmologi, avdeling Marin Botanikk (Prof. E. Paasche), samt med Institutt for Geofysikk, avd. A. Fysisk oseanografi (stipendiat F.E. Dahl), som takkes for samarbeidet.

Data fra NIVAs egne forskningsprosjekter i Oslofjorden er blitt brukt i overvåkingsprogrammet. Dette gjelder prosjektene A2-26 "Faktorer som regulerer planteplanktonbestander" (G. Nilsen), A2-27 "Tilførsler av partikulært materiale til sedimentene i Bunnefjorden" (J. Skei), A2-28 "Faktorer som forårsaker dypvannsutskiftninger i sør-norske terskelfjorder" (J. Molvær og J. Magnusson), A2-29 "Fastsittende alger

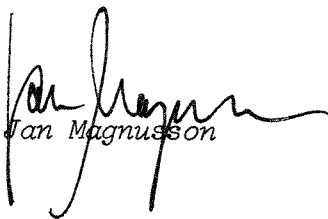
som eutrofieringsindikator" (T. Bokn), samt A2-30 "Stoffbudsjettering og transportberegninger i marine resipienter ved hjelp av modeller". Som følge av samordningen med dette siste prosjektet har de spesielle hydrokjemiske studier, som er beskrevet i vårt programforslag, blitt forsinket og vil måtte bli rapportert i neste års rapport.

Ved instituttet har følgende personer deltatt i planlegging og gjennomføring av arbeidet:

Tor Bokn	(fastsittende alger)
Lars Kirkerud	(oksygenforhold, biologi)
Torsten Källqvist og Gotfred Nilsen	(overflatevannets kvalitet m.m.)
Jan Magnusson	(hydrografi, prosjektledelse)
Jens Skei	(bunnsedimenter)
Norman Green og Frank Kjellberg	(feltarbeid og databearbeidelse)
Einar I. Andersen	(skipsfører)

Det hydrografiske datamaterialet er presentert i egen rapport (NIVA, 1979).

Blindern/Brekke, 23. august 1979


Jan Magnusson

INNHALDSFORTEGNELSE

Side:

FORORD	1
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	7
1. INNLEDNING	11
2. HYDROGRAFI	13
2.1 Stasjoner, parametre og metoder i 1978	13
2.2 Generelle meteorologiske og hydrologiske forhold i 1978	17
2.3 Vannutskiftninger i 1978	21
2.4 Dypvannsutskiftningene i 1973 - 1978	31
2.5 Oksygenforholdene i fjordens dypvann i 1978 sammenlignet med tidligere observasjoner	32
2.6 Hydrokjemiske observasjoner 1933 - 1978	38
2.7 Oksygenvariasjoner i Drøbaksundet	38
3. OKSYGENFORHOLDENE PÅ REKEFELTENE I VESTFJORDEN	40
4. OVERFLATEVANNETS KVALITET BEDØMT VED SIKTEDYP, KLOROFYLL, ALGEVEKST-POTENSIAL OG PLANTENÆRINGSSALTER	44
4.1 Utviklingen i 1978	44
5. SAMFUNNENE AV FASTSITTENDE ALGER	58
6. SEDIMENTUNDERSØKELSER I OLSOFJORDEN HØSTEN 1978	59
6.1 Innledning	59
6.2 Tidligere sedimentundersøkelser i Oslofjorden	60
6.3 Prøvetaking og metoder	61
6.4 Resultater og diskusjon	61
6.4.1 Organisk materiale	61
6.4.2 Fosfor og nitrogen	66
6.4.3 Metaller	70
6.4.4 Sedimenttilvekst	75
6.4.5 Metallenes biologiske tilgjengelighet i sedimentene	76
6.4.6 Anbefalinger	76
7. LITTERATURHENVISNINGER	78

FIGURFORTEGNELSE

	Side:
Figur 1. Stasjonsnett 1978	14
2. Ferskvannstilførsel, nedbør og soltimer 1978	18
3. Vindmengde (% observasjoner i sektor x vindens middel- hastighet = radien for hver sektor (300) Blindern, Oslo 1978 (data fra Meteorologisk Institutt samt vindmengde Blindern, Oslo 1957-74	19
4. Vindens nord syd-komponent (m^2/s^2) ved Blindern 1978	20
5. Temperaturvariasjoner ($^{\circ}C$) ved Steilene (DK-1) 1978	22
6. Saltholdighetsvariasjoner ($^{\circ}/\infty$) ved Steilene (DK-1) 1978	22
7. Oksygenvariasjoner (ml/l) ved Steilene (DK-1) 1978	23
8. Oksygenvariasjoner (ml/l) i Lysakerfjorden (BN-1) 1978 ..	23
9. Temperaturvariasjoner ($^{\circ}C$) i Bunnefjorden (EP-1) 1978 ...	24
10. Saltholdighetsvariasjoner ($^{\circ}/\infty$) i Bunnefjorden (EP-1) 1978	25
11. Oksygen/hydrogensulfid-variasjoner (ml/l) i Bunne- fjorden (EP-1) 1978	26
12. Saltholdighetsvariasjoner ($^{\circ}/\infty$) i Drøbaksundet (Elle lykt) 1978	27
13. Oksygenvariasjoner (ml/l) i Drøbaksundet (Elle lykt) 1978	28
14. Månedsmiddel og standard-avvik for oksygenkonsentra- sjonen på 80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1) 1933-77 basert på data fra periodene 1933-40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1946 - 51 (Beyer & Føyn 1951), og 1962-73 (NIVA), samt observasjoner fra 1974-77 (Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen, og NIVA)	33
15. Månedsmiddel og standard-avvik for oksygenkonsentra- sjonen på 125 meters dyp i Bunnefjorden (EP-1) 1933-77, basert på data fra periodene 1933-40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1946 - 51 (Beyer & Føyn), 1962-74 (NIVA) og 1975-77 Statens Biologiske Stasjon Flødevigen og NIVA)	34
16. Oksygenreduksjonen på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1) mai - oktober i forskjellige perioder	35
17. Variasjonen av total-nitrogen, nitrat og nitritt, total- fosfor, ortofosfat, forholdet total nitrogen/total fos- for (MOL/MOL) samt oksygen i Vestfjorden (stasjon DK-1) på 80 meters dyp	37
18. Ortofosfatvariasjoner $\mu g/l$ på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1 og FL-1)	39
19. Stasjonsplassering for oksygenprøver ved bunnen	41
20. Oksygeninnholdet i vannprøver tatt 12 cm og 1.5 m over bunnen i Vestfjorden 5. oktober 1978	42

Figur 21.	Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium og fosfat (nederst) på stasjon EP-1 i Bunnefjorden 1978	45
22.	Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium, fosfat og algevekstpotensial (nederst) på stasjon DK-1, Steilene, i 1978. Nederst er begrensende næring for testalgene angitt	46
23.	Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium og fosfat (nederst) på stasjon BN-1 Nesodden/Lysakerfjorden i 1978	47
24.	Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium of fosfat (nederst) på stasjon AP-2 Havnebassenget i 1978	48
25.	Månedsmiddel og standardavvik for siktedyp i Vestfjorden (DK-1) basert på enkelte data fra 1936-40 (Dannevig, 1945) og fra 1962-77 samt innlagte observasjoner fra 1978	52
26.	Månedsmiddel og standardavvik for siktedyp i Bunnefjorden (EP-1) basert på enkelte data fra 1936-40 (Dannevig 1945) og fra 1962-77 samt innlagte observasjoner fra 1978	53
27.	Sedimentstasjoner i Oslofjorden 1978	62
28.	Geografisk fordeling av organisk materiale (O.M.), sink (Zn), kvikksølv (Hg) og kopper (Cu) i overflatesedimenter i Oslofjorden. (Stolpene har forskjellig målestokk og viser kun relative forskjeller for hver komponent)	67
29.	Korrelasjon mellom organisk materiale og total nitrogen i overflatesedimenter fra Oslofjorden	68
30.	Korrelasjon mellom organisk materiale og total fosfor i overflatesedimenter fra Oslofjorden	69
31.	Geografisk fordeling av bly (Pb), kadmium (Cd) og krom (Cr) i overflatesedimenter (0-2 cm) i Oslofjorden. (Stolpene har forskjellig målestokk og viser kun relative forskjeller for hver komponent)	74

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
Tabell 1. Hydrografiske tokt i indre Oslofjord 1978	15
2. Oversikt over parametre og analysemetoder, samt deteksjonsgrenser og antatt presisjon ved analyse av sjøvannsprøver	16
3. Årlig ferskvannstilførsel i Drammenselva, Lysakerelva og Sandvikselva (m ³ /s)	17
4. Antall potensielle utskiftninger av overflatelaget (0-10 m) i indre Oslofjord, beregnet etter nordlige vinder i 1978	31
5. Beregnet dypvannsutskiftning 1937-78 samt prosentvis fornyelse av volumet under 20 meters dyp	31
6. Vannutskiftning i indre Oslofjord og oksygenkonsentrasjon i oktober på 80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1)	36
7. Middelkonsentrasjon av oksygen (ml/l) på 75-80 meters dyp ved Elle lykt (Drøbaksundet) fra forskjellige perioder	38
8. Daglig gjennomsnittlig klorofyllmengde fra 20. juni til 29. august	54
9. Gjennomsnittlig observert siktedyp fra 20. juni til 29. august	54
10. Observasjoner av siktedyp, klorofyll og næringssalter på hovedtoktene (*: Analysen er utført på filtrert vann)....	55
11. Metaller i overflatesedimenter fra Oslofjorden (etter Doff, 1969)	61
12. Metaller i noen bassenger i Oslofjorden (etter Doff, 1969)	61
13. Beskrivelse av sedimentkjernene tatt i Oslofjorden, september 1978	63
14. Metaller, nitrogen, fosfor og organisk materiale i sedimentene (N, P og org.mat. i %, resten i ppm tørrvekt	65
15. Sedimentes innhold av P og N i de øvre 10 cm	70

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Ved overvåkingen av indre Oslofjord er det i 1978 samlet inn hydrografiske data fra 5 stasjoner (Fig. 1) på 4 tokt i februar, mai, august og oktober, samt ved 2 kompletterende tokt (2 stasjoner) i september og desember.

I tillegg er det benyttet observasjoner fra 2 tokt i Bunnefjorden fra instituttets egen forskningsvirksomhet, samt data fra tokt utført av Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen (7 tokt) og Universitetet i Oslo.

Vannprøver ble analysert på temperatur, saltholdighet og oksygen ved samtlige tokt. På de 4 hovedtoktene ble det dessuten analysert på total fosfor ortofosfat, total nitrogen, nitrat og nitritt, ammonium og total organisk karbon (ufiltrerte prøver).

Overflateprøver (0-2 m dyp) ble innsamlet på samtlige hovedstasjoner, og dessuten på stasjoner i Bunnefjorden, havnebassenget, Lysakerfjorden og Vestfjorden omtrent hver 14. dag. Foruten de ovenfor nevnte kjemiske analyser, ble overflateprøvene analysert på klorofyllinnhold, og på 1 stasjon i Vestfjorden også på vannets vekstfremmende egenskaper ved alge-kulturforsk. Kvantitative planteplanktonprøver ble innsamlet på de fleste stasjonene. Siktedyp ble målt på samtlige stasjoner.

Utbredelsen av 5 fastsittende gruntvannsalger ble registrert på 120 stasjoner nord for Filtvedt. Spesielle observasjoner av oksygen nær bunnen ble utført i trålesonene i Vestfjorden høsten 1978 med en spesiell prøvetaker. Sedimentkjerner fra 18 stasjoner i Oslofjorden, fra Drøbakterskelen til indre Bunnefjord, er analysert for kvikksølv, kadmium, krom, kobber, bly, sink, total nitrogen, total fosfor og organisk materiale. Stasjonene er med hensikt lagt utenfor de større renseanleggene (Festningen, Lysaker, Skarpsno, Holmen og Slemmestad) og utenfor elver og større bekker (Sandvikselva, Lysakerelva, Akerselva, Hofselva, Skøyenbekken, Frognerbekken, Gjersjøelva og Årangelva). Bekkelagsbassenget ble undersøkt ved en separat undersøkelse i 1977 (NIVA, 1977).

- I 1978 var ferskvannstilførselen normal fram til juli, da vannføringen ble betydelig større enn normalt både i Drammenselva og elvene til indre Oslofjord. I juli måned var det også mer nedbør og mindre sol enn normalt. Utover høsten var ferskvannstilførselen lavere enn normalt fra Drammenselva; til dels også fra elvene til indre Oslofjord, - dette som følge av mindre nedbør og mer sol enn normalt.

Vindforholdene var uvanlige i 1978, med dominerende nordlige vinder, unntatt i juni og oktober, hvor sydlige vinder dominerte, og med en balanse mellom nordlige og sydlige vinder i juli, august og november.

- Dypvannsutskiftningen i 1978 begynte i januar og var hovedsakelig over i mars, med bare mindre utskiftninger i Vestfjorden frem til og med juni. Totalt ble $2.800 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann skiftet ut, hvilket tilsvarer ca 45% av alt vann under 20 meters dyp i fjorden.
- Dypvannsutskiftningen medførte en fornyelse av vel 60% av Vestfjordens dypvann, men bare en mindre del av mellomnivåene i Bunnefjorden ble berørt. Utskiftningen var forholdsvis dårlig sammenlignet med vannutskiftningen i perioden 1973-1977, som i middel var nesten $4.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1978: $2.800 \times 10^6 \text{ m}^3$).
- Oksygenforholdene i Vestfjordens dypvann var "normale" sammenlignet med tidligere observasjoner. Dette på tross av en noe dårligere vannutskiftning. For Vestfjordens del har oksygeninnholdet vist en svak økende tendens fra 1975, hvis oktober-verdiene i slutten av stagnasjonsperioden sammenlignes. Det er imidlertid for tidlig å avgjøre om dette er en tilfeldig effekt eller ikke. Oksygenforholdene i Bunnefjorden var derimot under normal middelvei sammenlignet med tidligere observasjoner, men innenfor beregnet "normal variasjon". Bunnefjordens spesielle vannutskiftnings-periodisitet (hvert 3. år) må tas i betraktning ved denne sammenligning. Det ble observert hydrogensulfid i Bunnefjordens dypvann i desember 1978.

5. Sammenlignet med de tidligere perioder 1933 - 1940 og 1962 - 1965, var fortsatt oksygenreduksjonen i Vestfjordens dypvann (80 m) fra mai til oktober klart større, det vil si, den organiske belastningen på Oslofjordens dypvann er fortsatt større enn på 1960- og 1930-tallet. Fjorden er således fremdeles truet av muligheten for hydrogensulfid-dannelse også i Vestfjorden i år med meget dårlig vannutskiftning.
 6. Oksygenkonsentrasjonen på 80 meters dyp i Drøbaksundet (Elle Lykt) var ikke signifikant forskjellige i periodene 1973 - 78, 1962 - 70 og 1933 - 40, unntatt oktober måned med klart lavere konsentrasjoner i perioden 1973 - 78.
 7. Av de observerte hydrokjemiske parametre i Vestfjordens dypvann (80 m) viser fosforkonsentrasjonen en avtagende tendens fra det nærmeste foregående år, og nitrogenkonsentrasjonen er konstant eller muligens svakt økende. Tot-N/Tot-P ligger stort sett over 10:1 (Mol/Mol). Fortsatt ligger ortofosfatkonsentrasjonen vel over tidligere observasjoner fra blant annet 1960-tallet.
 8. Oksygengradienten like over bunn ble målt med en spesialvannhenter på 6 stasjoner i Vestfjorden høsten 1978. Oksygenkonsentrasjonen var 0.1 - 0.2 ml O₂/l høyere ved 1.5 m enn ved 0.12 m over bunn. Lavere oksygenverdier ble målt mot nord langs fjordens lengdeaksel og mot øst på tvers av fjorden. Verdiene var ikke så lave at rekefisket kunne bli merkbart påvirket i 1978.
 9. Overflatevannets kvalitet registrert ved siktedyp, alge-tetthet, innhold av plantenæringsstoffer og algevekstpotensial var som tidligere år dårlig nær Oslo, men bedre lenger sør i Bunnefjorden og Vestfjorden. Året var preget av en rekke algeoppblomstringer gjennom hele vekstsesongen, men vannkvaliteten skilte seg ikke spesielt fra tidligere år.
- En grov sammenligning mellom konsentrasjon av nitrogen og fosfor tyder på at fosfat stort sett var potensielt begrensende nærings salt.
10. Utbredelsen av fem fastsittende gruntvanns-alger ble registrert på ca 120 stasjoner nord for Filtvedt i 1978. Ingen større variasjoner

ble notert i 1978 i forhold til 1974 - 77. Detaljer vil bli rapportert i senere års-rapporter.

11. Sedimentenes innhold av organisk materiale var størst i Hvervenbukta (sagflis fra Ljansbruket) og utenfor Festningen renseanlegg (kloakk-slam). Konsentrasjonene av organisk materiale var gjennomgående høyest i de råtne (anoksiske) sedimentene.
12. Liten sammenheng mellom organisk materiale og fosfor i sedimentene skyldes delvis at fosfor er knyttet både til organisk materiale og uorganiske forbindelser (i oksiske sedimenter). God korrelasjon mellom nitrogen og organisk materiale tyder på at nitrogenet er overveiende organisk bundet.
13. Generelt var sedimentene i indre Oslofjord metallforurenset, men ikke i samme grad som en del andre sterkt forurensete norske fjorder (Sørfjorden, Saudafjorden). Forurensningen avtok i retning Drøbakterskelen. Lokalt ble det registrert høye konsentrasjoner av kvikksølv, sink, bly, kopper og delvis kadmium. De områdene som peker seg ut som mest forurenset er Bestumkilen, Frognerkilen og utenfor Akerselva og Akershus Festning. Høye metallkonsentrasjoner i Bestumkilen antas å skyldes tilførsler via Hofselva og Skøyenbekken. Det bør også påpekes at man i dette området har et meget stort båt-opplag på land. Forurensningen i Frognerkilen skyldes trolig en kombinasjon av tilførsler fra Frognerbekken og utslipp fra Skarpsno renseanlegg. Forhøyede konsentrasjoner i sedimentene utenfor Akerselva og Festningen kan være et resultat av tilførsler til selve Oslo havn (overvann), utslipp fra Festningen renseanlegg og tilførsler av metaller til Akerselva lenger oppe.

1. INNLEDNING

Som i tidligere årsrapporter er hovedvekten i 1978's overvåkingsprogram lagt på å følge fjordens eutrofiutvikling, dvs de effekter som oppstår direkte eller indirekte som følge av en overgjødning av fjorden fra utslipp av næringssalter og organisk stoff i husholdnings- og industri- kloakk. Overgjødningen øker produksjonen av planteplankton, som blir så stor at vannet misfarges. Denne unaturlig høye produksjonen av organisk stoff belaster i sin tur dypvannet, hvor det nedbrytes til næringssalter under oksygenforbrukende prosesser. Når alt oksygen er oppbrukt, dannes hydrogensulfid, som er en dødelig gift for de høyrestående livsformer. Dannelse av hydrogensulfid skjer hvert år i de mest lukkede områdene av indre fjord - som Bærumsbassenget og Bekkelagsbassenget, men også visse år i Bunnefjorden og Lysakerfjorden. I Vestfjorden går sjelden prosessen så langt, men oksygeninnholdet kan til tider bli så lavt at det vanskeliggjør livsvilkårene for fisk og krepsdyr m.v. Ved hydrografisk gunstige situasjoner - stort sett vinterstid - blir det gamle dypvannet skiftet ut med oksygenrikt overflatevann i varierende omfang fra ytre fjord og Skagerak. Det er denne balansen mellom tilførsler og produksjon av organisk stoff og størrelsen av dypvannsutskiftningene som vil avgjøre fjordens fremtid. Da dypvannsutskiftningene er vanskelig å påvirke (stort sett umulig) i indre Oslofjord, vil fjerning av næringssalter og organisk stoff i kloakkvann fra boliger og industri være den eneste mulighet til å stanse utviklingen mot dårligere forhold.

Formålet med overvåkingsprogrammet er å følge tilstanden i fjorden fra år til år, dvs. gi en løpende orientering om fjordens forurensningstilstand. Kunnskaper om denne utviklingen vil senere også kunne tjene til å klargjøre hvordan fjorden reagerer på rensetiltak.

Forurensningens innvirkning på overflatelaget i form av algeoppblomstringer studeres ved å analysere vannets innhold av klorofyll og næringssalter, samt ved å undersøke dets vekstpotensial. Den indirekte effekten av forurensninger i strandsonen kan avleses gjennom studier av forskyvninger i algesamfunnenes artssammensetning.

Forurensningenes effekt på dypvannet observeres ved hydrografiske tokt, hvor oksygeninnhold og næringssaltinnhold i vannet blir målt.

Overvåkingsprogrammets innhold varierer noe fra år til år, da forskjellige sider av forurensningsproblematikkentas opp. De hydrografiske undersøkel-sene er den del som gjennomføres hvert år og utgjør en fast del av overvåkingsprogrammet. Programmet har i sin nåværende form forutsatt en viss aktivitet i fjorden av andre institutter; Hydrografiske tok ved Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen og Institutt for Marin Biologi og Limnologi ved Universitetet i Oslo, samt et kompletterende forskningsprosjekt ved NIVA.

I tidligere rapporter fra overvåkingsprogrammet har det inngått orien-terende undersøkelser av forskjellige miljøgifters forekomst i Oslofjorden. Resultatene fra disse, og resultatene fra andre undersøkelser pekte på behovet for en noe nøyere undersøkelse av metallfordelingen i fjorden. Metaller som tilføres fjorden vil for en dels vedkommende - og ved for stor belastning omsettes i næringskjedene og vil kunne utgjøre en trussel mot mennesker som spiser fisk eller annen sjømat fra fjorden. Det fore-ligger også mulighet for at metallene også vil kunne skade fisk og annet liv, slik at balansen i økosystemet påvirkes. Spesielt vanskelig er det å klarlegge langtidseffekter av relativt moderate metallkonsentrasjoner.

I 1978 har det derfor inngått i overvåkningsprogrammet en orienterende undersøkelse av metallenes fordeling i sedimentene utenfor steder hvor vi forventer de større konsentrasjoner, dvs utenfor utløp av kloakkvann til fjorder (elver, utslipp fra kloakknnett m.m.)

Den hydrografiske utviklingen i 1978 er fremstilt i Kap. 2, sammen med en del klima-data for året. Kap. 3 tar for seg spesielle observasjoner av oksygenforholdene i fjorden, og Kap. 4 overflatelagets kvalitet. De fastsittende algers utbredelse vil først bli fullstendig rapportert i senere rapporter (kfr. Kap. 5). Kap. 6 tar til slutt opp resultatet av metallanalyser i bunnsedimentene.

2. HYDROGRAFI

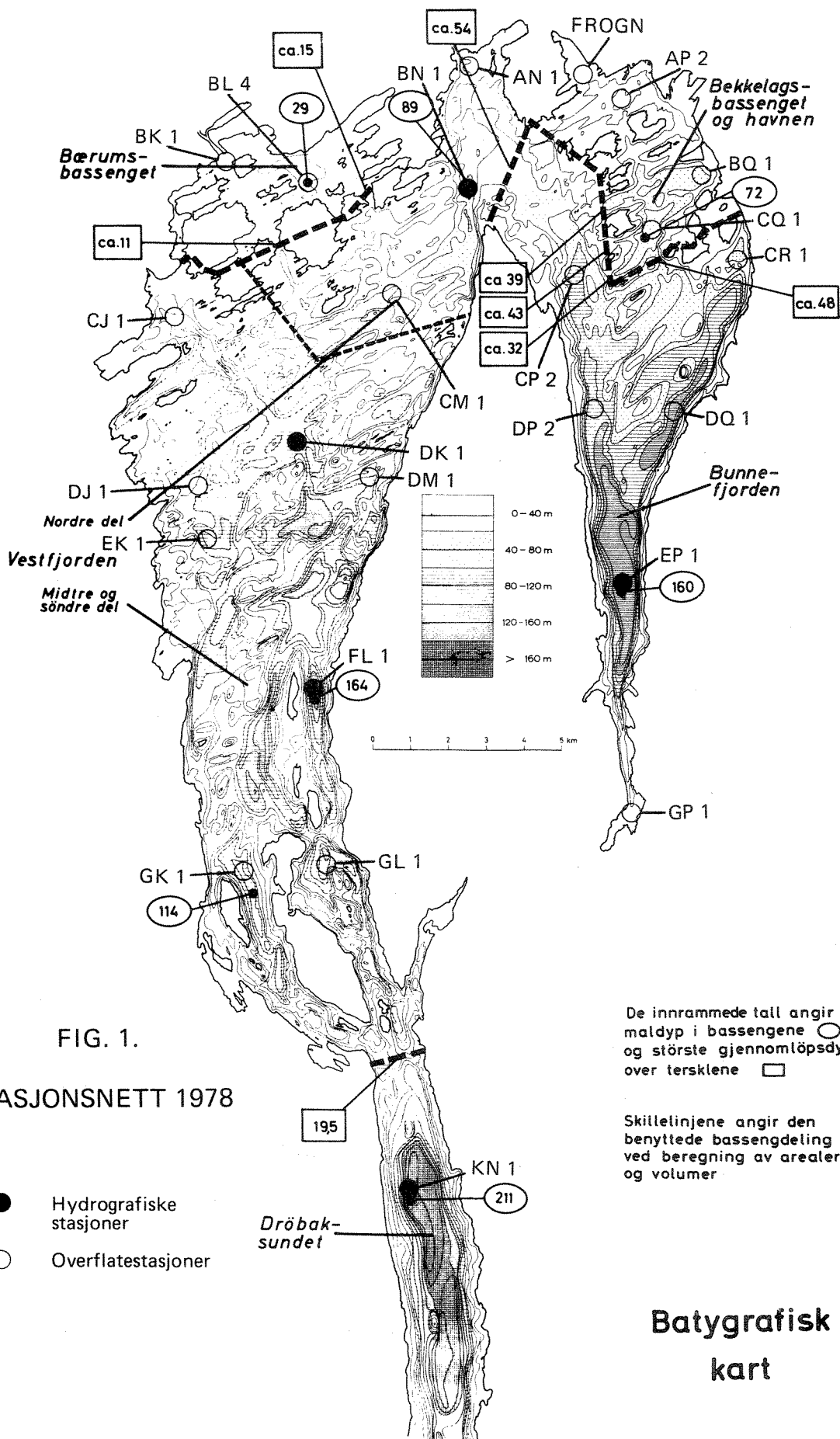
2.1 Stasjoner, parametre og metoder i 1978

I 1978 ble vannprøver innsamlet ved 4 hovedtokt fra 5 stasjoner på dypene 4, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150 og 200 meters dyp, samt blandprøver fra 0 - 2 meters dyp. Stasjonsnett fremgår av figur 1. Det er utført to ekstra tokt med observasjoner fra 2 stasjoner. I tillegg er det brukt data fra tokt utført i andre prosjekter som NIVAs forskningsprosjekt og tokter utført av Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen og Universitetet i Oslo (stipendiat F. E. Dahl). Tabell 1 viser toktfrekvensen i fjorden for 1978.

På de 4 hovedtoktene i overvåkingsprogrammet ble det observert siktedyp og temperatur samt analysert på vannets innhold av salter (salinitet), oksygen, total fosfor, ortofosfat, totalnitrogen, summen av nitrat og nitritt, ammonium og total organisk karbon. De kjemiske analysene ble som regel utført på ufiltrert vann, bare deler av overflateprøvene (0 - 2 meters dyp) ble ved enkelte tilfeller filtrert. Tabell 2 viser en oversikt over metoder og omtrentlige nøyaktigheter av analysene. Kvantitative planteplanktonprøver ble innsamlet fra 0-2, 4, 8 og 12 meters dyp.

I tillegg til de hydrografiske toktene ble det innsamlet vann fra overflaten (0 - 2 m) på fire stasjoner (EP1, BN1, AP2, DK1) omtrent hver fjortende dag for analyse av vannets vekstpotensial, klorofyllinnhold, samt de kjemiske analyser som utføres ved hovedtoktene. Vannets siktedyp, saltholdighet og temperatur ble også målt. Planteplanktonprøver ble innsamlet kvantitativt og med håv (25 μ) som ble trukket i overflaten.

Data fra hovedtoktene og overflatetoktene er presentert i egen rapport (NIVA 1979). Data fra Flødevigen er presentert i stasjonens toktrapporter (PTK 1 - 7 1978).



Tabell 1. Hydrografiske tokt i Indre Oslofjord 1978

DATO	INSTITUTT	PROSJEKT	OBSERVASJONER		STASJONER
			Temp., salt oksygen	Nærings- salter	
17.1	NIVA	A 2-27	x	x	EP1, DK1
14.2	Flødevigen	PTK 1	x		EP1, DK1, KN1
28.2-1.3	NIVA	overvåking 0-160/71	x	x	EP1, BN1, DK1, FL1, KN1
13.3	Flødevigen	PTK 2	x		EP1, DK1, KN1
8.4	NIVA	A 2-27	x	x	EP1
17.4	Flødevigen	PTK 3	x		EP1, DK1, KN1
18-19.5	NIVA	Overvåking 0-160/71	x	x	EP1, BN1, DK1, FL1, KN1
22-23.5	Flødevigen	PTK 4	x		EP1, DK1, KN1
16.6	Flødevigen	PTK 5	x		EP1, DK1, KN1
16-17.8	NIVA	Overvåking 0-160/71	x	x	EP1, BN1, DK1, FL1, KN1
23-24.8	Flødevigen	PTK 6	x		EP1, DK1, KN1
12.9	NIVA	Overvåking 0-160/71	x		EP1, DK1
17-18.10	NIVA	Overvåking 0-160/71	x	x	EP1, BN1, DK1, FL1, KN1
15.11	Universitetet i Oslo		x		EP1, DK1, KN1
20-21.11	Flødevigen	PTK 7	x		EP1, DK1, FL1
30.11	Universitetet i Oslo		x		EP1, DK1, KN1
14.12	Universitetet i Oslo, NIVA	Overvåking 0-160/71	x		EP1, DK1, KN1

Tabell 2 Oversikt over parametre og analysemetoder samt deteksjonsgrenser og antatt presisjon ved analyse av sjøvannsprøver *

Parameter	Analysemetode	Presisjon	Deteksjons- grense
Temperatur (TEMP)	Vendeterminometer avlest med lupe.	± 0,01°C	-
Saltholdighet (SAL)	Konduktivitetmålinger ved laboratorieresalinometer (Industrial Man).	± 0.003°/∞	-
Oksygen/hydrogensulfid (O ₂ /H ₂ S)	Jodometrisk titrering. Modifisert Winkler-metode.	± 2-4%	-
Ortofosfat (PO ₄ -P)	Autoanalytator. Molybdenblåttmetoden.	± 2 µg/l	2 µg/l
Totalfosfor (TOT-P)	UV-oksydasjon. Bestemmelse som ortofosfat.	± 2 "	2 "
Nitrat+nitritt (NO ₃ -N)	Autoanalytator. Red. (Cd/Cu) til og best. som nitritt.	± 10 "	10 "
Ammonium (NH ₄ -N)	Autoanalytator. Indofenolblåttmetoden.	± 5 "	10 "
Totalnitrogen (TOT-N)	UV-oksydasjon. Bestemmelse som nitrat/nitritt.	± 10 "	10 "
Total organisk karbon (TOC)	Persulfatoksydasjon. IR-bestemmelse som CO ₂ .	± 0.1 mg/l	0.2 mg/l

* Presisjonen anslått for de konsentrasjonsnivåer som er representative for prøver fra Oslofjorden.

2.2 Generelle meteorologiske og hydrologiske forhold i 1978

Ferskvannstilførselen: (Data fra Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen og Buskerud Kraftverker - Fig. 2).

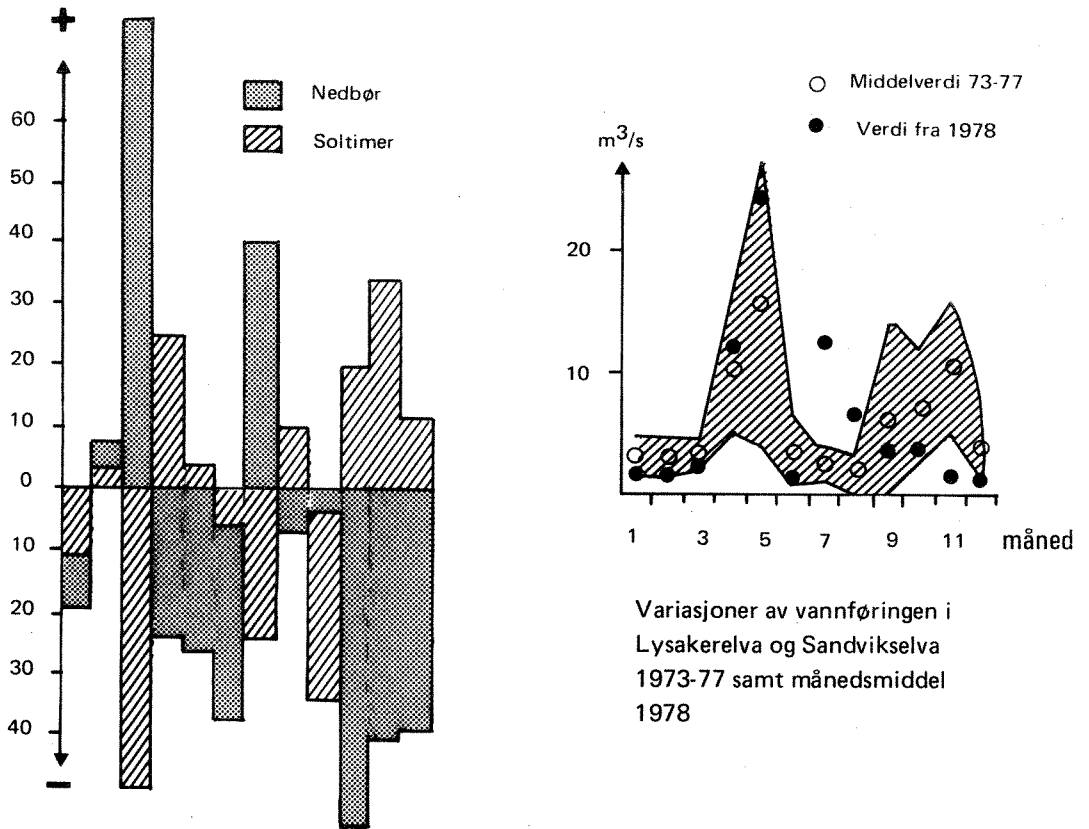
Ferskvannstilførselen direkte til indre Oslofjord er her representert ved Sandvikselva og Lysakerelva, for å illustrere generelle forhold - ikke totale mengder. (Sandvikselva og Lysakerelva utgjør bortimot 40% av den totale ferskvannstilførsel til Indre Oslofjord).

Det var normale tilførsler fra januar til april 1978. Vårflommen i mai var stor, men innenfor den normale variasjonen 1973 - 1977. Derimot var vannføringen klart større enn tidligere (1973-1977) i juli og august. Også Drammenselva bidro med større vannføring enn normalt (1961 - 1972) i juli (nesten over 200 m³/s mer enn normalt) til Breiangen. Fra august til desember var vannføringen i Drammenselva lavere enn normalt (ca 100 m³/s).

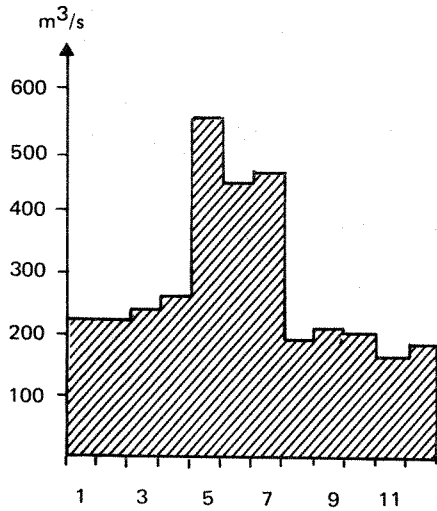
Tabell 3 viser total vannføring 1973 - 1978, dvs i de år overvåkingsprosjektet løp.

Tabell 3. Årlig ferskvannstilførsel i Drammenselva, Lysakerelva og Sandvikselva (m³/s)

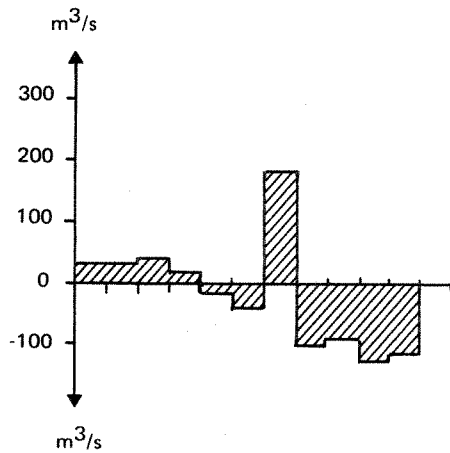
År	Drammenselva	Lysakerelva og Sandvikselva
1973	180	3
1974	255	7
1975	240	6
1976	190	4
1977	303	8
1978	280	6



Soltimer og nedbør (mm) på Blindern, Oslo i 1978 som avvik fra perioden 1956-70 resp. perioden 1931-60 (Data fra meteorologisk institutt).

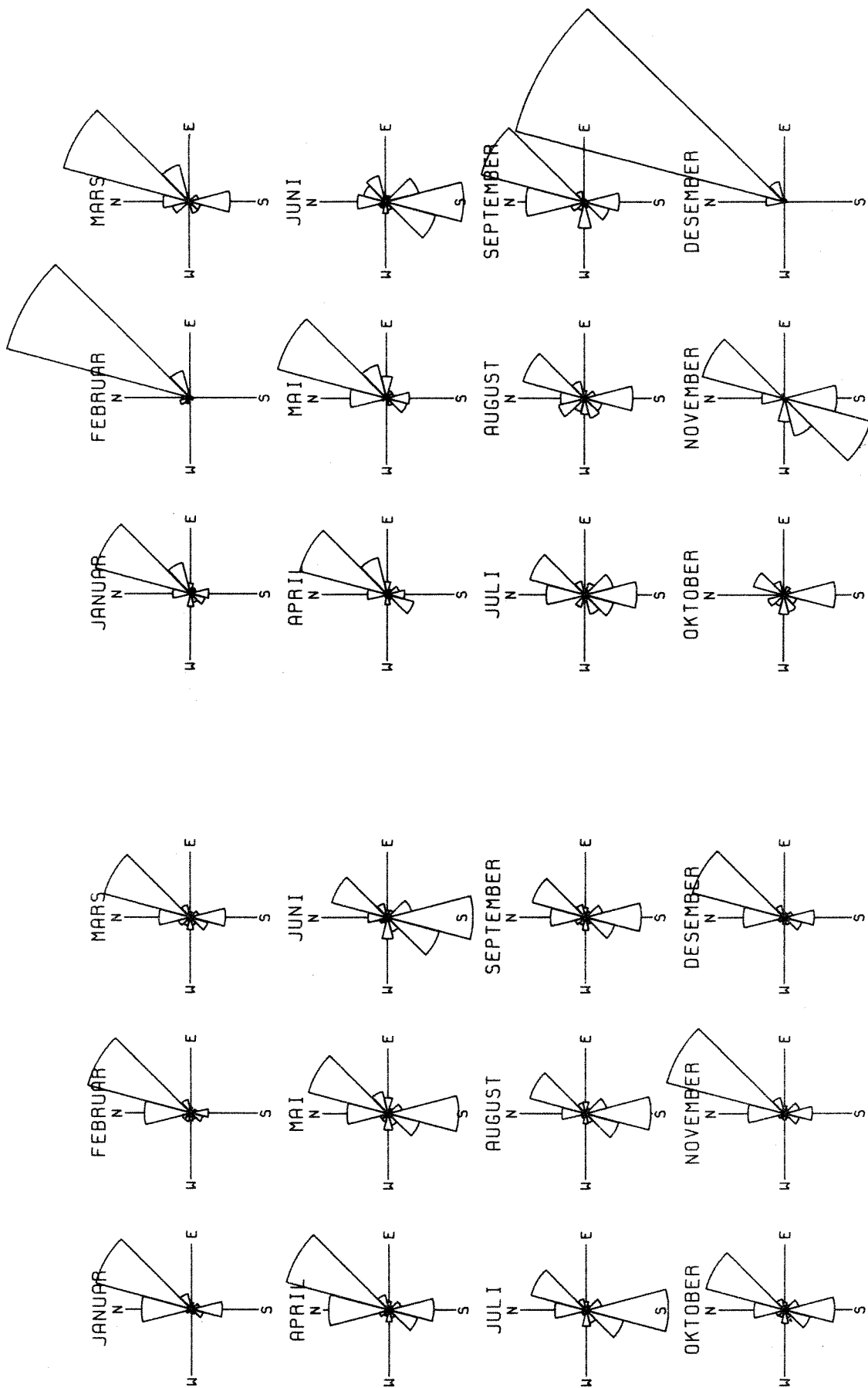


Vannføring i Drammenselva 1978 (Døvikfoss) Månedsmiddel



Vannføring i Drammenselva 1978 som avvik fra månedsmiddel for perioden 1961-72

Fig. 2. Ferskvannstilførsel, nedbør og soltimer 1978. (Data fra Meteorologisk institutt)



Blindern 1957 - 74.

Blindern 1978.

Fig. 3. Vindmengde (% observasjoner i sektor x vindens middelhastighet (knop) = radien for hver sektor (30°)). (Data fra Meteorologisk institutt).

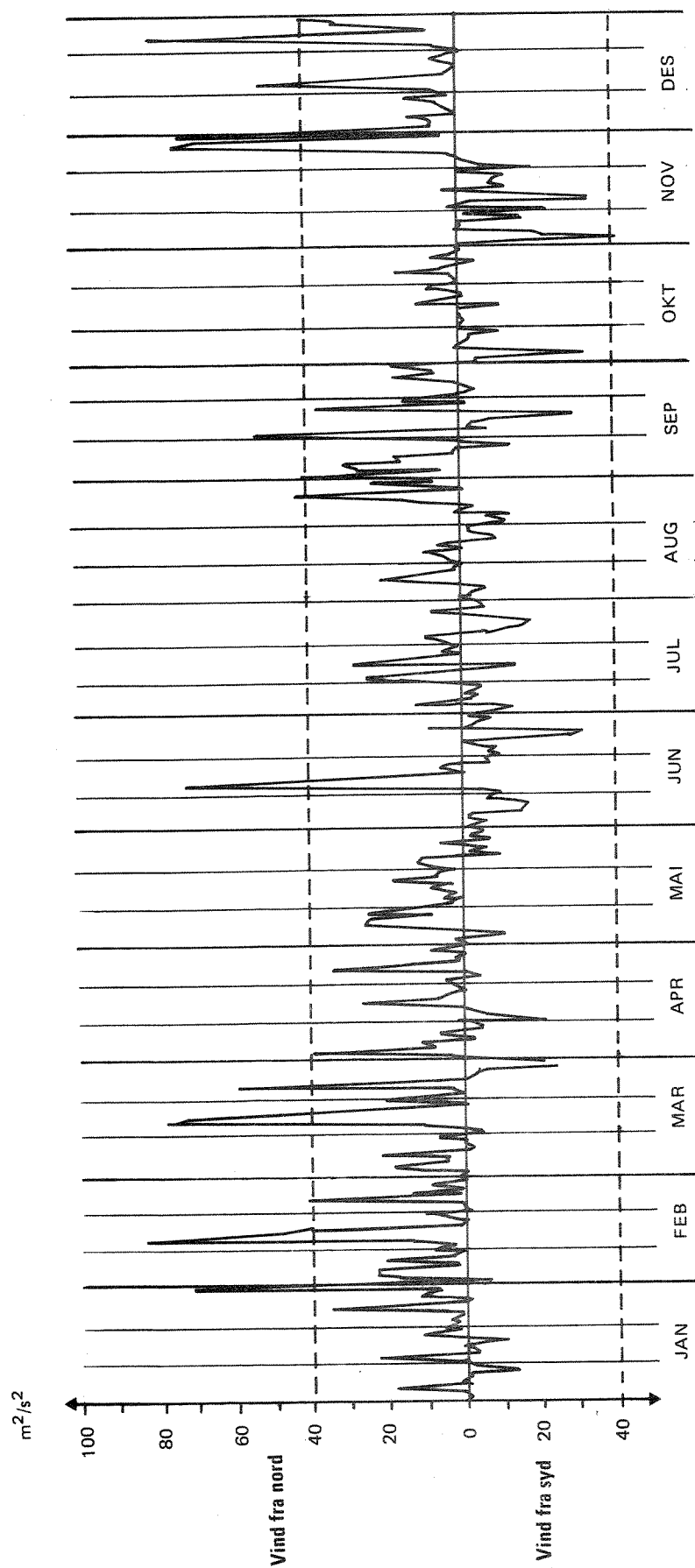


Fig. 4. Vindens nord-sydkomponent (m^2/s^2) ved Blindern 1978.
(Data fra Meteorologisk Institutt)

Sol og nedbør: (Data fra Meteorologisk Institutt, Fig. 2)

I løpet av vinteren - våren 1978 var mars spesielt avvikende med lite sol og mye nedbør. Resten av våren var det mindre nedbør enn normalt (1931-1960). Juli var nedbørrik og solfattig, mens forholdene var omvendt utover høsten, med unntak av september måned. Sett over hele året var mengden sol og nedbør omtrent normal ved Blindern.

Vind: (Data fra Meteorologisk Institutt, Fig. 3 og 4)

Nordlige vinder dominerte januar - mai 1978, spesielt hadde februar og mai større nordlig vindmengde enn normalt (1957-1974). I sommermånedene var vindforholdene stort sett normale, men i september dominerte nordlige vinder igjen, i stedet for den normale balanse mellom nordlige og sørlige vinder. Oktober avvek også med dominerende sydlige vinder. Desember hadde meget større nordlig vindmengde enn normalt.

I 1978 dominerte følgelig nordlige vinder fra januar til juni og i september og desember, mens den sydlige vinden kun dominerte i juni og oktober, hvilket gir et år med overveiende nordlige vinder.

2.3 Vannutskiftninger i 1978

Den hydrografiske utviklingen i 1978 beskrives i figurene 5 - 13, som viser variasjonene i vannets salinitet (saltinnhold), temperatur og oksygeninnhold i Vestfjorden (Stasjon DK-1, Steilene) og Bunnefjorden (Stasjon EP-1), vannets oksygeninnhold i Lysakerfjorden (Stasjon BN-1), samt salinitet- og oksygenvariasjoner i Drøbaksundet (St. KN-1, Elle lykt).

Dypvannsfornyelse:

Dypvannsutskiftningen i 1978 startet i januar i Vestfjorden. Utskiftningen var imidlertid beskjedent frem til slutten av februar, da størsteparten av vannet i Vestfjorden ble fornyet i løpet av noen uker. Oksygeninnholdet økte fra omtrent 2 ml/l den 14.2.1978 til over 5 ml/l den 28.2.1978, samtidig som saliniteten økte fra ca 33.0 ‰ til vel 33.8 ‰ på 90 meters dyp og til nesten 34 ‰ på 150 meters dyp.

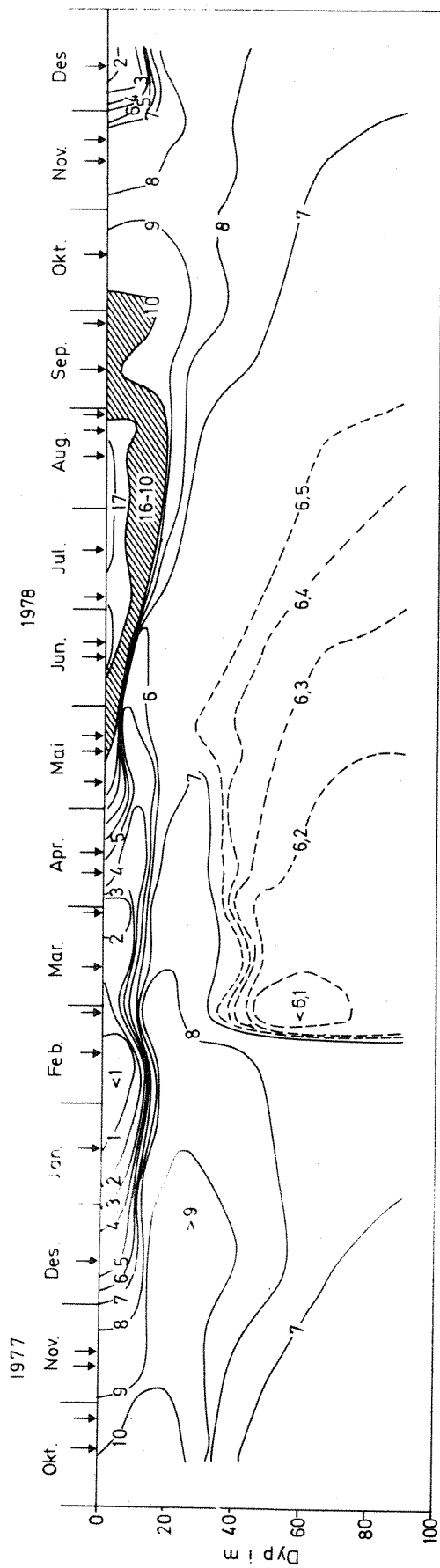


Fig. 5. Temperaturvariasjoner ($^{\circ}\text{C}$) ved Steilene (DK 1),
Oktober 1977 - desember 1978.

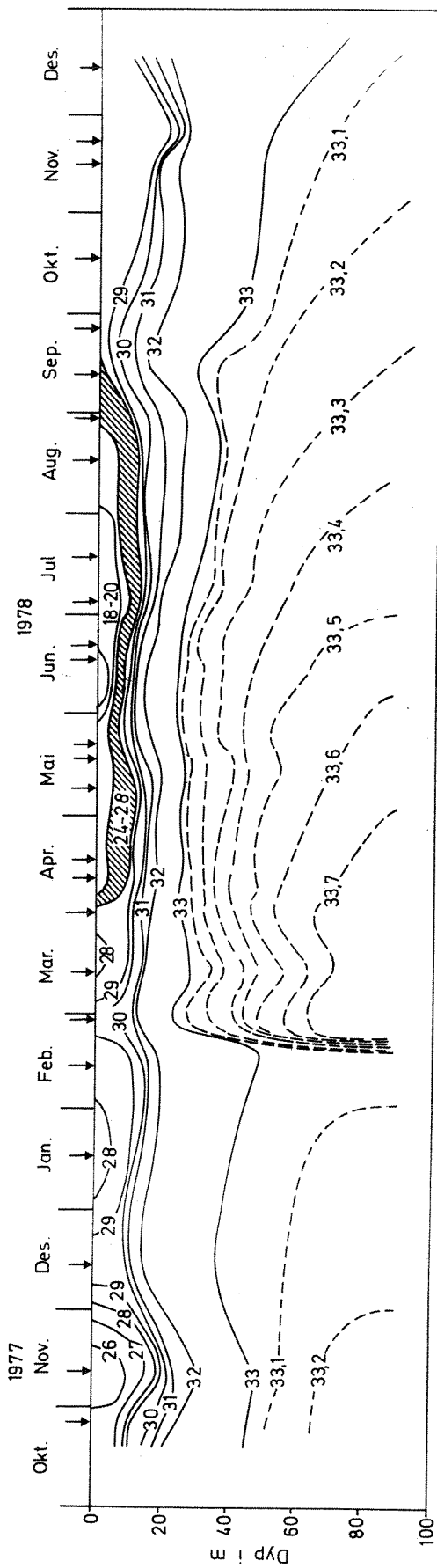


Fig. 6. Saltholdighetsvariasjoner (‰) ved Steilene (DK 1).
Oktober 1977 - desember 1978.

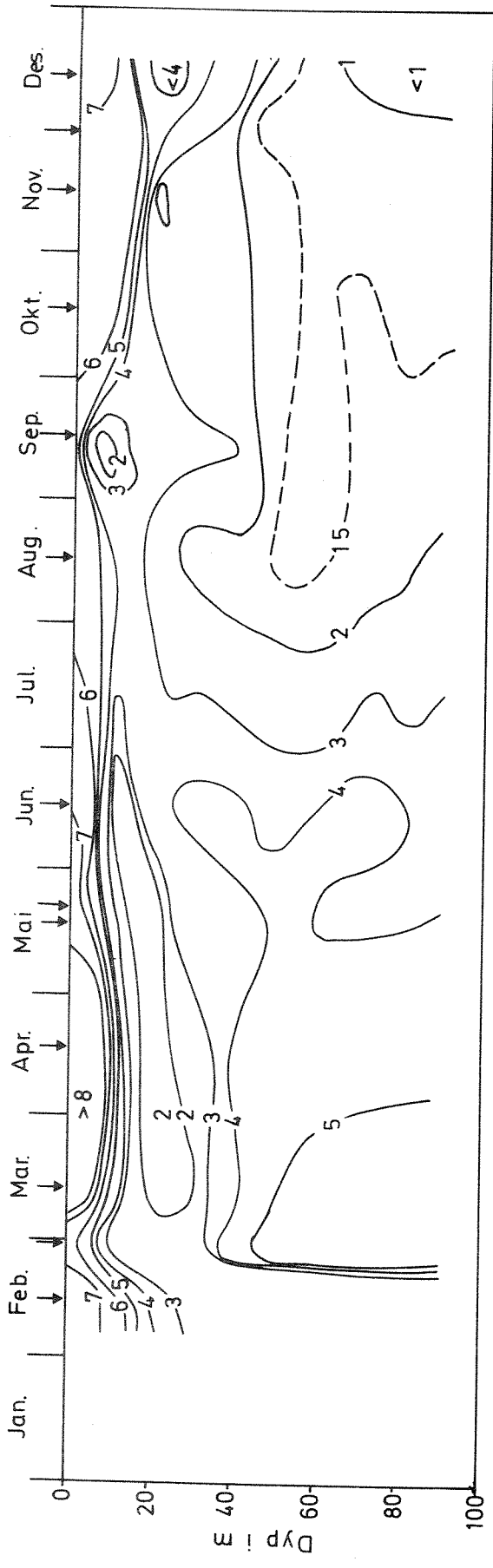


Fig. 7. Oksygenvariasjoner (ml/l) ved Steilene DK 1) 1978.

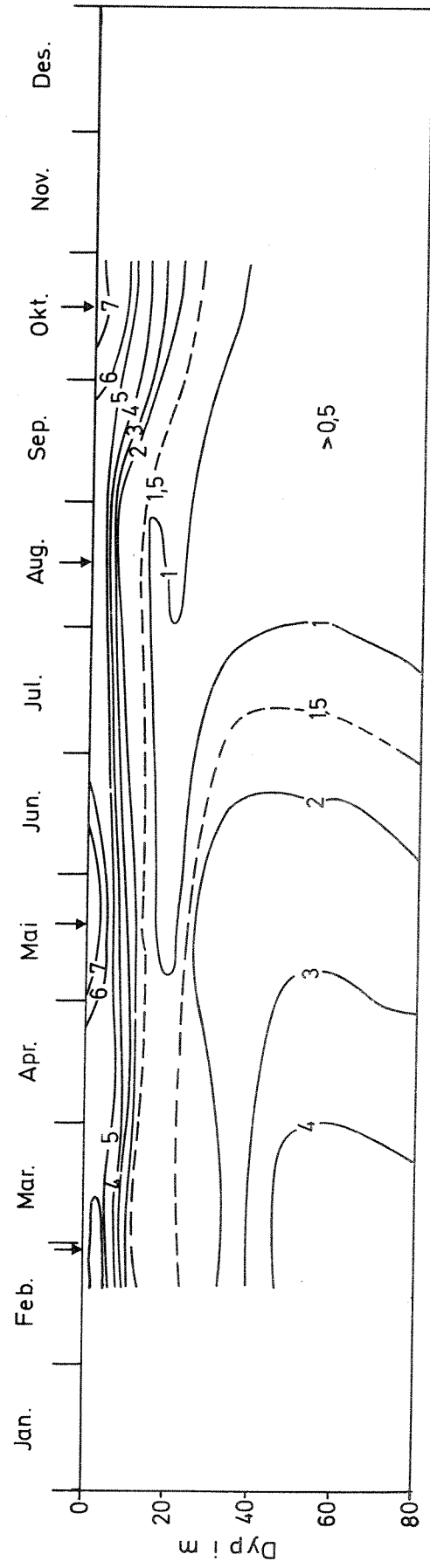


Fig. 8. Oksygenvariasjoner (ml/l) i Lysakerfjorden (BN 1) 1978.

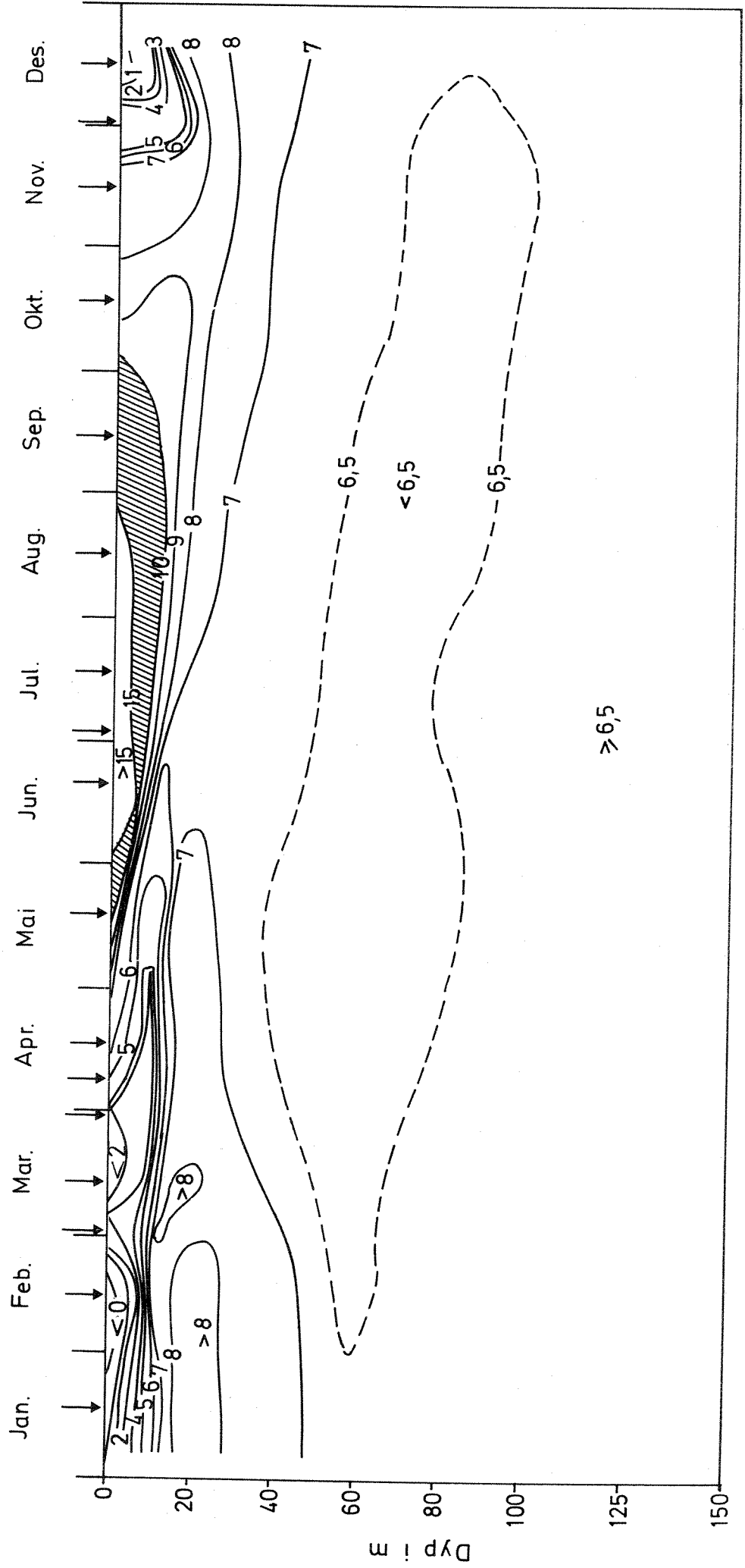


Fig. 9. Temperaturvariasjoner ($^{\circ}\text{C}$) i Bunnefjorden (EP-1) 1978.

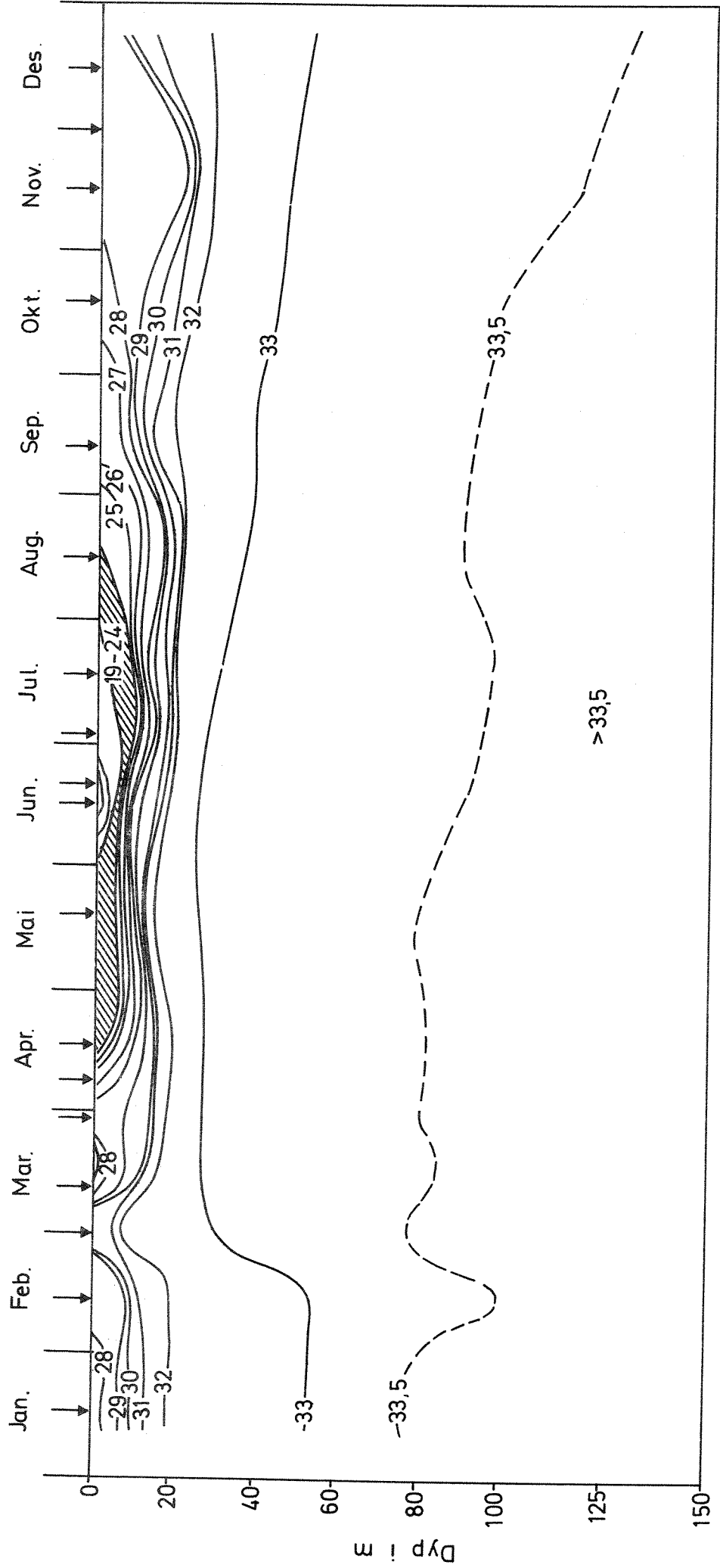


Fig. 10. Saltholdighetsvariasjoner (‰) i Bunnefjorden (EP-1) 1978

Jr. 79

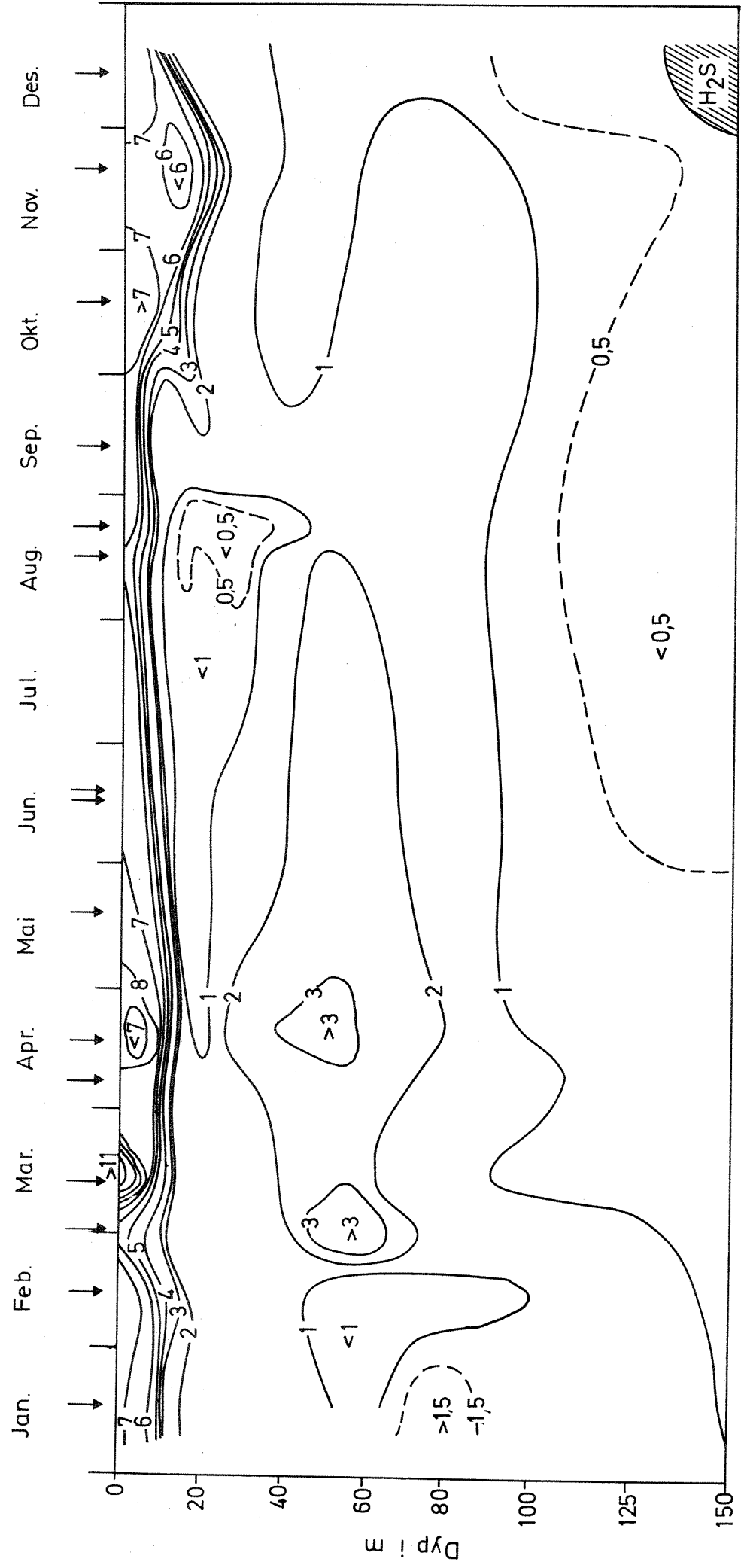


Fig. 11. Oksygen/hydrogensulfid-variasjoner (ml/l) i Bunnefjorden (EP-1) 1978.

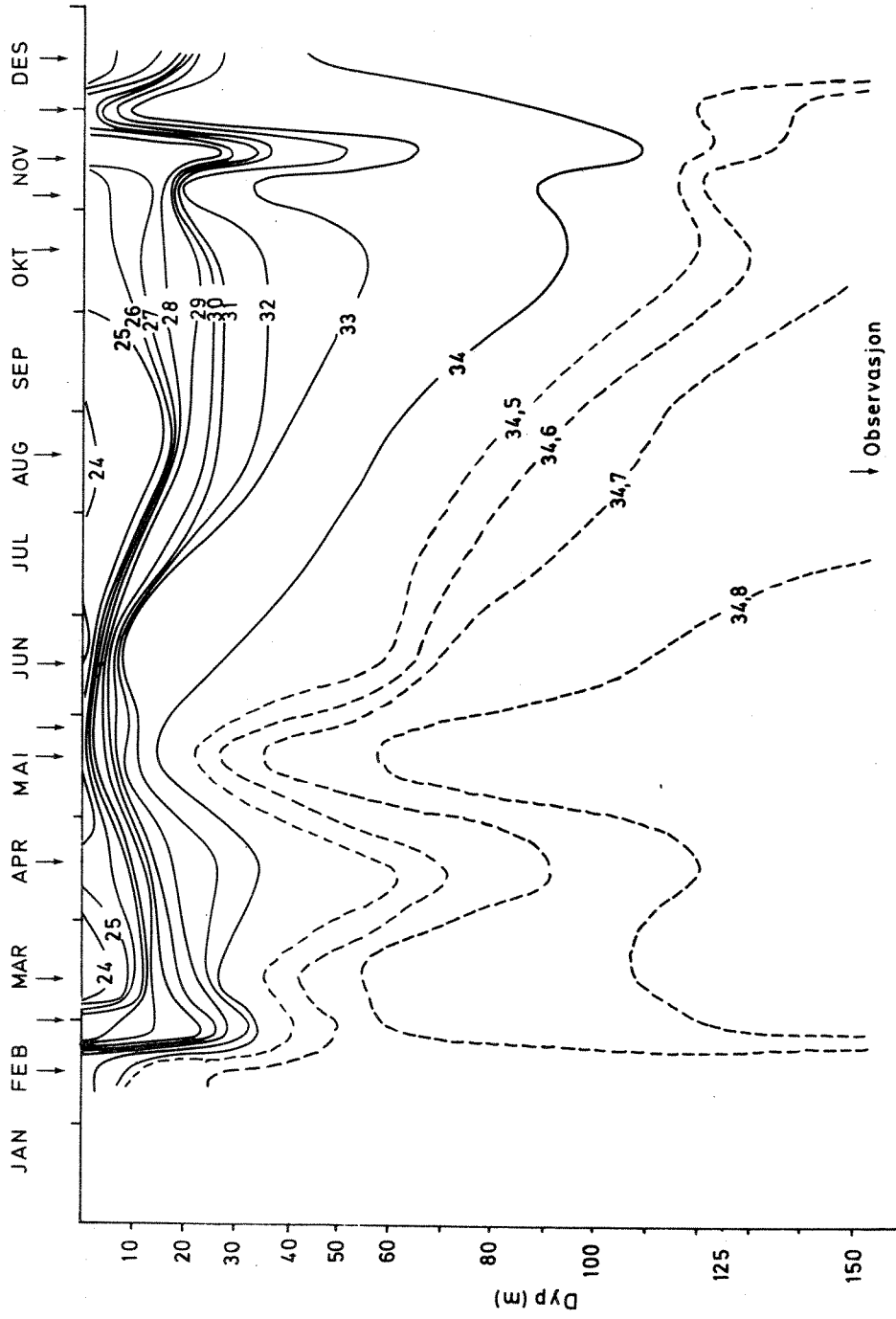


Fig. 12. Saltholdighetsvariasjoner (‰) i Drøbakundet (Elle lykt) 1978.

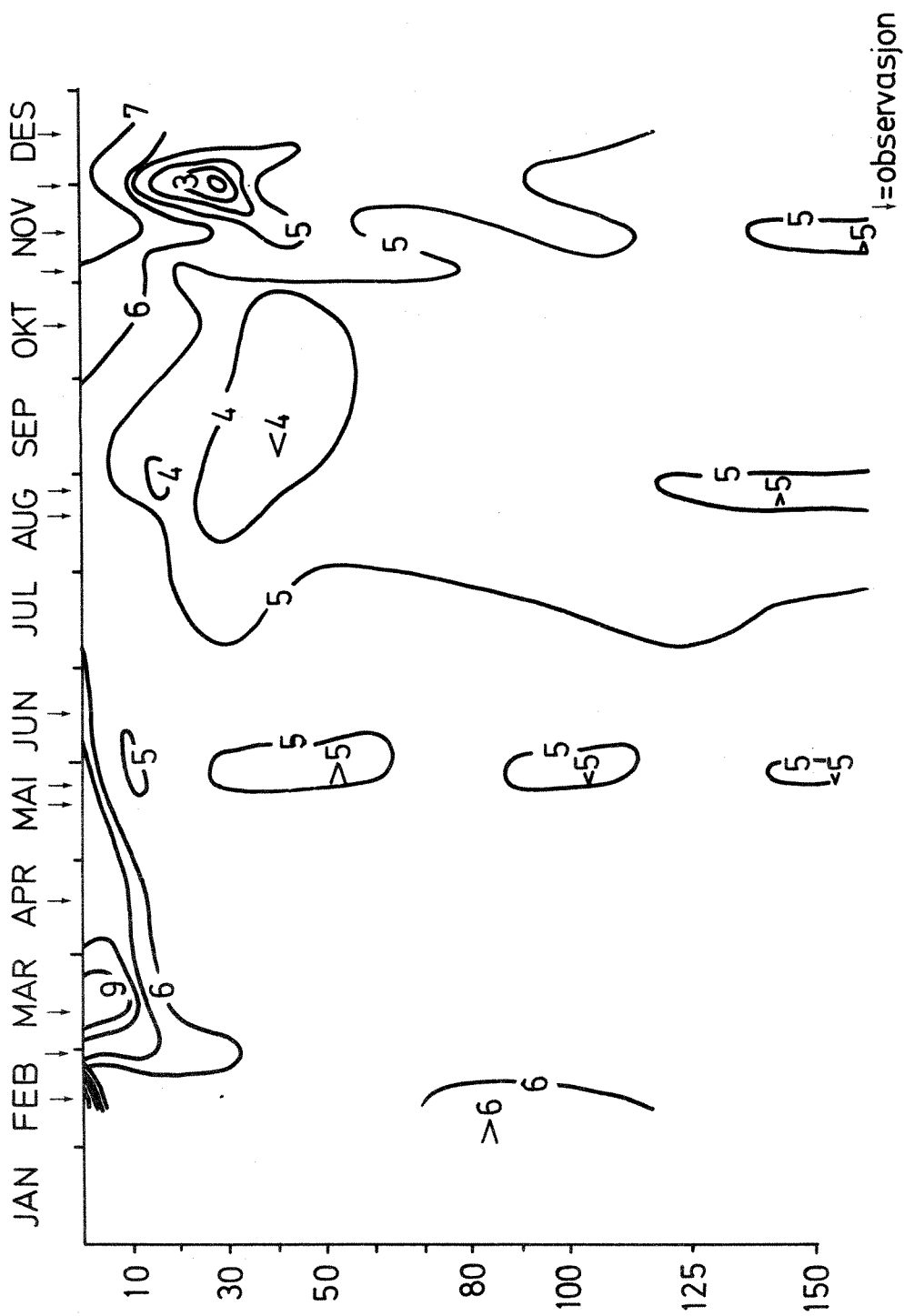


Fig. 13. Oksygenvariasjoner (ml/l) i Drøbaksundet (Elle lykt) 1978.

Temperaturen i dypvannet falt fra ca 7.2 °C til 6.2 °C.

Utskiftningen ble også registrert i Lysakerfjorden, hvor oksygeninnholdet økte til nesten 5 ml/l etter å ha vært mindre enn 1 ml/l i oktober 1977. I Bunnefjorden ble vann skiftet ut på 40 - 75 meters dyp, men store deler av dette vann var gammelt Vestfjord-vann.

Dypvannsutskiftningen sammenfalt i tid med kraftige nordlige vinder (se Fig. 3 og 4) i midten av februar. Tilsvarende vindforhold i mars ga imidlertid ikke noen ny innstrømming av vann fra Drøbaksundet. Fig. 12 viser at saliniteten, som stort sett er bestemmende for vannets egenvekt, avtok i slutten av februar i vannmassene over terskeldypet (20 meter) slik at dypvannet i indre fjord var tyngre enn overflatevannet i Drøbaksundet. Det kunne derfor ikke skje noen utskiftning av de dypere lag i indre Oslofjord, til tross for kraftig vind fra nord.

Ferskvannstilførselen var normal for perioden i området (Fig. 2), hvilket betyr at vannmassene med det lave saltinnhold ble dannet utenfor Oslofjord-området og senere transportert inn. Ferskvannstilførselen blokkerte på denne måten muligheten for dypvannsfornyelse fra mars til mai. I mai - juni ble egenvekten igjen tilstrekkelig, slik at overflate-laget i Drøbaksundet strømmet inn og ned i de dypere lag innenfor Drøbakterskelen, sannsynligvis i forbindelse med nordlige vindperioder. Det innstrømmende vannet ble imidlertid innlagret på mellom-nivåer i Vestfjorden, sannsynligvis som følge av at innstrømningen var relativt kortvarig både i mai og juni, bedømt etter vindforholdene.

I Bunnefjorden økte oksygeninnholdet noe i april, og vann fra Vestfjorden ble overført til Bunnefjorden og vice versa. Økningen av oksygeninnholdet var merkbar helt ned til 100 meters dyp. Etter april måned var det ingen utskiftning av de dypere vannmassene i Bunnefjorden i 1978.

I Vestfjorden ble intermediære innstrømninger registrert. I september ble det innstrømmende vannet blandet ned til 40 meters dyp. Denne innstrømning påvirket også Bunnefjorden. En ny innstrømning skjedde i slutten av november/begynnelsen av desember. Denne innstrømning vil bli behandlet i neste års rapport.

Mengden av nytt vann som er tilført indre Oslofjord under 20 meters dyp er beregnet som for tidligere år (se Årsrapport 1975-1976 (NIVA, 1977). Også i år er temperatur-, salinitets- og tetthetsdata brukt for bedømmelse av til hvilket nivå det gamle dypvannet er hevet (Gade, 1970). Dessuten er utskiftningseffekten beregnet ved hjelp av oksygen- og total fosforkonsentrasjoner. Variasjonene i total fosfor og oksygen i det innstrømmende vannet var noen ganger lettere å fastslå enn f.eks. salinitet, hvor de vertikale gradientene var store og blandingsprosessenes kompleksitet i innstrømningsøyeblikket vanskeliggjør tolkningen av sluttresultatet etter at innstrømmingen er avsluttet. Ved beregningen av dypvannsfornyelsen med oksygen og total fosfor er følgende relasjon brukt:

$$P = q_1 P_1 + q_2 P_2$$

hvor q_1 og q_2 er andelen nytt og gammelt vann, P_1 konsentrasjonen på det innstrømmende vannet, P_2 konsentrasjonen på det gamle vannet, og P er resultatet av denne blanding.

I perioden frem til midten av mars 1978 ble ca $2.100 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann skiftet ut, hvilket tilsvarer 35% av fjordens totale volum under 20 meter. I Vestfjorden ble ca 45% av vannet skiftet ut, og i Bunnefjorden ca 15% under 20 meters dyp. Ytterligere dypvannsfornyelse i Vestfjorden i mai - juni er beregnet til ca $700 \times 10^6 \text{ m}^3$, dvs. totalt vel 60% av vannet under 20 meters-nivået i denne fjord-del ble fornyet i løpet av vinteren - våren 1978. (For fjorden totalt innebærer dette ca $2.800 \times 10^6 \text{ m}^3$, eller vel 45% av vannvolumet under 20 meters dyp).

Overflatelaget

Oppholdstiden på overflatelaget er altfor liten i relasjon til observasjonsfrekvensen, hvilket ikke gjør det mulig å beregne vannutskiftningen i denne vannmassen direkte. Av Fig. 6 og 10 kan en del utskiftninger avleses ved å studere variasjonene i vannets salinitet. Overflatevannet ned til 10 meters dyp ble skiftet ut i januar, i midten og slutten av februar, i mars, begynnelsen av april, slutten av mai, i juni og juli, i begynnelsen og slutten av august, i september, oktober og desember.

Tidligere ble det observert (NIVA, 1978) at en midlere, nordlig vindstyrke på 3 - 4 m/s i over en uke, medførte utskifting av vann mellom overflaten og ned til ca 10 meters dyp. Etter dette ble antallet potensielle utskiftninger i overflatelaget beregnet som følge av nordlig vindmengde. Tabell 4 viser resultatet av lignende beregning for 1978.

Tabell 4. Antall potensielle utskiftninger av overflatelaget (0-10 m) i indre Oslofjord, beregnet etter nordlige vinder i 1978.

Måned	Jan	Febr	Mars	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des
Antall utskiftninger	1	4-5	3	1	1	1	1	1	1	0	2	2-3

Totalt tilsvarer de 18-20 utskiftingsepisodene $32.000 - 36.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann, dvs en transport på vel $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$. Transporten i sommermånedene blir imidlertid lavere - ca $700 \text{ m}^3/\text{s}$ i juni - august. Overflatevannets utskifting ble også beregnet for 1977, men dessverre ble feilaktige tall presentert. I 1977 ble $39.500 \times 10^6 \text{ m}^3$ (mot tidligere oppgitt $30.800 \times 10^6 \text{ m}^3$) vann utskiftet ved 22 tilfeller, hvilket tilsvarer en midlere transport på ca $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$ og ca $900 \text{ m}^3/\text{s}$ i perioden juni - august. Utskiftingen av overflatevann var således muligens noe bedre i 1977 sammenlignet med 1978.

2.4 Dypvannsutskiftingene 1973 - 1978

Tabell 5. Beregnet dypvannsutskifting 1973-1978 - samt prosentvis fornyelse av volumet under 20 meters dyp.

År	Utskiftet vannvolum (mill. m^3)	% av fjordens volum under 20 meters dyp
1973	1.200	20
1974 ^{x)}	8.300	140
1975	1.200	20
1976	3.300	55
1977	5.900	100
1978	2.800	45

x) innbefatter også perioden november-desember 1973.

I 1978 var vannutskiftningen liten sammenlignet med 1974 og 1977. Vannutskiftningen i overflatelaget var mindre enn i 1977 (se foran). 1978 var således et mindre godt år sett ut fra vannutskiftnings synspunkt, - allikevel ikke blant de dårligste årene på 1970-tallet.

2.5 Oksygenforholdene i fjordens dypvann i 1978 sammenlignet med tidligere observasjoner.

Som det tidligere er redegjort for i overvåkingsrapportene fra indre Oslofjord, skyldes oksygenreduksjonen i fjordens dypvann mellom dypvannsutskiftninger i vesentlig grad forbruk ved nedbrytning av organisk materiale. Produksjonen av det organiske materialet skjer dels på land, hvor det føres til fjorden via elver og kloakk, men først og fremst i fjordens overflatelag, hvor næringssalter fra blant annet kloakkutslipp bidrar til store planteplankton-bestander som vil synke ned i dypvannet. Hvis vannutskiftningen var konstant i indre Oslofjord, ville avtagende oksygeninnhold i dypvannet direkte kunne avsløre forandringer i produksjonen av organisk stoff, dvs hovedsakelig forandringer i kloakktilførselen.

Imidlertid vanskeliggjøres en tolkning av oksygendata fra indre Oslofjords dypvann på grunn av variasjonene i vannutskiftning og dessuten også klimatiske variasjoner. Vi kan eliminere vannutskiftningsfaktoren ved å sammenligne år med samme størrelse på vannutskiftningen. Oksygeninnholdet i dypvannet vil nå være en funksjon av klima og direkte tilførsler av næringssalter og organisk stoff fra land. De klimatiske variasjonene vil innebære at konstant gjødsling av overflatevannet vil gi størrelsesforskjeller i planteplanktonproduksjon, alt etter hvor mye visse klimatyper virker positivt eller negativt inn på denne produksjonen. Klimaeffekten er fortsatt stort sett en ukjent faktor.

Fig. 14 og 15 viser middelerdi og standardavvik fra tidligere oksygenobservasjoner i hver enkelt måned med innlagte enkeltverdier fra 1978. Konsentrasjonene av oksygen i Bunnefjorden og Vestfjorden var i 1978 noenlunde "normale" sammenlignet med de tidligere observasjoner, men flesteparten av observasjonene ligger klart under middelerdi.

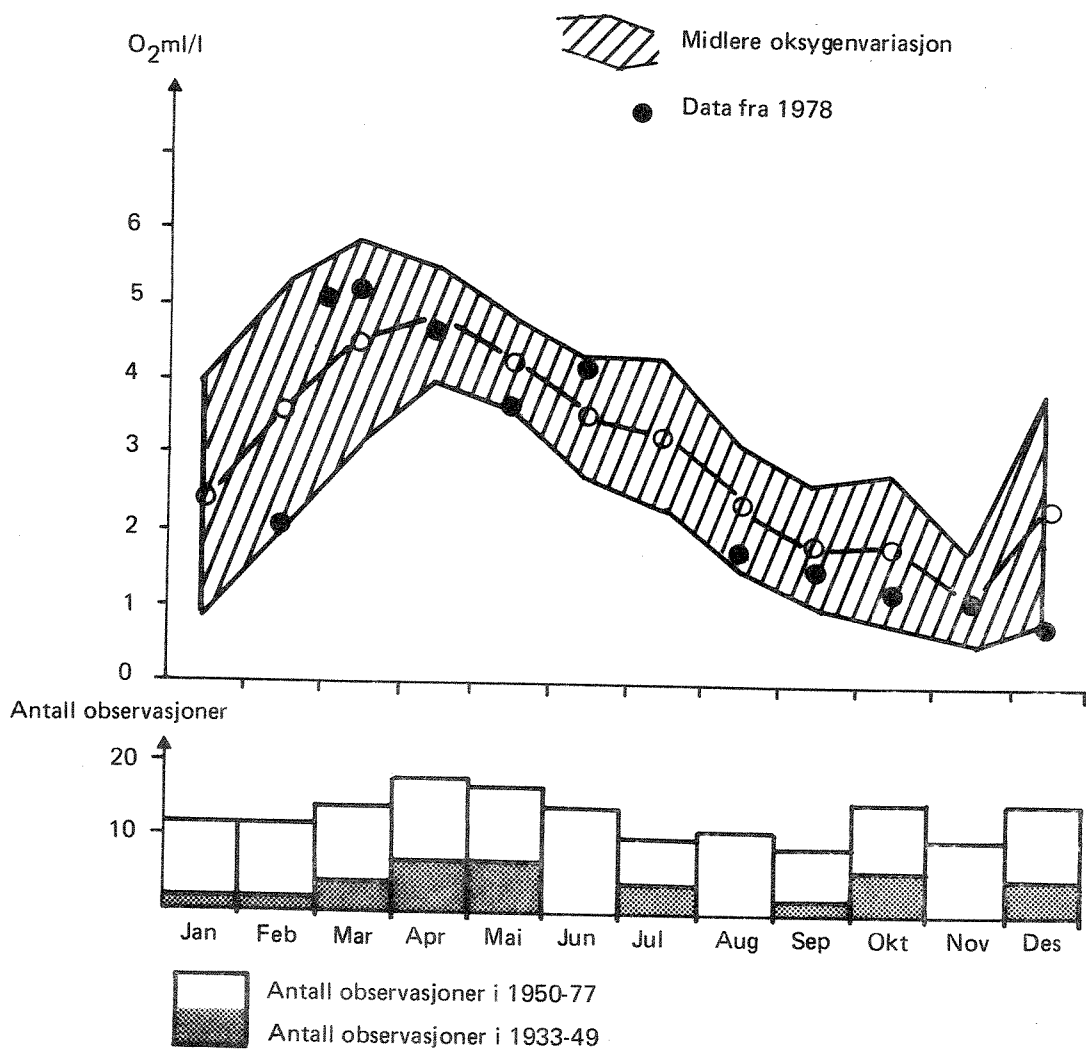


Fig. 14. Månedsmiddel og standardavvik for oksygenkonsentrasjonen på 80 meters dyp i VESTFJORDEN (St DK-1) 1933 - 77, basert på data fra periodene 1933 - 40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1946 - 51 (Beyer og Føyn 1951), og 1962 - 73 (NIVA), samt observasjoner fra 1974 - 78 (Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen, og NIVA).

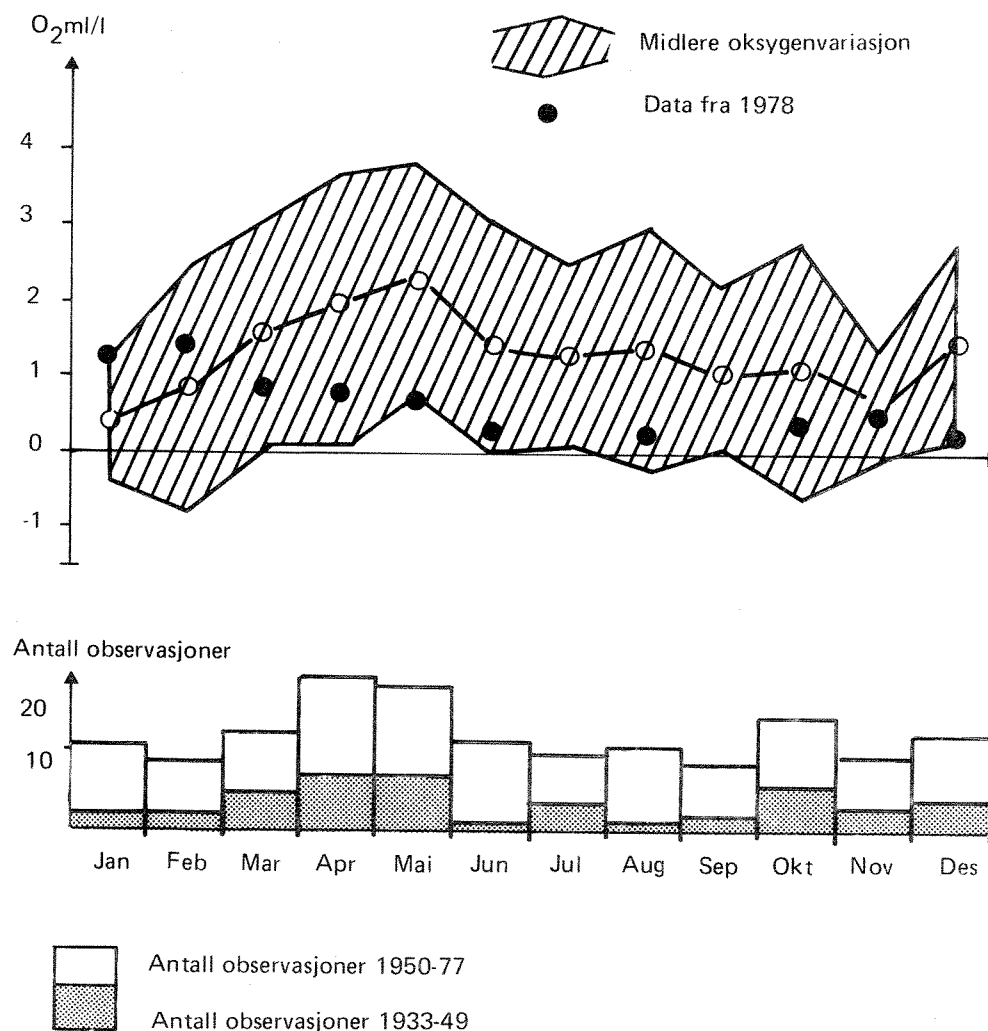


Fig. 15. Månedsmiddel og standard-avvik for oksygenkonsentrasjonen på 125 meters dyp i BUNNEFJORDEN (St EP-1) 1933 - 77, basert på data fra periodene 1933 - 40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1946 - 51 (Beyer og Føyn), 1962 - 74 (NIVA) og 1975 - 78, Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen, og NIVA).

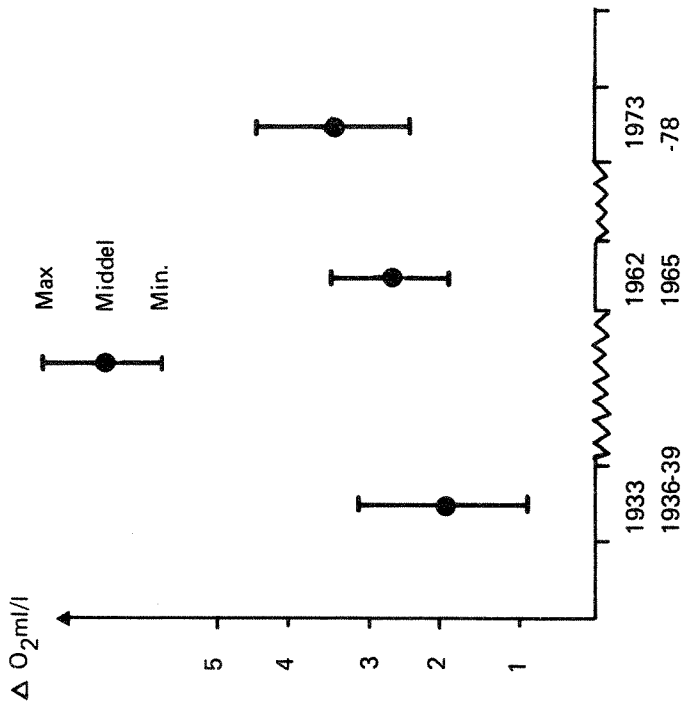


Fig. 16. Oksygenreduksjonen på 75 - 80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1) mai - oktober i forskjellige perioder.

Sett i relasjon til data fra lengre tid tilbake, er forholdene i fjorden fortsatt dårlige. Fig. 16 illustrerer utviklingen i oksygenreduksjonen i mai - oktober i årene 1933, 1936-1939, 1962-1965 og 1973-1978.

Oksygenforbruket har økt ca 1.5 ganger fra 1930-tallet til 1970-tallet på 80 meters dyp i Vestfjorden.

I perioden 1973 - 1978 viser oksygenkonsentrasjonen i Vestfjorden en svakt økende tendens på 80 meters dyp (Fig. 17). 1978 hadde i relasjon til vannutskiftningens størrelse en høyere oksygenkonsentrasjon enn året 1976, som hadde en noe bedre vannutskiftning (Tabell 6).

Tabell 6. Vannutskiftning i indre Oslofjord og oksygenkonsentrasjon i oktober på 80 meters dyp i Vestfjorden (stasjon DK-1). (Vannutskiftning 1962-1965 etter Gade, 1967).

År	Vannutskiftning ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	O_2 (ml/l) i oktober på 80 meters dyp i Vestfjorden (DK-1)
1962	1.400	1.7
1963	5.600	1.7
1964	1.600	1.4
1965	5.300	2.1
1973	1.200	0.4
1974	8.300	1.6
1975	1.200	0.3
1976	3.300	0.8
1977	5.900	1.4
1978	2.800	1.3

Fortsatt vil imidlertid en sammenligning mellom 1970-tallet og 1960-tallet resultere i lavere oksygeninnhold på 70-tallet ved samme størrelse på dypvannsfornyelsen, eller til og med noe bedre dypvannsfornyelse i perioden 1973 - 1978, - spesielt hvis vi sammenligner 1964 og 1978, som hadde omtrent samme oksygenkonsentrasjon i oktober.

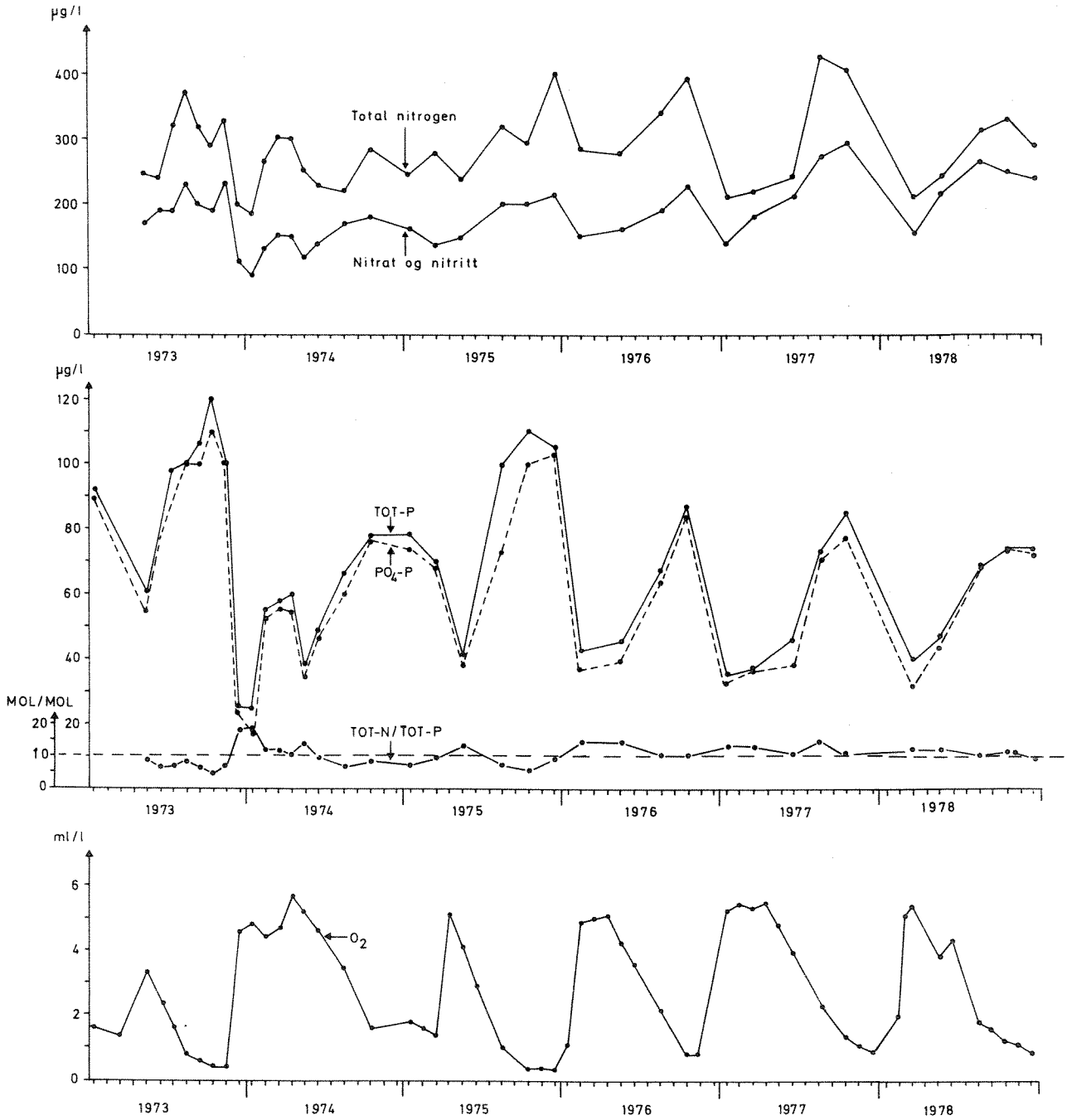


Fig. 17. Variasjoner av total nitrogen, nitrat og nitritt, total fosfor, ortofosfat, forholdet total nitrogen / total fosfor (MOL /MOL), samt oksygen i Vestfjorden (DK 1) på 80 meters dyp 1973–78.

2.6 Hydrokjemiske observasjoner 1933 - 1978

På figur 17 er de observerte hydrokjemiske parametre for Vestfjorden i perioden 1973 til 1978 angitt. Tendensen fra foregående år fortsetter i 1978. Fosforkonsentrasjonen synes å være avtagende, mens nitrogenkonsentrasjonen (total nitrogen og nitrat-nitritt) var omtrent den samme eller muligens svakt høyere. Spesielt gjelder dette nitrat. Tot-N/Tot-P-forholdet lå på over 10:1 (atomvektbasis). Fortsatt lå imidlertid ortofosfat-konsentrasjonene i Vestfjordens dypvann over tidligere observasjoner (Fig. 18).

2.7 Oksygenvariasjoner i Drøbak-sundet

Tabell 7 viser en enkel sammenstilling av oksygendata fra 75 - 80 meters dyp ved Elle lykt i Drøbaksundet, ytre Oslofjord. Dataene er fra Braarud og Ruud (1937), Dannevig (1945), Føyn (1962) samt datarapporter fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, foruten egne data.

Vår-observasjonene (april - mai) viser noe lavere middelkonsentrasjoner på 1960-tallet sammenlignet med de to andre periodene, men forskjellen er ikke signifikant. Fra 1960-tallet til 1930-tallet begynner en klar minking av oksygenkonsentrasjonen i august måned, som blir signifikant i oktober også sammenlignet med den tidligste observasjonsperioden.

November- og desemberdata viser ingen forskjeller mellom periodene.

Tabell 7. Middelkonsentrasjon av oksygen (ml/l) på 75 - 80 meters dyp ved Elle lykt (Drøbaksundet) fra forskjellige perioder.

Måned	1933-34, 1937-40 (Ant. Obs.)		1962 - 68, 1970 (Ant. Obs.)		1974 - 78 (Ant. Obs.)	
	Middell \pm standardav.		Middell \pm standardav.		Middell \pm standardav.	
April	5.78 \pm 0.23	(5)	5.39 \pm 0.26	(8)	5.84 \pm 0.20	(5)
Mai	5.67 \pm 0.55	(4)	5.32 \pm 0.27	(5)	5.40 \pm 0.46	(6)
Juli	5.33 \pm 0.47	(3)	5.18 \pm 0.33	(5)	-	
August	-		5.25 \pm 0.24	(6)	4.93 \pm 0.26	(6)
Oktober	5.13 \pm 0.25	(5)	4.94 \pm 0.12	(4)	4.62 \pm 0.25	(5)
November	-		4.78 \pm 0.17	(5)	4.74 \pm 0.32	(4)
Desember	4.45 \pm 0.64	(2)	4.99 \pm 0.44	(7)		

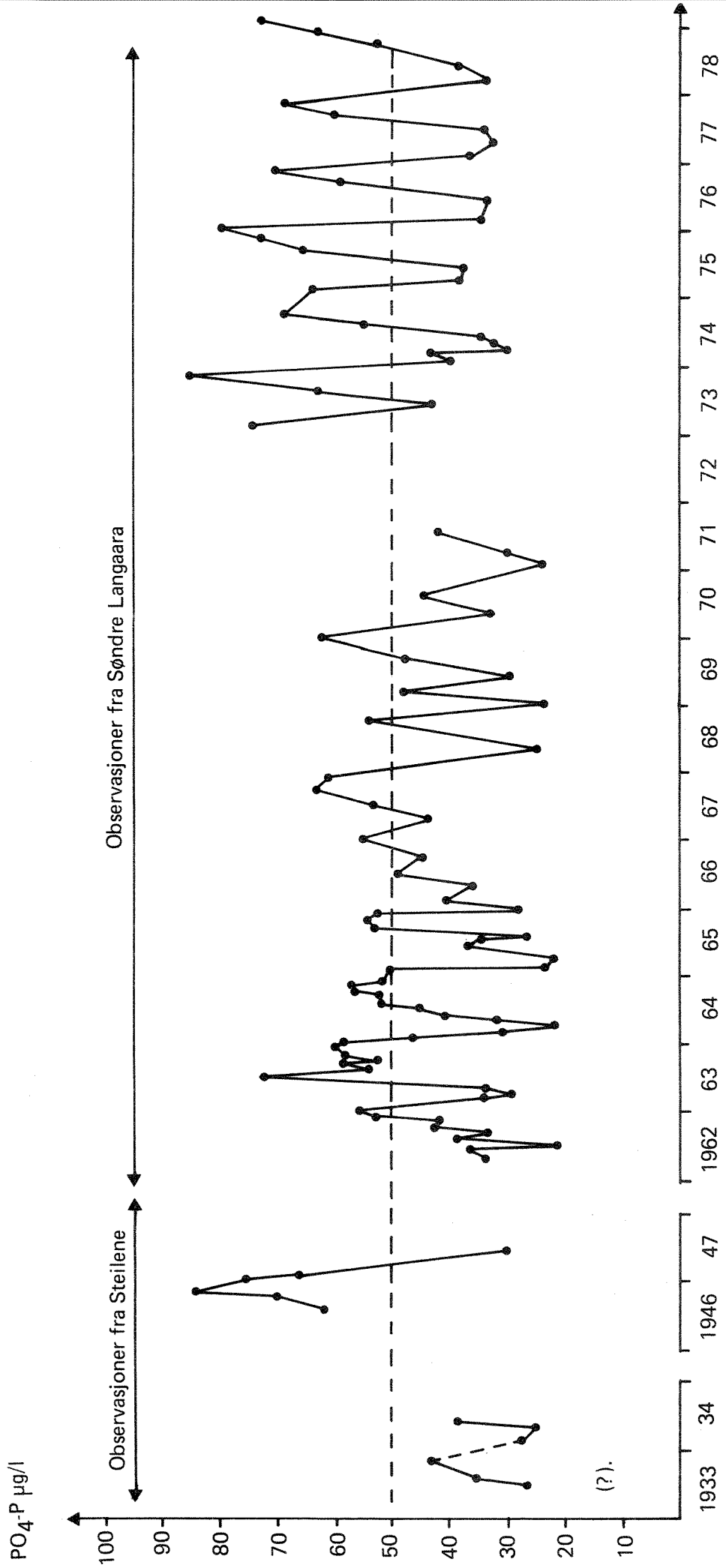


Fig. 18. Ortofosfatvariasjoner µg/l på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (Stasjon DK 1 og FL 1)

3. OKSYGENFORHOLDENE PÅ REKEFELTENE I VESTFJORDEN

Innledning.

Det har forvaltningsmessig stor verdi å øke kjennskapet til dypvannsrekas oksygenkrav i norske fjorder. Dette inngikk da også som en del av overvåkingsprogrammet for Oslofjorden i 1978.

Rekefiske foregikk tidligere i hele indre Oslofjord, men fra begynnelsen av 1950-åra forsvant rekene fra Bunnefjorden, samtidig som fjorden periodisk ble anoksisk i dypvannet. Etterhvert er også fisket i Lysakerfjorden blitt svært variabelt. I dag tas det praktisk talt ikke reke innafor Steilene, og også i området mellom Steilene og Håøya er fisket enkelte perioder svært dårlig, noe som ser ut til å falle sammen med dårlige oksygenforhold i dypvannet.

Et av hovedproblemene er å skaffe opplysning om oksygenkonsentrasjonen like overfor bunnen, der reka normalt oppholder seg. Med en konvensjonell hydrografi-vannhenter (hydrobios eller Nansen) kan en vanskelig ta prøver nærmere enn ca 1.5 m fra bunnen, uten risiko for å virvle opp sediment.

For å nærme seg et svar på om dette er tilstrekkelig representativt, ble oksygengradienten like over bunnen i områder med forskjellige strømforhold og varierende organisk belastning undersøkt.

Et annet spørsmål var om de hydrografiske hovedstasjonene er tilstrekkelig representative for rekefeltene, eller om de må suppleres.

Metodikk

Det ble brukt en horisontal vannhenter montert på en fot, slik at vanninntakets høyde over bunnen ble ca 12 cm til senter (9-15 cm for ytterkantene). På wiren over bunnvannhenteren ble montert en konvensjonell hydrobios vannhenter, slik at midten av den ble stående ca 1.5 m over bunnen. Vannhenterne ble senket svært langsomt de siste 2 meter før bunnen. Wiren ble holdt stram med handa etter at foten var nådd bunnen og inntil begge vannhenterne var utløst. På den måten ble oppvirvling av sediment unngått, og vi fikk klare vannprøver.

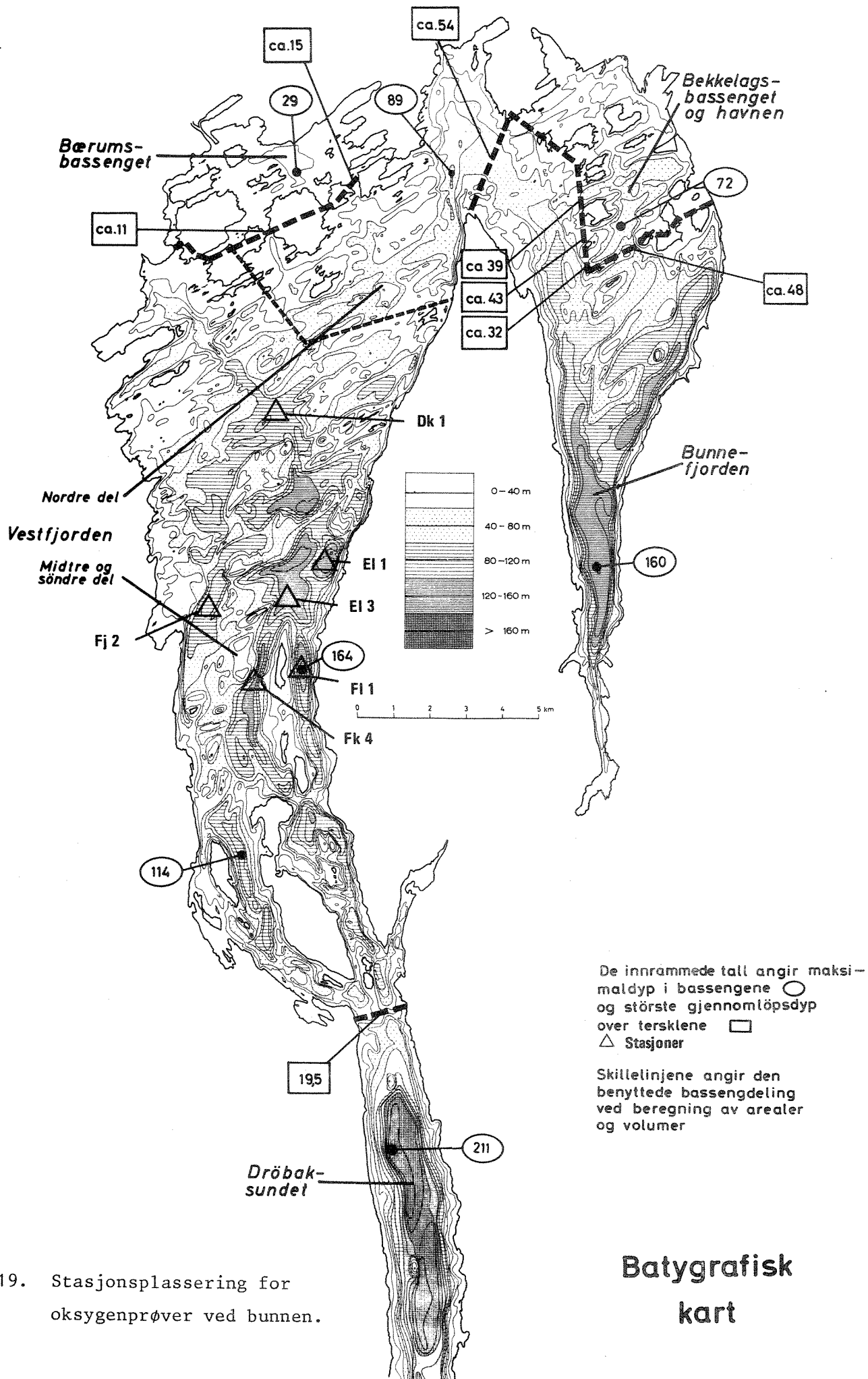


Fig. 19. Stasjonsplassering for oksygenprøver ved bunnen.

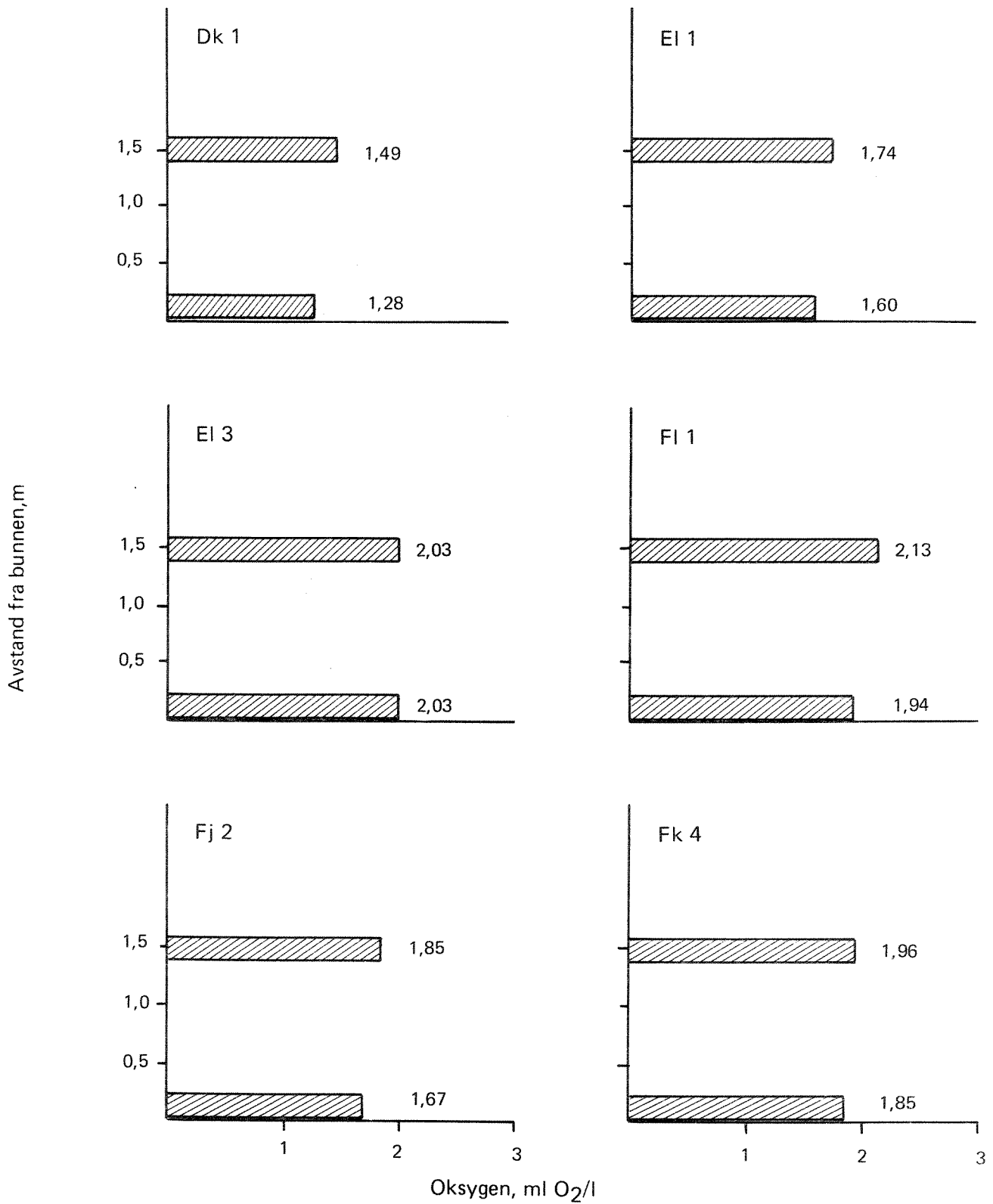


Fig. 20. Oksygeninnholdet i vannprøver tatt 12 cm og 1.5 m over bunnen i Vestfjorden 5. oktober 1978.

Stasjonsnettets fremgår av figur 19.

På alle stasjoner unntatt Dk-1 ble det tappet parallelle vannprøver fra den nederste vannhenteren. Etter tilsetning av Winkler-reagenser, ble oksygenflaskene oppbevart under vann og analysert neste dag. For å kontrollere at den nederste vannhenteren ble utløst ved bunnen, ble også saltholdigheten i begge vannhenterne bestemt for alle stasjoner.

Resultater og diskusjon

Analyseresultatene for oksygen er fremstilt i Fig. 20. Verdiene for 1.5 m er resultat av en enkelt-analyse, mens verdiene for 0.12 m (unntatt Dk-1) er snittet av resultatene av 2 parallelle analyser. Oksygeninnholdet i prøvene lå i området 1.2 - 2.2 ml O₂/l.

Alle stasjoner med unntak av E1-3 hadde lavere oksygenkonsentrasjon 12 cm over bunnen enn 1.5 m. (Stasjon E1-3 lå ikke i bunnen av et dypbasseng, men i en svak helling. Dette kan muligens forklare avviket fra de øvrige stasjonene).

Forskjellen var ca 0.2 ml O₂/l både i prøvene fra Midtmeie (Dk-1), Sprodjupet (F1-1) og Svartedjupet (Fj-2). I prøvene fra Støadjupet (E1-1) og Langårrenna (Fk-4) var forskjellen 0.1 - 0.2 ml O₂/l.

Når forskjellen fra 0.12 til 1.5 m over bunnen er såvidt konstant, tyder dette på at det er en reell oksygengradient like over bunnen i dypbassengene i Vestfjorden.

Oksygenkonsentrasjonen 1.5 m over bunnen varierte først og fremst langs fjordens lengde-akse (Dk-1 - F1-1). Ellers syntes det å være bedre forhold på østsida enn på vestsida av fjorden (F1-1, Fk-4, Fj-2), til tross for at Langårrenna og Sprodjupet er dypere enn Svartedjupet.

I 1978 var ikke oksygenkonsentrasjonene så lave at rekefisket i Vestfjorden sør for Steilene ble merkbart påvirket. Det ble derfor ikke utført fler enn ett enkelt tokt. Resultatene fra dette viser imidlertid at problemet er aktuelt, dvs at det er en oksygengradient ved bunnen og at det er en geografisk variasjon. Det er derfor aktuelt å gjennomføre undersøkelsen ved en senere anledning, eventuelt med en vannhenter som kan ta prøver enda nærmere bunnen, eller ved å bruke en sonde.

4. OVERFLATEVANNETS KVALITET BEDØMT VED SIKTEDYP, KLOROFYLL, ALGEVEKSTPOTENSIAL OG PLANTENÆRINGSSALTER.

4.1 Utviklingen i 1978

Figurene 21, 22, 23 og 24 viser observasjoner av klorofyll-a og siktedyp, samt uorganisk nitrogen ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) og fosfor (PO_4) på stasjonene EP1 (Bunnefjorden), DK1 (Steilene), BN1 (Nesodden/Lysakerfjorden) og AP2 (Havnebassenget). Algevekstpotensialet ble bare systematisk undersøkt på stasjon DK1. Disse observasjonene er tatt med på figur 22.

Vinteren 1977-78 ble det registrert konsentrasjoner av uorganisk nitrogen fra 315 til 490 $\mu\text{g/l}$ på stasjon EP1, fra 240 til 375 $\mu\text{g/l}$ på stasjon DK1, 245 til 390 $\mu\text{g/l}$ på stasjon BN1 og 390 til 650 $\mu\text{g/l}$ på stasjon AP2. Konsentrasjonene av fosfat var fra 34 til 38 $\mu\text{g/l}$ på EP1, fra 23 til 36 $\mu\text{g/l}$ på DK1, fra 30 til 34 $\mu\text{g/l}$ på BN1 og fra 41 til 46 $\mu\text{g/l}$ på stasjon AP2.

Det var klart mest næringssalter på stasjon AP2 i Havnebassenget, klart minst ved Steilene (DK1).

Våroppblomstringen foregikk fra slutten av februar til midten av mars på alle stasjoner. Allerede på toktet 28/2 til 1/3 ble det observert klorofyll-konsentrasjoner på mellom 10 og 20 μg klorofyll-a/l på stasjonene EP1, DK1 og BN1. (Bunnefjorden, Steilene, Nesodden/Lysakerfjorden). Siktedypet var da redusert til 4 m på de nordligste stasjonene, mens det fremdeles var 9m siktedyp i Drøbakssundet (stasjon KN1), (Tabell 10). Forskjeller i siktedyp i en oppblomstringsperiode kan skyldes ulike tidspunkt for starten på oppblomstringen. Av tabell 10 fremgår også at det var en klar gradient ut fjorden fra stasjon BN1 når det gjelder konsentrasjon av næringssalter, med lavest konsentrasjon av næringssalter ytterst.

Til midten av mars økte konsentrasjonen av klorofyll-a til 20 og 25 $\mu\text{g/l}$ ved stasjon DK1 og BN1, mens det var mer enn 40 $\mu\text{g/l}$ på stasjon EP1 og AP2. Samtidig ble siktedypet ytterligere redusert. Denne reduksjonen var minst utpreget på stasjon AP2, antagelig fordi andre forhold enn planteplankton der har avgjørende innflytelse på siktedypet, - forhold som også har innflytelse i vinterperioden. Fosfat ble brukt opp raskere enn nitrogen, slik at konsentrasjonene i slutten av våroppblomstringen var nede i 2 $\mu\text{g/l}$ eller

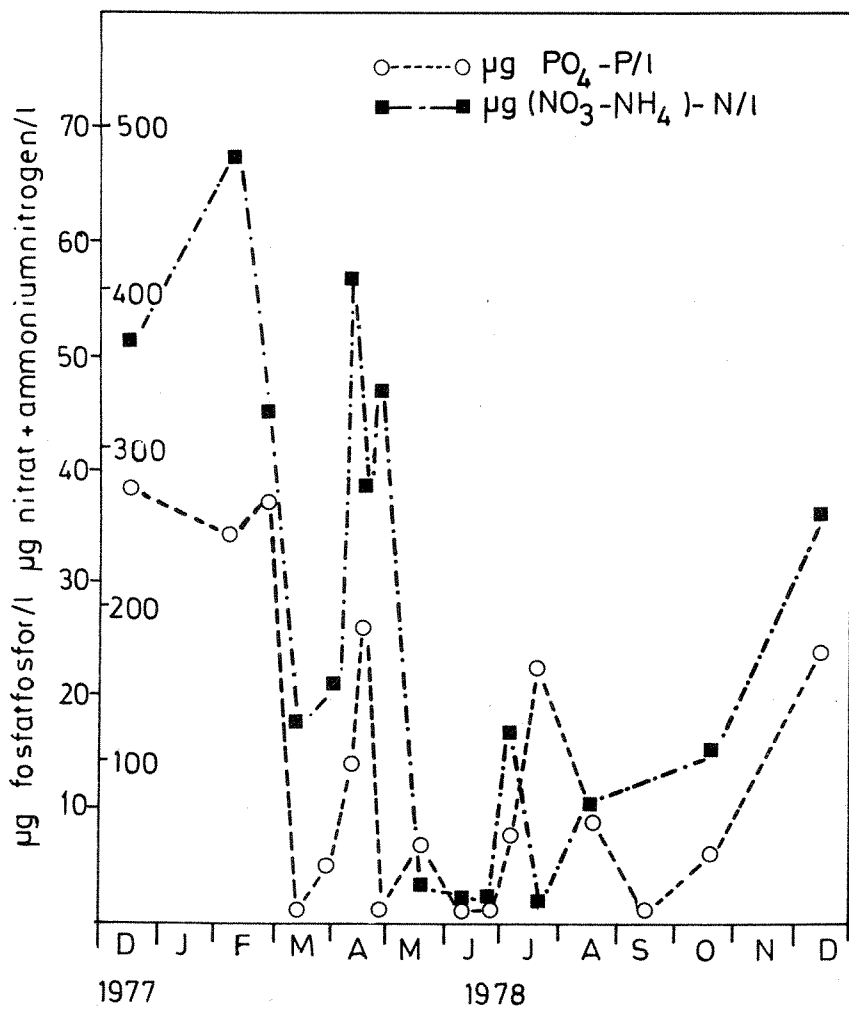
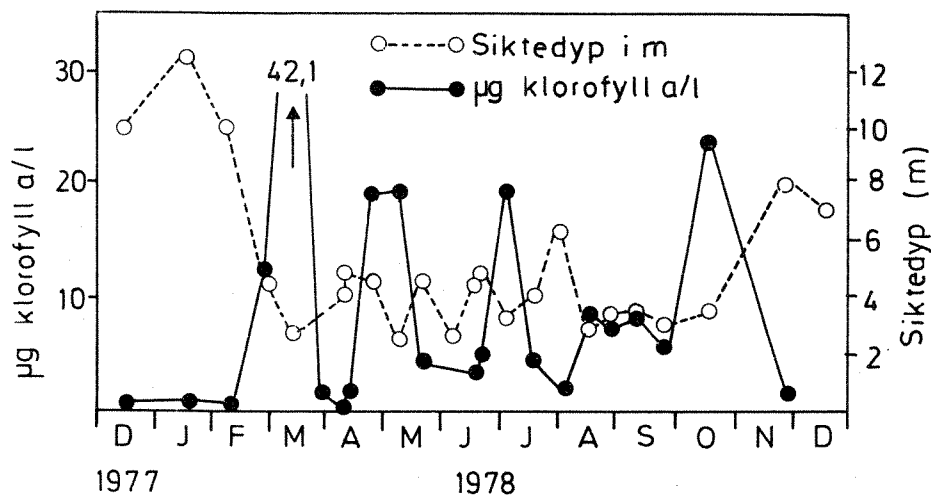


Fig. 21. Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium og fosfat (nederst) på St. EP-1 (BUNNEFJORDEN) i 1978.

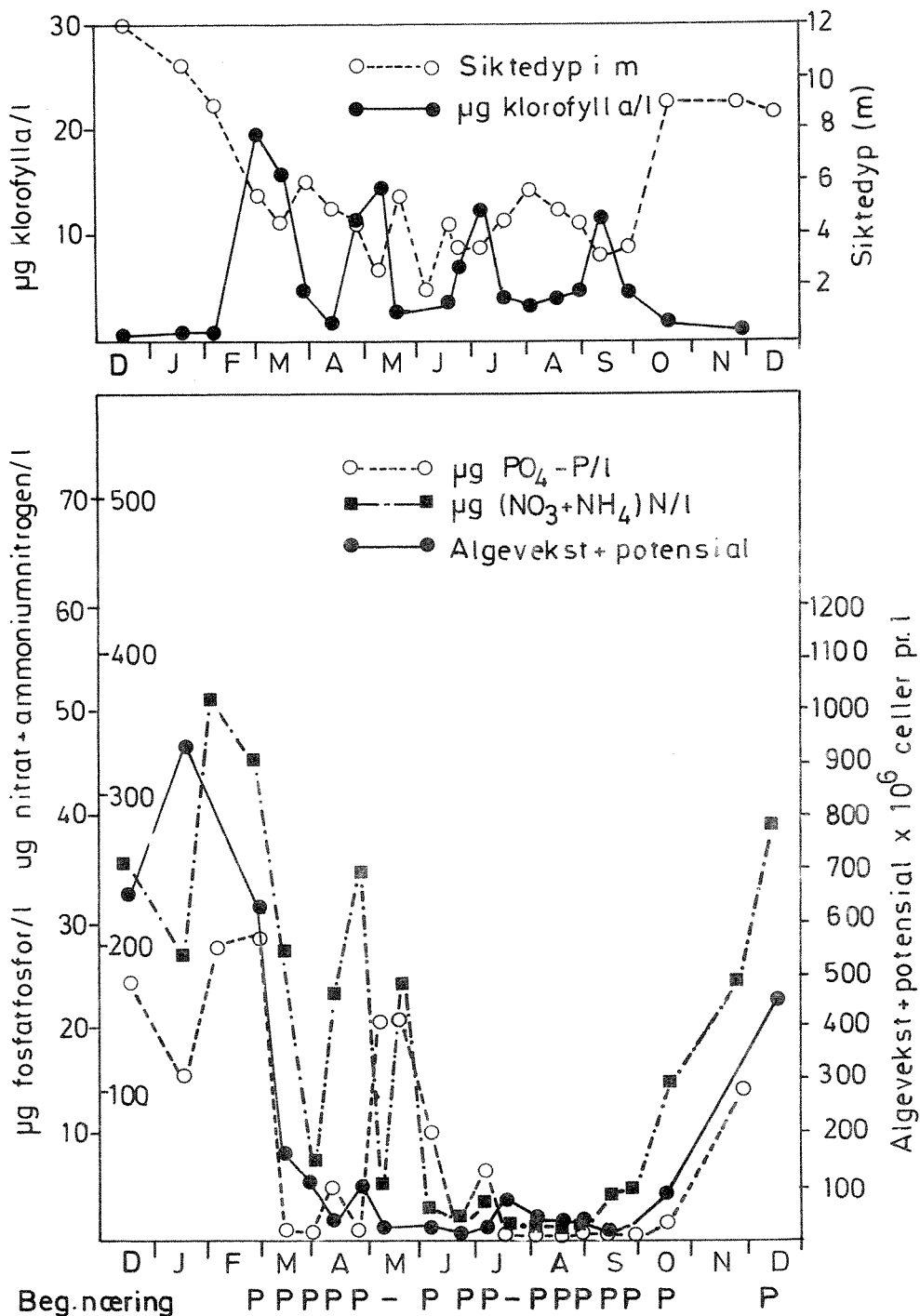


Fig. 22. Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium, fosfat og algevekstpotensial (nederst) på St. DK-1 (Steilene) i 1978. Nederst er begrensende næring for testalgene angitt.

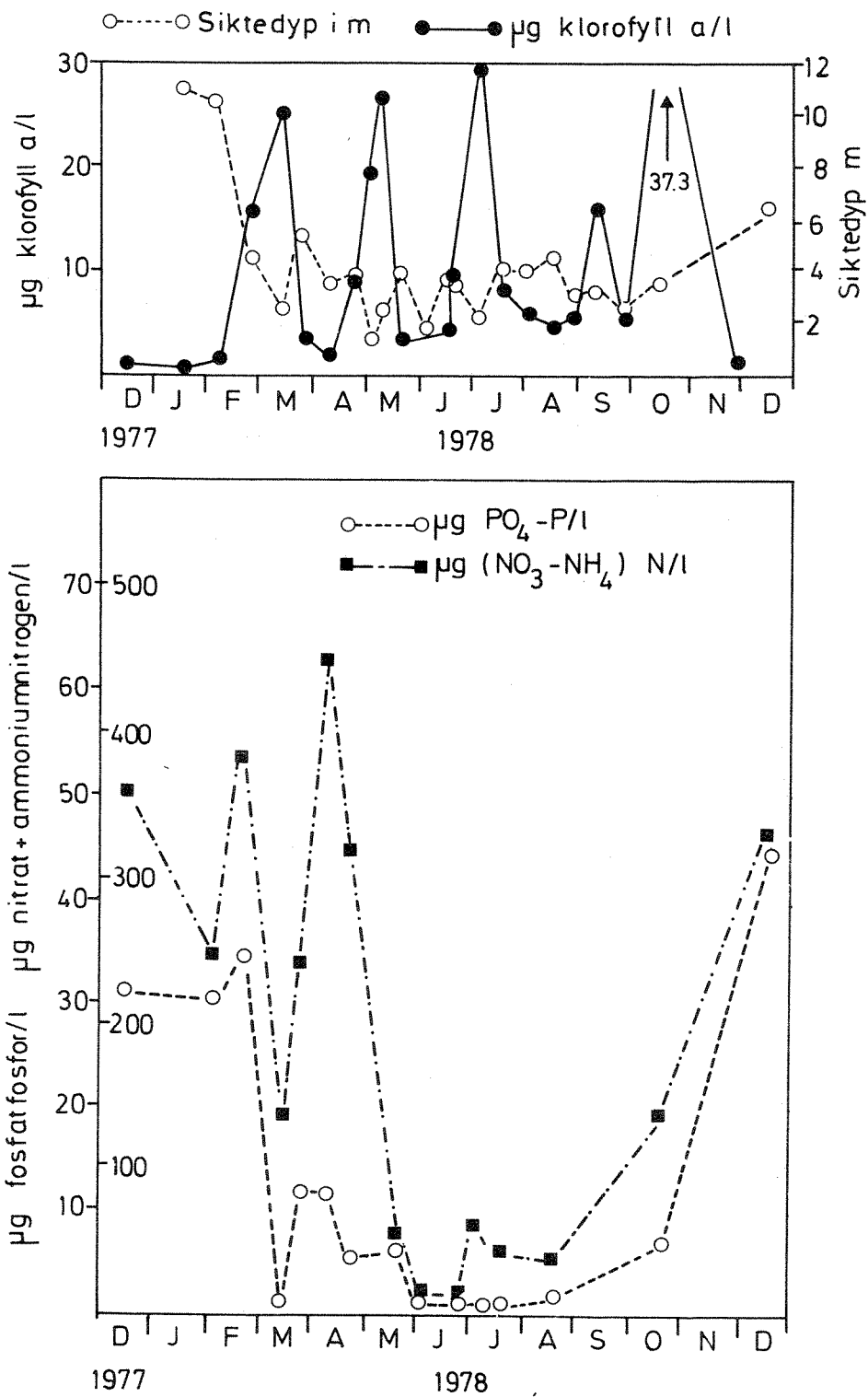


Fig. 23. Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium og fosfat (nederst) på stasjon BN-1 (NESODDEN/LYSAKERFJORDEN) i 1978

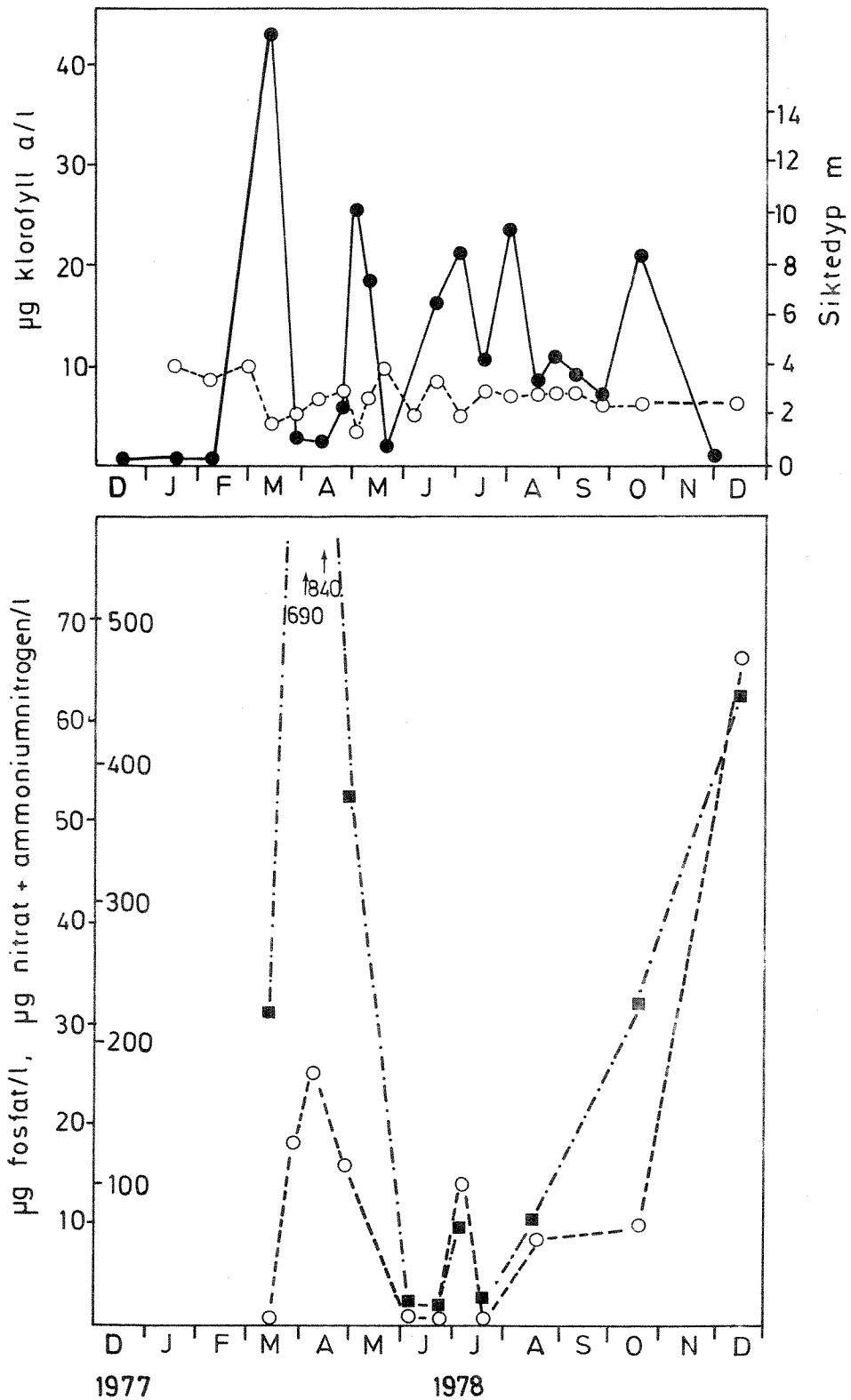


Fig. 24. Variasjon i klorofyll-a og siktedyp (øverst) og nitrat + ammonium og fosfat (nederst) på stasjon AP-2 (HAVNEBASSENGET) i 1978.

mindre på alle fire stasjonene. I samsvar med dette var algevekstpotensialet på stasjon DK1 sterkt redusert, men høyere enn fosfatmengden tyder på. Andre fosforforbindelser enn fosfat har antagelig vært tilgjengelig for testalgenes vekst.

På samme måte som i 1977 økte konsentrasjonene av uorganiske nitrogenforbindelser igjen etter våroppblomstringen, og også fosfatkonsentrasjonene økte. Dette var med på å underholde en ny kraftig oppblomstring fra slutten av april gjennom første halvdel av mai. De maksimale registrerte konsentrasjonene av klorofyll-a var fra ca. 15 µg/l ved Steilene (DK1) til over 25 µg klorofyll-a/l på stasjon AP2 (Havnebassenget) og BN1 (Nesodden/Lysakerfjorden). Også i 1977 ble det registrert en mai-oppblomstring, men ikke med tilsvarende høye konsentrasjoner av klorofyll.

På toktet 19/5 var oppblomstringen slutt. Klorofyllverdiene var under 5 µg/l på alle 4 stasjoner. Siktedypet var fra 2.8 til 4 m på de nordligste stasjonene, BL4 (Bærumsbassenget), AP2 (Havnebassenget) og CQ1 (Bekkelagsbassenget) fra 3.5 m til 4.5 m i Bunnefjorden (stasjon CP2 og EP1) og økte fra 4 til 6 m på stasjonene BN1 via DK1 til GL1. (Nesodden, Steilene, Håøya) (Tabell 10).

Konsentrasjonen av næringsalter var forholdsvis høy, spesielt ved Steilene.

I begynnelsen av juni tyder siktedyp på 2 til 2.5 m på at det var en ny oppblomstring på alle 4 stasjoner. Det ble ikke foretatt målinger av klorofyll. E. Paasche ved Universitetet i Oslo som foretar undersøkelser av algepopulasjonene i Oslofjorden fant konsentrasjoner av *Skeletonema costatum* som tilsvarte 800 µg C/l på stasjon DK1 først i juni, mens han bare fant ca. 400 µg C/l ved våroppblomstringen i mars (pers.medd.).

Juni-oppblomstringen har derfor vært spesielt kraftig, og dette har antagelig sammenheng med de høye konsentrasjonene av næringsalter i slutten av mai.

Fra midten av juni til begynnelsen av juli ble det igjen bygget opp betydelige konsentrasjoner av planteplankton. På toktet 21/6 (Tabell 10) ble det registrert klorofyllkonsentrasjoner på over 40 µg/l i Bærumsbassenget (BK1). Ellers i bassengene var konsentrasjonene fra 7.6 µg/l i Bekkelagsbassenget (CQ1) til 22.7 µg/l i Frognerkilen. I Lysakerfjorden var det omkring 10 µg klorofyll-a pr. l, mens det i resten av fjorden var omkring 5 µg/l.

På de 4 hovedstasjonene økte klorofyllkonsentrasjonene til 12.5 µg/l på Steilene og til mellom 20-30 µg/l på de øvrige 3 fram til 4. juli.

Resten av sommeren avvek utviklingen i Havnebassenget (AP2) fra de øvrige hovedstasjonene. Det ble der registrert en ny klorofylltopp i begynnelsen av august, mens det på de øvrige stasjonene stort sett var mellom 2 og 6 µg klorofyll a/l i hele august.

På toktet den 1/8 var det høye klorofyllverdier og dårlig siktedyp på stasjonene i bassengene, og tendens til mindre klorofyll og bedret siktedyp ut Vestfjorden og inn Bunnefjorden (Tabell 10).

Det var en tydelig høstoppblomstring på stasjonene BN1 og DK1 i september mens det på stasjonene EP1 og AP2 var mer jevnt høye klorofyllverdier fra slutten av august og ut september. På samtlige stasjoner bortsett fra i Steilene var det også en kraftig sen høstoppblomstring i oktober (Tabell 10). Utover høsten økte som vanlig konsentrasjonene av plantenæringsstoffer mot normale vinterverdier, mens klorofyll-konsentrasjonene ble redusert, og siktedypet økte.

Begrensende næringssalt

Algetestene på vann fra stasjon DK1 (Steilene) viste stort sett potensiell fosforbegrensning gjennom hele året (Fig. 22). Dette ble bekreftet av at det atomaere forholdet mellom uorganiske nitrogenforbindelser og uorganisk fosfor stort sett var betydelig over 7:1 på alle 4 hovedstasjonene (Fig. 21,22,23 og 24). I begynnelsen av mai og juni kan det imidlertid ha vært potensiell nitrogenbegrensning på stasjon DK1 (Fig. 22), og på stasjon EP1 tyder forholdet mellom uorganisk nitrogen og fosfor på potensiell nitrogenbegrensning både midt i mai og midt i juli, mens forholdstallet var nær 7:1 midt i august. I juni og juli og også i august for stasjon DK1's vedkommende, var de påviste konsentrasjonene av uorganisk nitrogen og fosfor så lave at forholdstallene er spesielt usikre. Avstanden mellom nitrogen og fosforbegrensning var ikke stor.

Sammenligning mellom ulike deler av fjorden

I tabell 10 vises observerte siktedyp og resultater av klorofyllanalyser på hovedtoktene 28/2-1/3, 19/5, 21/6, 1/8 og 17-18/10. På første og siste tokt ble det også analysert på næringssalter.

Gjennomgående er det en klar gradient fra de nordre stasjonene i bassengene og ut i Vestfjorden og inn Bunnefjorden, med dårligst siktedyp, mest klorofyll og høyest konsentrasjon av næringssalter i de bynære områdene. Forholdet mellom Vestfjorden og Bunnefjorden er noe variabelt, og det kan ikke på grunnlag av de 5 hovedtoktene slutes at det er noen avgjørende forskjell i vannkvalitet på de to fjordområdene.

På de 4 hovedstasjonene der toktfrekvensen var tettere, er grunnlaget for sammenligning bedre. Vannkvaliteten var gjennomgående best på stasjon DK1, med de minste planteplanktonbestandene og best siktedyp.

I Havnebassenget (AP2) var vannkvaliteten klart dårligst, mens forholdene var gjennomgående bedre på stasjon EP1 (Bunnefjorden) enn BN1 (Nesodden/Lysakerfjorden). Spesielt tydelig var dette i sommerperioden. Daglig gjennomsnittlig klorofyllmengde mellom 20. juni og 29. august var omtrent 3 ganger så høy på stasjon AP2 som stasjon DK1. Tabell 8. (Daglig gjennomsnittlig klorofyllmengde er regnet ut ved å ta gjennomsnittet av to tokt etter hverandre og multiplisere med antall dager mellom toktene, legge sammen disse resultatene for hele sommerperioden og dividere på antall dager i perioden).

Gjennomsnittlig observert siktedyp på toktene fra og med 6/6 til og med 29/8 er vist i tabell 9. Forskjellene i vannkvalitet vises ikke like tydelig på siktedyp som klorofyllmålingene, men rekkefølgen mellom stasjonene er den samme.

Siktedypene i tabell 9 kan sammenlignes med helsemyndighetenes krav til badevann på minimum mellom 2 og 3 m (Helsedirektoratet 1976). På stasjon DK1 og EP1 var det i juni, juli og august bare den 6/6 det ble observert siktedyp innen det aktuelle grenseområde. På stasjon BN1 var 3 av 8 observasjoner, og på stasjon AP2 hele 6 av 8 observasjoner innen dette området i de 3 sommermånedene.

Sammenligning med tidligere år

De registrerte konsentrasjoner av næringssalter og målingene av algevekstpotensial tyder ikke på noen vesentlige endringer fra tidligere år.

Registrerte siktedyp i 1978 er i figur 25 og 26 sammenlignet med tidligere registrerte siktedyp i perioden 1936-40 og 1962-77. Siktedypregistreringene i 1978 faller stort sett innenfor det tidligere variasjonsmønsteret.

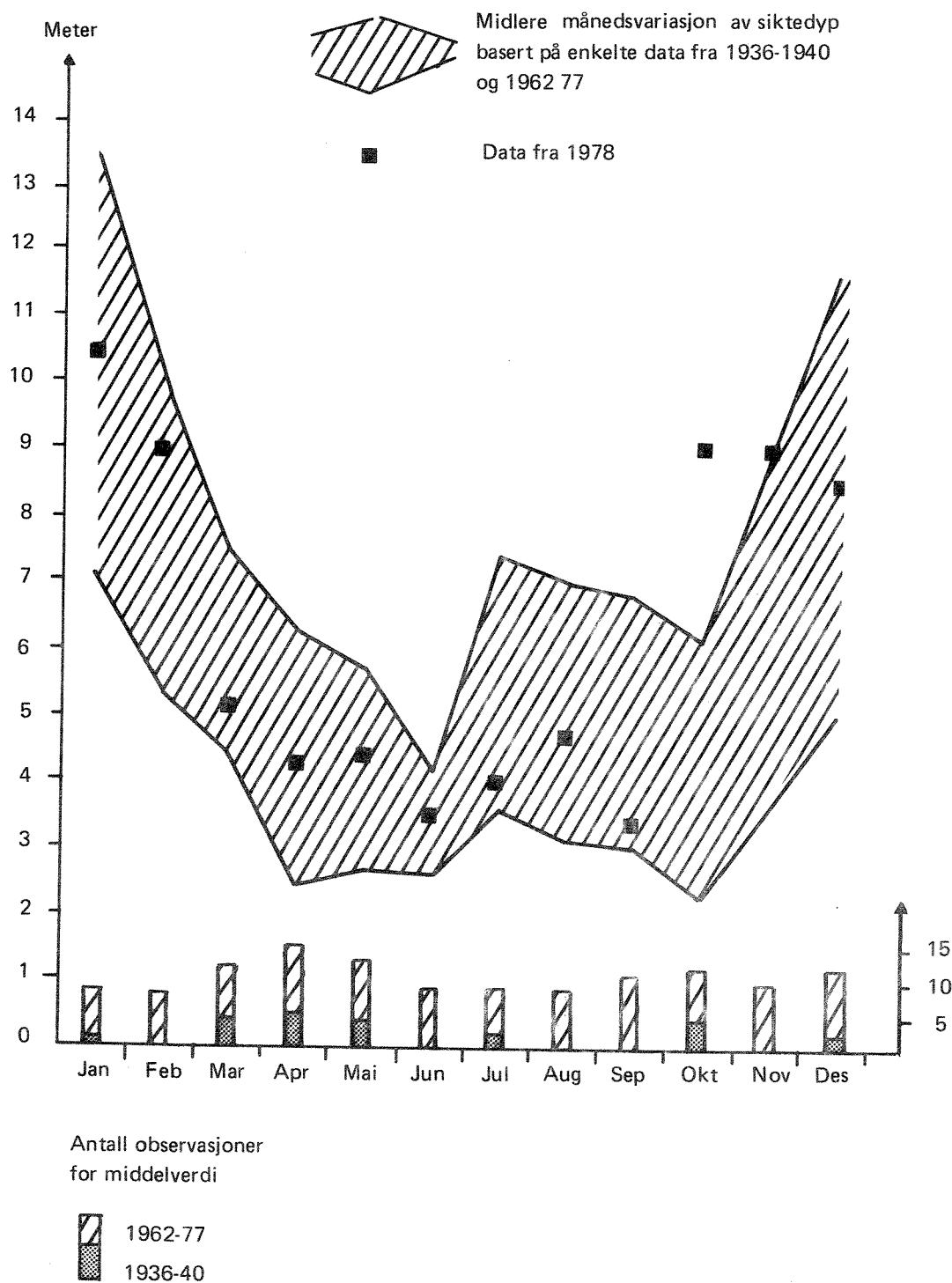


Fig. 25. Månedsmiddel og standardavvik for siktedyp i VESTFJORDEN (St. DK-1) basert på enkelte data fra 1936 - 40 (Dannevig, 1945) og fra 1962 - 77 samt innlagte observasjoner fra 1978.

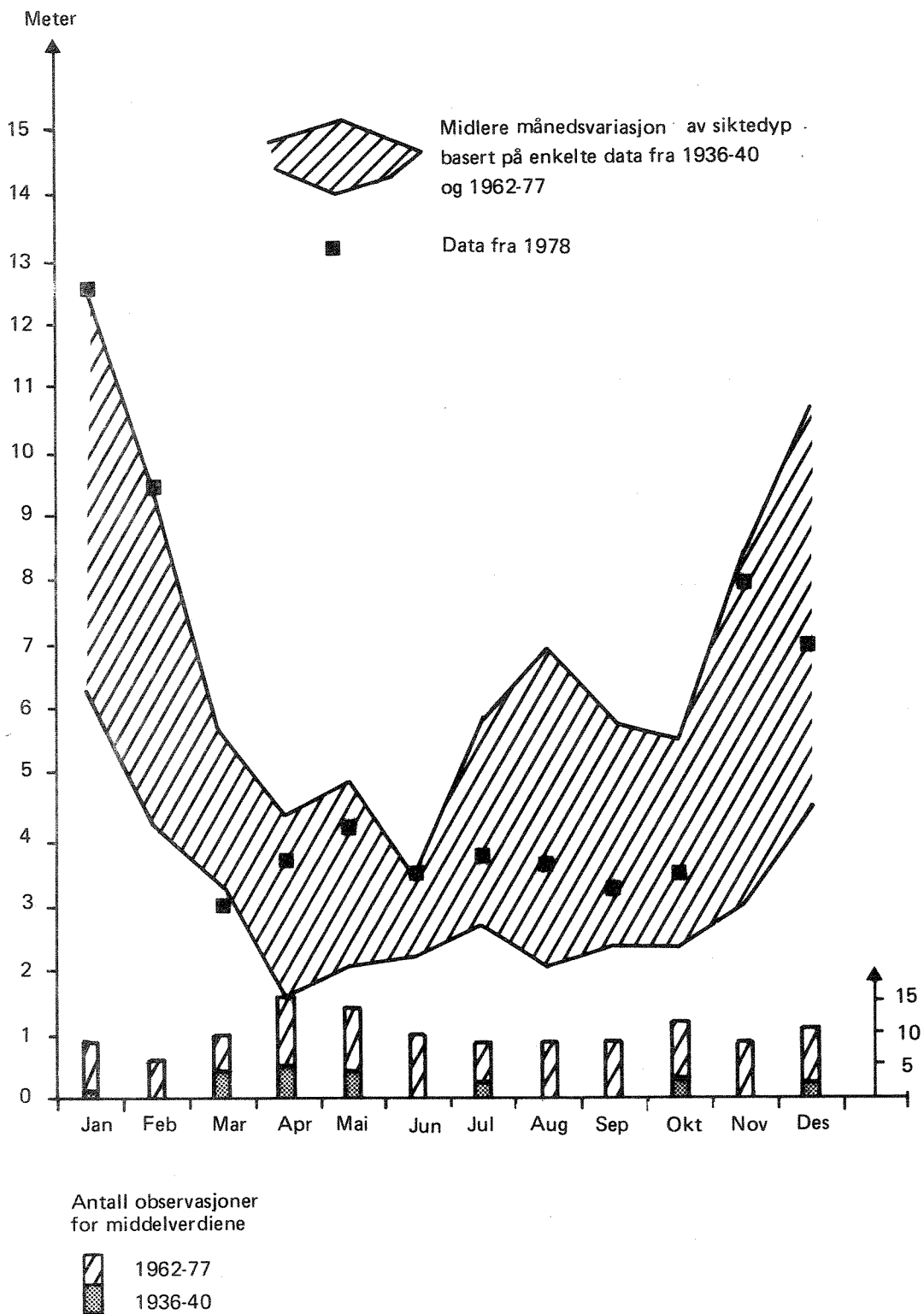


Fig. 26. Månedsmiddel og standardavvik for siktedyp i BUNNEFJORDEN (St. EP-1) basert på enkelte data fra 1936 - 40 (Dannevig 1945) og fra 1962 - 77 samt innlagte observasjoner fra 1978.

Tabell 8. Daglig gjennomsnittlig klorofyllmengde fra 20. juni til 29. august.

Stasjon DK1	(Steilene)	5.7 $\mu\text{g/l}$
"	EP1 (Bunnefjorden)	7.9 "
"	BN1 (Nesodden/Lysakerfjorden)	10.9 "
"	AP2 (Havnebassenget)	15.8 "

Tabell 9. Gjennomsnittlig observert siktedyp fra 20. juni til 29. august.

Stasjon DK1	(Steilene)	4,55 \pm 0.80 m
"	EP1 (Bunnefjorden)	4.12 \pm 1.26 m
"	BN1 (Nesodden/Lysakerfjorden)	3.47 \pm 0.77 m
"	AP2 (Havnebassenget)	2.88 \pm 0.47 m

Tabell 10. Observasjoner av siktedyp, klorofyll og næringsalter på hovedtoktene, (* : Analysen er utført på filtrert vann).

28/2-1/3-78	Stasj.	Siktedyp (m)	Klorofyll-a $\mu\text{g/l}$	Tot-P $\mu\text{g/l}$	PO ₄ -P $\mu\text{g/l}$	Tot-N $\mu\text{g/l}$	NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ N $\mu\text{g/l}$
Bunnefjorden	EP1	4.5	12.5	49	37*	640	315*
"	CP2	4.7					
Bekkelagsbass.	CQ1	4.0					
Havnebassenget	AP2	4.0					
Lysakerfjorden	BN1	4.5	15.1	44	34*	700	390*
Vestfjorden	DK1	5.5	19.3	37	29*	680	315*
"	FL1	7.5		35	28	350	230
"	GL1	7.5					
Drøbakksund	KN1	9.0		32	25	470	200

19/5-78

Bunnefjorden	EP1	4.5	4.6	21	7	385	20-30
"	CP2	3.5					
Bekkelagsbass.	CQ1	4.0					
Havnebassenget	AP2	4.0	1.8	70		640	
Bærumsbasseng.	BL4	2.8					
Lysakerfjorden	BN1	4.0	3.3	14	6	305	50-60
Vestfjorden	DK1	5.5	2.5	50	21	275	175
"	GL1	6.0					

21/6-78

Bunnefjorden	GP1	4.5	5.5				
"	EP1	5.0	5.0				
"	DQ1	4.5	5.2				
"	DP2	5.5	3.8				
"	CR1	4.5	5.4				
"	CP2	4.5	6.4				
Bekkelagsbass.	CQ1	4.0	7.6				
"	BQ1	3.5	15.1				
Havnebassenget	AP2	3.5	16.4				
"	FROGN	2.5	22.7				
Bærumsbass.	BL4	2.75	9.7				
"	BK1	0.7	40.3				

Tabell 10 forts. ...

21/6-78	Stasj.	Siktedyp (m)	Klorofyll-a µg/l	Tot-P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot-N µg/l	NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ -N µg/l
Lysakerfjord	BN1	3.5	9.6				
"	AN1	2.6	11.1				
Vestfjorden	CJ1	4.0	6.3				
"	CM1	4.0	4.6				
"	DK1	3.5	6.3				
"	DM1	3.5	6.5				
"	DJ1	4.5	4.7				
"	EK1	4.5	4.8				
"	FL1	3.25	5.8				
"	GL1	3.0	5.5				
"	GK1	3.5	7.5				
Drøbakssund	KN1	3.5	6.5				
1/8-78							
Bunnefjorden	GP1	3.5	9.5				
"	EP1	6.3	1.9				
"	DQ1	4.9	10.3				
"	DP2	4.8	2.9				
"	CR1	4.0	9.2				
"	CP2	3.8	10.4				
Bekkelagsbass.	CQ1	3.2	16.3				
"	BQ1	3.0	13.4				
Havnebass.	AP2	2.9	23.9				
"	FROGN	2.2	17.6				
Bærumsbass.	BL4	3.8	11.5				
"	BK1	1.3	14.2				
Lysakerfjord	BN1	4.0	5.4				
"	AN1	3.6	11.3				
Vestfjorden	CJ1	3.6	9.0				
"	CM1	4.2	6.4				
"	DK1	5.8	3.3				
"	DM1	6.2	1.8				
"	DJ1	6.7	2.4				
"	EK1	6.8	2.1				
"	FL1	5.7	2.4				
"	GL1	5.7	2.2				
"	GK1	5.8	1.9				
Drøbakssund	KN1	4.2	4.5				

Tabell 10 forts. ...

17-18/10-78	Stasj.	Siktedyp (m)	Klorofyll-a µg/l	Tot-P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Tot-N µg/l	NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ -N µg/l
Bunnefjorden	EP1	3.5	23.1	31	6	375	105-115
"	CP2	2.0					
Bekkelagsbass.	CQ1	5.0	27.9	25	7	300	60-70
Havnebassenget	AP2	2.5	20.8	10	10	440	230
Bærumbasseng.	BL4	2.6	30.9	130	6	395	100-110
Lysakerfjorden	BN1	3.5	37.3	19	7	390	130
Vestfjorden	DK1	9.0	1.7	13	<2	200	45-55
"	FL1	12.0	1.5	12	5	290	130
"	GL1	7.0					
Drøbakssund	KN1	6.5	2.4	11	8	265	130

5. SAMFUNNENE AV FASTSITTENDE ALGER

I 1974 startet en undersøkelse over fem utvalgte algers utbredelse i indre Oslofjord. Arbeidet fortsatte i 1975, 1976 og 1977. Resultatet fra undersøkelsene er blitt rapportert i årsrapporter, og har ved sammenligning med tidligere undersøkelser i fjorden påvist endringer i algesamfunnene som følge av indirekte gjødslings- og andre forurensnings-effekter, men også naturbetingede variasjoner (av ytre faktorer). Undersøkelsen i 1978 har fulgt samme mønster som i de fire tidligere år.

Resultatene fra denne undersøkelsen skulle kun presenteres hvis spesielle forhold ble avslørt i 1978. Da dette ikke har vært tilfelle, blir registreringene for 1978 rapportert i kommende års rapporter.

6. SEDIMENTUNDERSØKELSER I OSLOFJORDEN, HØSTEN 1978.

6.1 INNLEDNING

På bakgrunn av resultater fremkommet ved undersøkelse av metallinnhold i sedimenter fra store deler av Oslofjorden (Doff, 1969) og fra Bekkelagsbassenget (NIVA, 1977), ble det foreslått en undersøkelse av bunn-sedimenter utenfor de største renseanleggene, elvemunningene og i de fleste bassengene i indre Oslofjord. Behovet for en slik undersøkelse er dokumentert ved erfaringer fra havneområder utenfor andre større byer. Disse viser en betydelig metallforurensning, selv om byene ikke er typiske industri-byer (Carmody et al., 1973). Forurensningen skyldes til dels store mengder metaller i kommunal kloakk, diffuse utslipp fra mindre industri og overflateavrenning, (bl.a. dumping av snø i havne-bassenget).

Den organiske belastningen av Oslofjorden er dokumentert ved flere års sammenhengende undersøkelser av vannkvalitet og biologiske forhold (Oslofjorden Og Dens Forurensningsproblemer, I. Undersøkelsen 1962-1965, NIVAs overvåkingsprogram). Mindre oppmerksomhet er blitt rettet mot metaller i Oslofjorden. Generelt har vannanalyser vist relativt lave metallkonsentrasjoner, med enkelte høyere verdier av sink, kopper og bly sammenlignet med uforurenset kystvann (Abdullah, pers.komm.). Analyser av tungmetaller i fisk (Andersen et al., 1973) viser også en tendens til noe høyere konsentrasjoner innerst i Oslofjorden. Det samme viser analyser av kopper, bly, sink, kadmium og bly i foraminiferer i bunnsedimenter (Winsnes, 1979).

Valget av sedimenter for å vurdere metallbelastningen i Oslofjorden er gjort ut fra følgende hensyn:

- 1) Sedimentenes metallinnhold gir et integrert bilde av tilførslene av metaller
- 2) Sedimentkjerner gir informasjon om tidligere tilførsler (historisk perspektiv)

- 3) Metaller i sedimenter kan være tilgjengelig for bunndyr, som videre er mat for bunnfisk (næringskjede). Fisk som ikke er stasjonær kan derfor tenkes å spre metaller over store områder.
- 4) Metallenes tilstandsform i overflatesedimentene kan endres ved endringer i oksygenforholdene i bunnvannet over (ved dypvannsutskiftninger).

I tillegg til metaller er det også funnet hensiktsmessig å analysere sedimentene på organisk materiale, fosfor og nitrogen. Dette for å vurdere den organiske belastningen av bunnområdene.

6.2 TIDLIGERE SEDIMENTUNDERSØKELSER I OSLOFJORDEN

Undersøkelse av bunnforholdene i Oslofjorden startet før århundreskiftet (Hjort & Dahl, 1900), og opplysninger som foreligger fra de tidligste undersøkelsene viser at bunnforholdene har endret seg betydelig i dette århundret. Utbredelsen av råttten, anoksisk bunn har økt, noe som tyder på økende organisk belastning (Beyer, 1967) og dårlig vannutskiftning, spesielt i begynnelsen av 50-årene. Trolig forverret forholdene seg betraktelig allerede i 20-30 årene som følge av innføring av moderne vannklosetter i Oslo kommune (Risdal, 1963), og som følge av en betydelig befolkningsøkning (Magnusson, 1979). I perioden 1963-65 bedret oksygenforholdene seg betydelig, og dette ga seg utslag i en endring fra anoksisk til oksiske overflatesedimenter, blant annet i Bunnefjorden (Beyer, 1967). Årsaken til bedringen i denne perioden kan være av klimatisk art (Magnusson, 1979).

Sedimentenes metallinnhold ble undersøkt i 1966-67 (Doff, 1969), og Tabell 11 viser gjennomsnittskonsentrasjoner for fire metaller i hele undersøkelsesområdet. Metallenes fordeling i enkelte bassenger og områder er vist i Tabell 12. Denne tabellen viser klart at områdene innerst i fjorden har høyest metallkonsentrasjoner. At Bekkelagsbassengets sedimenter er sterkt metall-forurenset er også bekreftet ved undersøkelsen i 1977 (NIVA, 1977). Det er spesielt verdt å merke seg de høye kvikksølvkonsentrasjonene.

Tabell 11. Metaller i overflatesedimenter fra Oslofjorden (etter Doff, 1969).

	PPM			
	Cr	Cu	Pb	Zn
Median 114 Prøver	113	66	104	346
Median 52 anoksiske	115	92	123	499
Median 62 oksiske	113	47	79	310

Tabell 12. Metaller i noen bassenger i Oslofjorden (etter Doff, 1969).

Lokalitet	PPM		
	Cu	Pb	Zn
Bekkelagsbassenget (6)	345	351	1292
Bærumsbassenget (6)	144	120	702
Bunnefjorden (23)	74	101	455
Vestfjorden (25)	65	117	444
Ytre Oslofjord (8)	38	77	268

6.3 PRØVETAKING OG METODER

Sedimentkjerner ble tatt med Niemistö "gravity corer" (Niemistö, 1974) på 18 stasjoner i området Drøbak-terskelen til indre Bunnefjord (Fig. 27). Et totalt antall av 53 sedimentprøver (2 cm sjikt) er analysert for kvikksølv (Hg), kadmium (Cd), krom (Cr), kopper (Cu), bly (Pb), sink (Zn), organisk materiale (O.M.), total fosfor (P) og total nitrogen (N). Prøvene er analysert i henhold til metoder gjengitt i NIVA (1977).

6.4 RESULTATER OG DISKUSJON

En visuell beskrivelse av sedimentkjernene er gitt i Tabell 13. Resultatene fra de kjemiske analysene er vist i Tabell 14.

6.4.1 Organisk materiale

Sedimentenes innhold av organisk materiale gir et bilde av den organiske fraksjonen som ikke nedbrytes i vannmassen eller på bunnen umiddelbart etter at det er sedimentert. Det sedimenterte organiske materialet er således et restprodukt som nedbrytningsprosesser ikke har kunnet ta hånd om enten som følge av for stor tilførsel av organisk materiale og/eller liten tilgang på oksygen. Nedbrytning av organisk materiale nede i sedimentet må vanligvis skje uten oksygentilgang, og disse prosessene er langsomme.

Konsentrasjonene av organisk materiale (basert på glødetap) i sedimentene i Oslofjorden varierte mellom 8.2 og 28.8% i overflatesedimentene

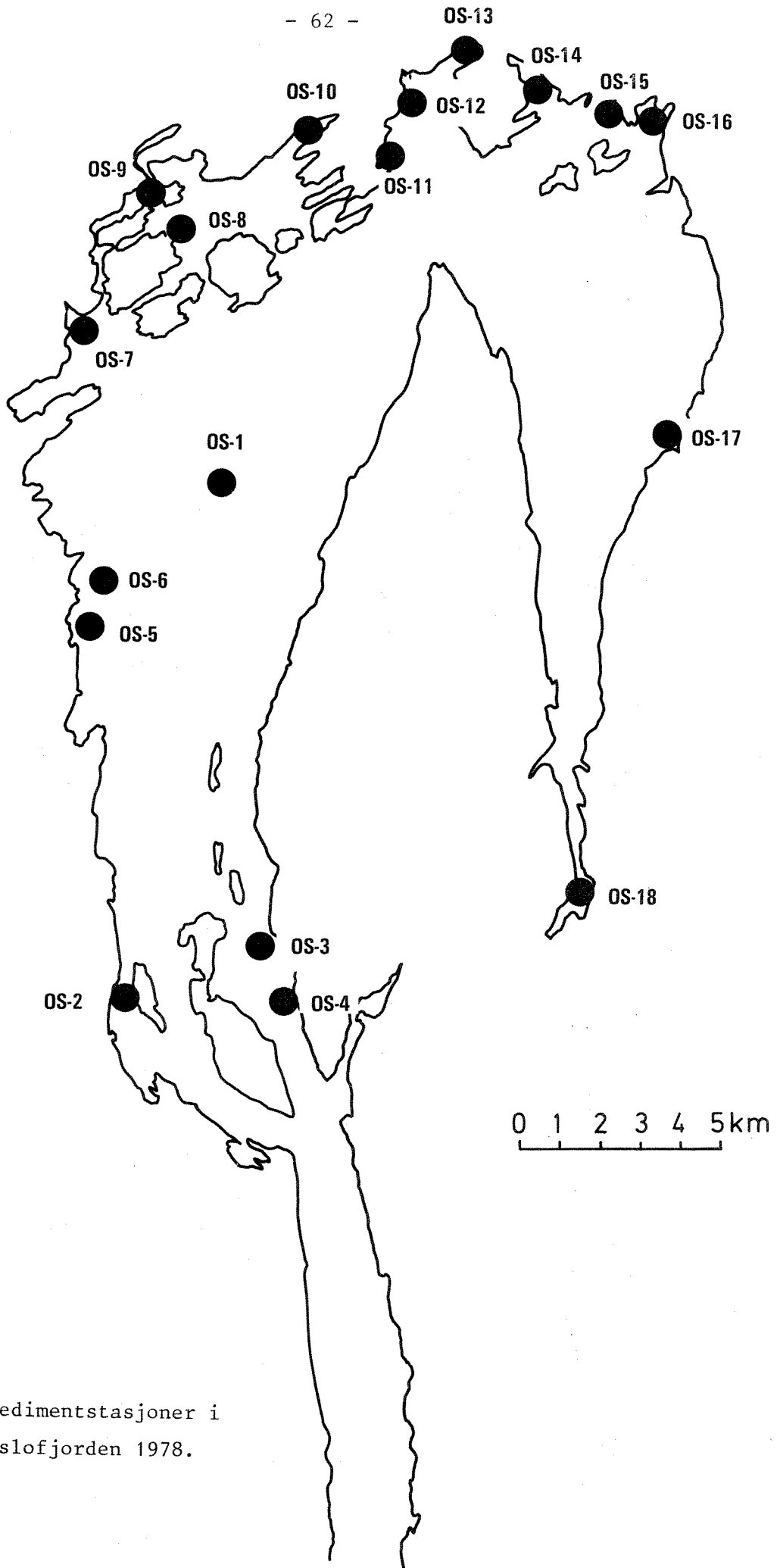


Fig. 27. Sedimentstasjoner i Oslofjorden 1978.

Tabell 13. Beskrivelse av sedimentkjernene tatt i Oslofjorden, september 1978.

Stasjon (nr)	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse:
OS-1	98	44	Bløtleire med noen få mm med brune fnokk på overflaten. Børstemarkrør.
OS-2	37	35	Mye børstemark i overflaten. 4 cm brunt overflatelag. Sort under, men ikke H_2S . Overgang fra sort til grå-brunt sediment ved 9 cm dyp. Noe siltig.
OS-3	136	23	Nær "Blücher". Brun overflate med mye børstemark. Meget grovt i nedre deler. Slaggpartikler fra 10 cm og nedover.
OS-4	95	21	Ca 50 m fra skroget av "Blücher". Brun overflate. Siltig/sandig sediment. Meget store fragmenter fra 4 cm og nedover (diameter: 3-4 cm). Ikke spor av olje.
OS-5	38	67	Nær utslippet fra sementfabrikken på Slemmestad. Lysegrå leiraktig sediment med børstemark i toppen. Klar innflytelse av utslipp fra fabr. i de øvre 35-40 cm.
OS-6	59	52	Mye børstemarkrør (1-2 cm over sedimentet). Sortfarget sediment fra 6-8 cm dyp. Lysere under. Fast, fin leire i bunnen.
OS-7	37	38	Brun overflate med børstemark. Noe skjell-fragmenter under overflaten.
OS-8	11	40.5	Sorte, organiske sedimenter. Lite børstemark. Mye fekalier (pellets). Anoksisk (sulfidholdig) sediment i de øvre 20 cm.
OS-9	9	88	Sort stinkende sediment med mye gassbobler (H_2S). Varvig sediment (vekselvis lyse og mørke lag). Intens sortfarge i de øvre 40 cm. Trolig overgang til oksisk sediment ved ~ 88 cm dyp.
OS-10	11	53	Sort, anoksisk sediment. Overgang til lysere sediment ved 30-35 cm dyp. H_2S i hele kjernen.

forts. tabell 13.

Stasjon (nr)	Vanndyp (m)	Kjernelengde (cm)	Beskrivelse
OS-11	36	33	Sort sediment øverst. Gradvis overgang til lysere sediment. Svak H ₂ S-lukt i de øverste sjiktene.
OS-12	39	52	Mye sagflis i de øvre 12-13 cm. Meget sort lag mellom 25-35 cm. Ikke H ₂ S i de øvre 1 cm. H ₂ S fra 2-35 cm. Noen lyse lag med leire (tykkelse 1 cm). Meget sort og sterkt anoksisk ned til 35 cm.
OS-13	5	41	Ikke H ₂ S i de øvre 2 cm. Børstemark i overflåten. H ₂ S fra 3 cm og nedover. Blåskjell - skall ved 33 cm dyp, men H ₂ S-lukt fra hele kjernen.
OS-14	15	36	Sort anoksisk sediment i de øvre 25 cm. Overgang til gråbrun silt/leire. Skjellfragmenter ved 25 cm dyp.
OS-15	22	72	Sort, stinkende anoksisk sediment i de øvre 49 cm.
OS-16	12	14	Sort, H ₂ S-holdig sediment. Noen gruskorn.
OS-17	96	38	De øverste 2-3 cm var sorte og inneholdt mye sagflis. Løse sedimenter i de øvre 10 cm. Fastere leire under.
OS-18	28	27	3-4 cm sort overflatelag over sandig leire.

TABELL 14. METALLER, NITROGEN, FOSFOR OG ORGANISK MATERIALE I SEDIMENTENE (N, P OG ORG.MAT. I %, RESTEN I PPM TØRRVEKT)

Stasjon	Dyp i sedimentet cm	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Tot.N	Tot.P	N/P	Org.mat.
OS-1	0-2	0.34	0.15	35	34	27	153	0.189	0.082	2.3	8.2
	2-4	0.29	0.55	36	39	21	160	0.196	0.072	2.7	8.6
	4-6	0.49	2.16	39	57	37	284	0.252	0.113	2.2	10.6
	6-8	0.60	0.70	45	69	65	354	0.289	0.155	1.9	12.1
	8-10	0.69	0.42	38	67	82	358	0.276	0.159	1.7	11.5
OS-2	0-2	0.54	0.43	30	57	72	180	0.232	0.124	1.9	9.6
	2-4	0.57	1.45	30	56	84	186	0.230	0.107	2.1	8.8
OS-3	0-2	0.30	0.28	42	86	79	180	0.375	0.114	3.3	15.9
	2-4	0.28	0.41	46	99	101	202	0.408	0.134	3.0	15.9
	4-6	0.34	0.33	38	95	94	197	0.409	0.151	2.7	15.6
	6-8	0.80	0.48	43	116	108	221	0.369	0.135	2.7	14.2
	8-10	0.72	0.80	39	196	111	365	0.320	0.066	4.8	13.4
OS-4	0-2	0.82	0.35	18	66	56	238	0.234	0.086	2.7	14.7
	2-4	0.91	0.88	17	76	75	173	0.150	0.074	2.0	9.0
OS-5	0-2	0.59	1.90	22	23	136	130	0.055	0.023	2.4	9.6
	2-4	0.43	1.36	19	20	106	88	0.033	0.031	1.1	8.0
OS-6	0-2	0.38	0.51	35	62	81	241	0.279	0.131	2.1	14.0
	2-4	0.67	1.25	38	57	79	247	0.259	0.081	3.2	11.4
	4-6	0.49	0.50	45	54	103	240	0.234	0.062	3.8	9.8
	6-8	0.48	0.41	43	46	86	210	0.221	0.070	3.2	8.9
	8-10	0.33	0.46	39	40	93	163	0.181	0.070	2.6	7.2
OS-7	0-2	0.79	1.33	55	118	92	306	0.484	0.106	4.6	15.2
	2-4	0.94	2.40	47	77	49	296	0.372	0.073	5.1	12.2
OS-8	0-2	1.25	2.80	49	130	92	366	0.498	0.104	4.8	16.0
	2-4	1.49	1.67	52	117	73	335	0.371	0.099	3.7	13.5
OS-9	0-2	0.90	1.51	32	73	59	246	0.425	0.139	3.1	16.4
	2-4	1.11	3.10	34	90	60	270	0.400	0.150	2.7	16.8
OS-10	0-2	2.41	3.10	62	125	97	505	0.466	0.082	5.7	16.9
	2-4	3.17	2.00	60	118	91	496	0.414	0.080	5.2	13.7
OS-11	0-2	2.53	2.00	99	265	133	553	0.571	0.127	4.5	19.0
	2-4	2.60	2.80	76	226	114	500	0.393	0.088	4.5	14.7
OS-12	0-2	2.02	1.70	31	156	103	351	0.248	0.077	3.2	13.2
	2-4	1.10	1.60	31	99	73	293	0.175	0.099	1.8	11.2
OS-13	0-2	3.53	7.30	60	503	121	1697	0.503	0.088	5.7	15.6
	2-4	5.13	7.80	65	368	104	1431	0.426	0.087	4.9	14.0
OS-14	0-2	5.14	8.70	116	364	122	897	0.580	0.137	4.2	18.0
	2-4	25.6	9.30	155	764	225	1159	0.520	0.119	4.4	16.4
OS-15	0-2	5.39	8.60	52	201	119	190	0.663	0.228	2.9	22.8
	2-4	2.39	2.30	53	146	89	161	0.242	0.089	2.7	9.3
OS-16	0-1	9.94	6.30	42	463	101	915	0.257	0.076	3.4	10.7
	1-2	6.59	3.20	121	231	59	1635	0.167	0.069	2.4	7.0
OS-17	0-1	6.85	0.56	64	125	84	450	0.571	0.078	7.3	28.8
	1-2	2.18	1.80	45	54	87	217	0.242	0.080	3.0	11.4
OS-18	0-1	9.60	2.20	61	91	41	285	0.341	0.083	4.1	13.4
	1-2	7.71	1.70	53	83	-	247	0.294	0.070	4.2	12.5
	2-3	5.30	0.76	37	49	35	167	0.208	0.033	6.3	10.0
	3-4	1.92	0.67	37	36	24	147	0.195	0.070	2.8	7.8
	4-5	1.07	0.38	38	36	34	138	0.173	0.084	2.1	7.2
	5-6	1.36	0.42	38	31	33	147	0.177	0.085	2.1	7.2
	6-7	0.73	0.52	39	31	28	146	0.188	0.069	2.7	7.1
	7-8	0.67	0.46	35	30	27	110	0.153	0.075	2.0	6.6
	8-9	0.71	0.35	35	29	42	111	0.132	0.083	1.6	6.0
	9-10	0.70	0.30	31	30	25	104	0.139	0.091	1.5	5.8

(0-2 cm). Lavest var konsentrasjonene ved Steilene og Gråøya (OS-1 og 2), og høyest i Hvervenbukta og utenfor Festningen renseanlegg (OS-17 og 15). Det store innslaget av organisk materiale i sedimenter fra Hvervenbukta skyldes høyt innhold av sagflis, trolig fra Ljansbruket. Det tykke laget (~ 50 cm) av sorte og organiskholdige sedimenter utenfor Festningen må antas å skyldes betydelig akkumulering av organisk materiale fra dette renseanlegget. Fordelingen av organisk materiale i overflatesedimentene ellers i fjorden er vist på Fig. 28. Det er spesielt de mest anoksiske sedimentene som inneholder de høyeste konsentrasjonene av organisk materiale. Kildene til det organiske materialet antas hovedsaklig å være kommunal kloakk og planktonproduksjon i vannmassene. Det sedimenterte organiske materialet legger stort beslag på oksygenet i bunnvannet. Ved dypvannsfornyelse vil således bunnvannet raskt tappes for oksygen. Hyppige observasjoner på en stasjon i Bunnefjorden viste at fra juni til august sank oksygenkonsentrasjonen ved 150 m dyp fra 3.5 ml/l til 1 ml/l i 1977 (NIVA, 1979b).

Et annet forhold som fører til at Oslofjordens sedimenter er rike på organisk materiale, er den sparsomme tilførselen av uorganisk materiale. Ferskvannstilførselen til Oslofjorden er liten, og mengdene av uorganiske sedimenter som tilføres via elver er derfor små.

6.4.2 Fosfor og nitrogen

Fosfor og nitrogen er begge viktige komponenter i organisk materiale, spesielt nitrogen. Mens fosfor også kan være av uorganisk opprinnelse, er nitrogen hovedsaklig knyttet til organisk materiale. Fig. 29 og 30 demonstrerer forskjellen i korrelasjon mellom organisk materiale og nitrogen og organisk materiale og fosfor i sedimenter fra Oslofjorden.

Sedimentenes innhold av fosfor er også avhengig av sedimentenes redokstilstand, dvs om sedimentene er anoksiske eller oksiske. I oksiske sedimenter vil en stor del av fosfor være knyttet til uorganiske forbindelser, mens i anoksiske sedimenter vil fosfor hovedsaklig foreligge i organisk materiale. Tabell 15 viser forskjellen mellom fosfor og nitrogen i en kjerne fra Vestfjorden (oksisk) og fra Bunnefjorden (anoksiske kjerne fra dypbassenget tatt i 1977).

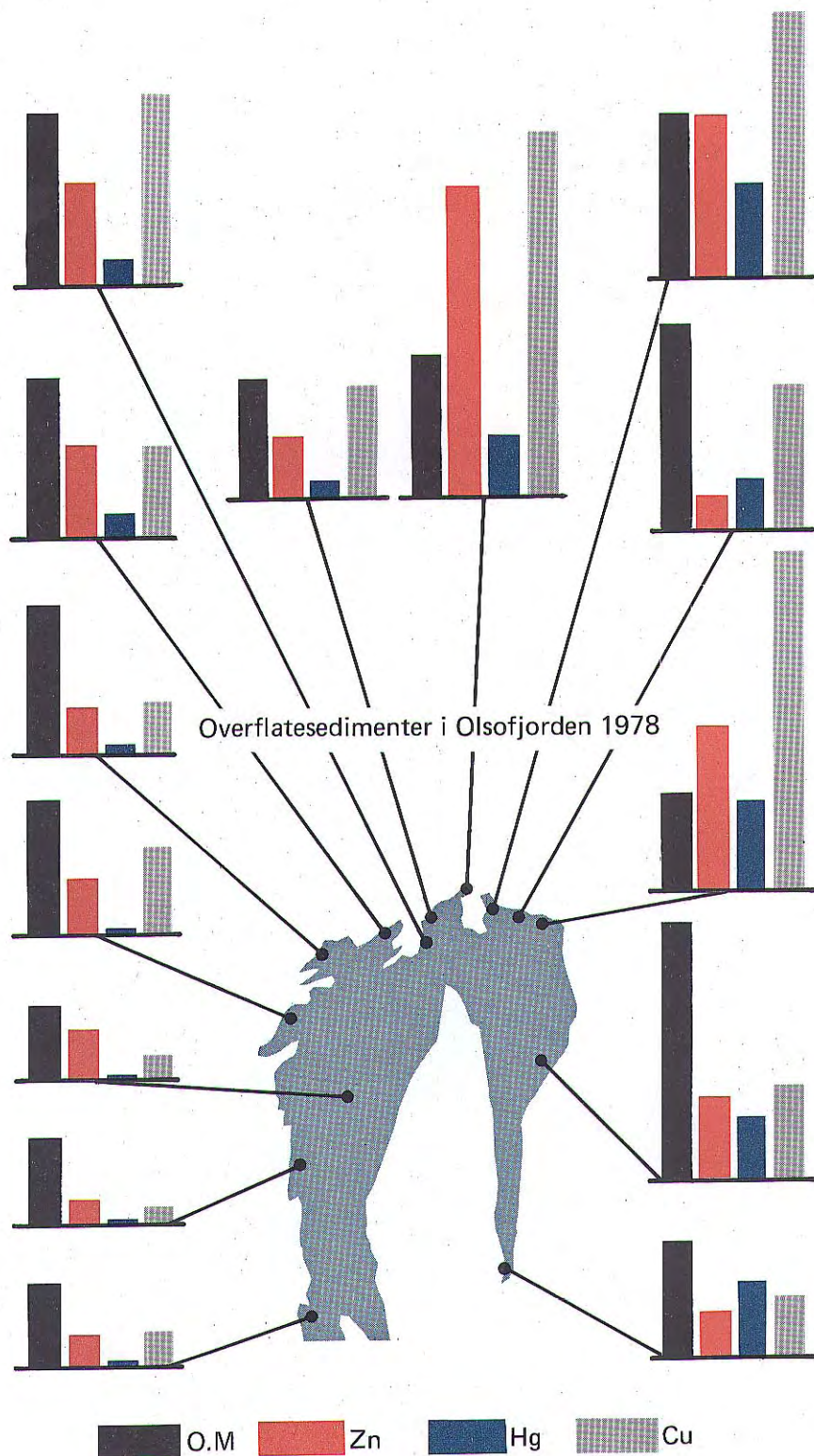


Fig. 28. Geografisk fordeling av organisk materiale (O.M.), sink (Zn), kvikksølv (Hg) og kopper (Cu) i overflatesedimenter i Oslofjorden. (Stolpene har forskjellig målestokk og viser kun relative forskjeller for hver komponent).

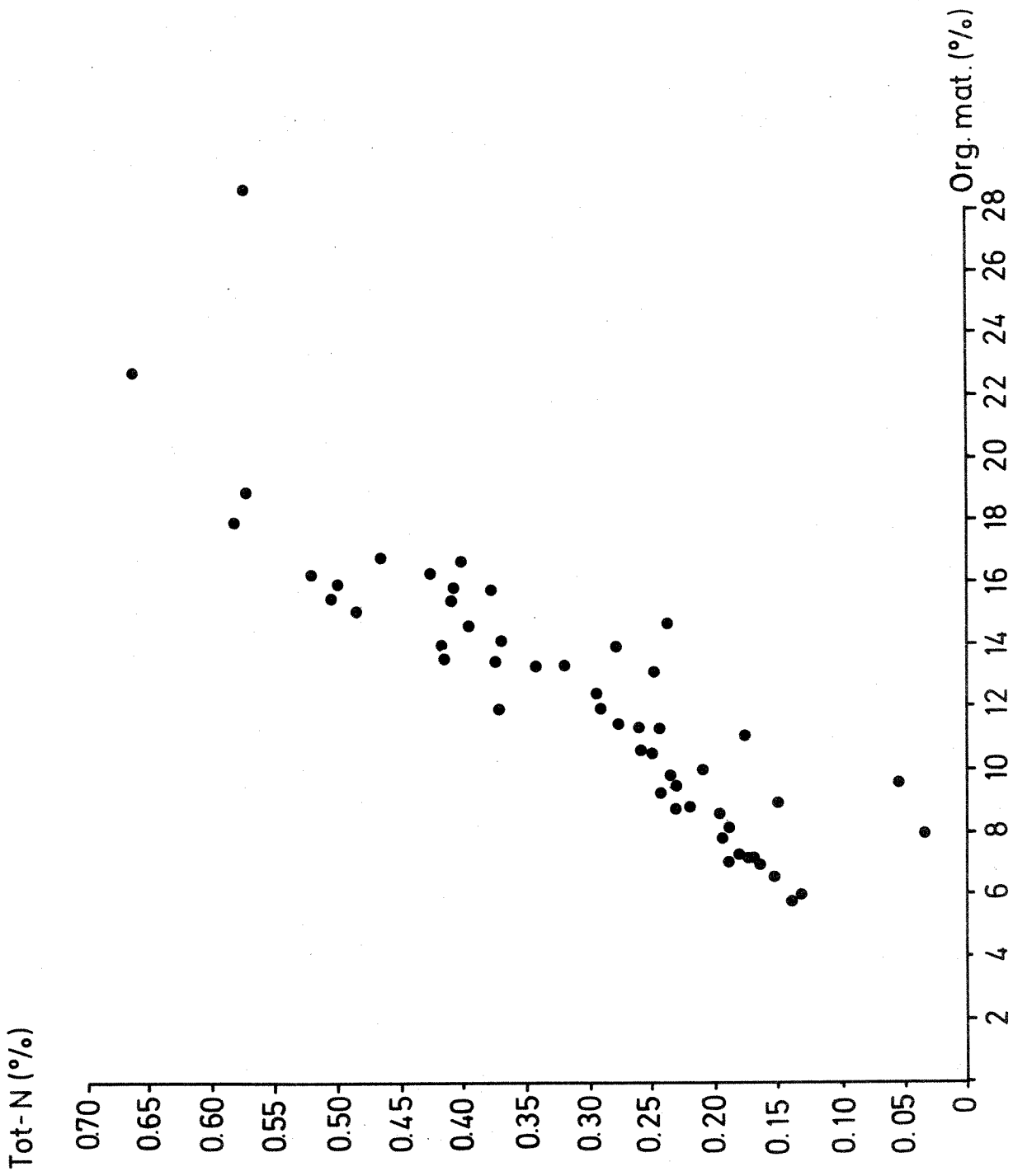


Fig. 29. Korrelasjon mellom organisk materiale og total nitrogen i overflate-sedimenter fra Oslofjorden.

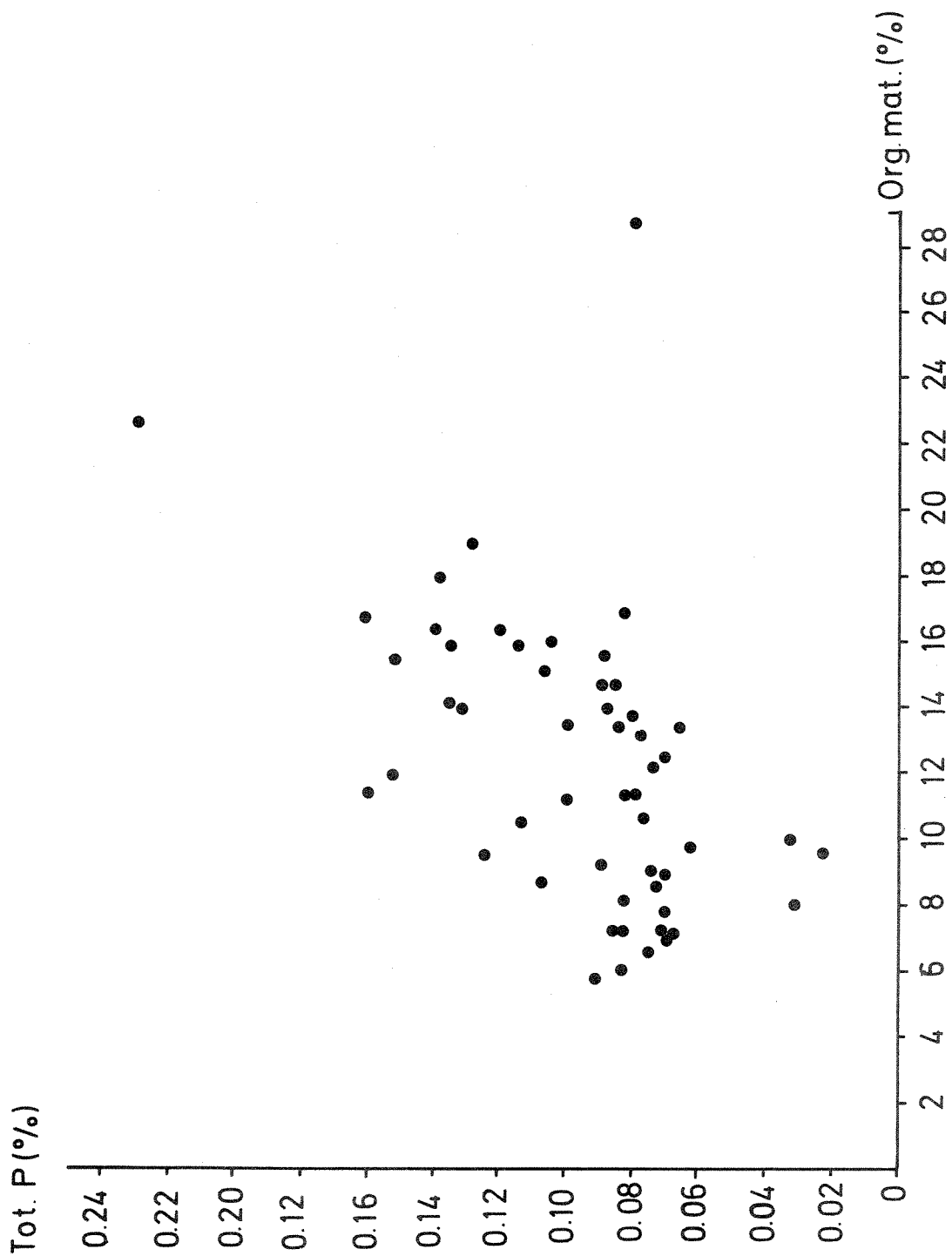


Fig. 30. Korrelasjon mellom organisk materiale og total fosfor i overflate-sedimenter fra Oslofjorden.

Tabell 15. Sedimentenes innhold av P og N i de øvre 10 cm.

% P	% N	Lokalitet
0,12	0,24	Vestfjorden
0,08	0,38	Bunnefjorden

Mens fosforkonsentrasjonen i Vestfjordens sedimenter er høyere enn i Bunnefjorden, er det omvendte tilfelle for nitrogen. Det siste skyldes et høyere innhold av organisk materiale i Bunnefjordens sedimenter.

N/P-forholdet (basert på vektprosent) i sedimentene varierer mellom 1.1 og 6.3, med et gjennomsnitt på 3.2. Dette er betydelig lavere enn N/P-forholdet i plankton (~ 7). Årsaken kan være et betydelig innslag av uorganiske fosforforbindelser i sedimentene. Eller at det sedimenterte organiske materialet er sterkt influert av kloakkslam, som har et relativt lavt N/P-forhold. Det kan også tenkes at noe nitrogen forsvinner i form av nitrogengass ved denitrifisering i sedimentene.

6.4.3 Metaller

Et sediments metallinnhold er innfluert av en rekke faktorer, både naturlige og sivilisatoriske. De naturlige faktorene som i første rekke er med på å bestemme metallkonsentrasjonene i sedimentene er:

- 1) Sedimentets kornstørrelse
- 2) Sedimentets innhold av organisk materiale
- 3) Sedimentets innhold av hydrogensulfid og organiske kompleksbindere.
- 4) Opphavsmaterialets sammensetning (i nedbørfeltet).

I prøvene fra Oslofjorden varierer ikke kornstørrelsen på sedimentet vesentlig (leire/silt), ettersom stasjonene er forsøkt lagt i bassenger, med noen unntak. Store fragmenter (gruskorn etc.) er dessuten fjernet fra prøvene før analyse, da de ikke er representative for prøven. Det organiske innholdet og sedimentenes innhold av hydrogensulfid og organiske kompleksbindere varierer utvilsomt. Det er her imidlertid meget

vanskelig å skille mellom naturlige og sivilisatoriske faktorer. De mest organiskholdige sedimentene er også vanligvis sulfidholdige, og dessuten befinner disse sedimentene seg i de forventet mest forurensede områdene. Tabell 11 viser betydelig høyere metallkonsentrasjoner i anoksiske enn i oksiske Oslofjord-sedimenter når det gjelder kopper, bly og sink (Doff, 1969). Men det er uvisst om dette skyldes naturlig anrikning av disse metallene på grunn av dannelse av tungtløselige metallsulfider, eller om det skyldes forurensning. Undersøkelser i to tilnærmet uberørte poller på Vestlandet, hvor sedimentene inneholdt henholdsvis 41 og 35% organisk materiale, og hvor den første hadde anoksiske sedimenter, viste liten forskjell i metallinnhold, bortsett fra sink og kadmium (NIVA, 1979c). De sistnevnte to metallene viste signifikant høyere konsentrasjoner (Zn: 200 ppm, Cd: 3 ppm) i de anoksiske sedimentene, trolig på grunn av dannelse av deres respektive sulfider.

Kvikksølv er det metallet som det knytter seg størst interesse til i forurensningssammenheng. Målinger i sedimentene i Bekkelagsbassenget i 1977 viste tildels høye kvikksølvkonsentrasjoner (maksimum 19.6 ppm), (NIVA, 1977). Ved undersøkelsen i 1978 ble det registrert mellom 0.25 og 25.6 ppm kvikksølv i de øvre 10 cm av sedimentene, mens normalkonsentrasjonen er 0.05-0.1 ppm. Høyest var konsentrasjonen i 2-4 cm dyp i sedimentet i Frognerkilen (OS-14), men konsentrasjonene var også høye utenfor Akerselva (OS-16), innerst i Bunnefjorden (OS-18), Hvervenbukta (OS-17), utenfor Festningen (OS-15) og i Bestumkilen (OS-13). Den gradvise reduksjonen i overflatekonsentrasjoner utover Vestfjorden er vist på Fig. 28. De høye konsentrasjonene befinner seg øst for Nesoddenlandet, og det er grunn til å tro at de største kvikksølv-kildene befinner seg i dette området. Ettersom disse målingene er gjort i de øvre 10 cm av kjernene, representerer de trolig sedimenter avsatt de siste 10-50 år (se forøvrig angående sedimenttilvekst s. 75).

Årsaken til den betydelige akkumuleringen av kvikksølv i Oslofjordens sedimenter er ikke klarlagt. En utredning om materialstrøm-analyse for kvikksølv i Norge (SINTEF, 1979) påpeker at en vesentlig del av kvikksølvmengden i fast avfall skyldes kvikksølvbatterier og termometre. Avfallsforbrenningsanlegg ansees også som en viktig kilde, dessuten utslipp fra tannpleiesektoren. Bruk av kvikksølv i maling- og lakk-

industrien før 1970 har trolig også vært en viktig kilde, og akkumulering i bunnsedimenter nær skipsverft og havneområder må derfor forventes. Det påpekes også i den nevnte utredningen at kloakkslam kan inneholde 4-8 ppm kvikksølv (SINTEF, 1979). Ellers er kvikksølvinnholdet i husholdningsavfall som går til forbrenning ca 1.5 ppm, hvor plastfraksjonen utgjør en viktig kilde. Når vi i tillegg vet at kvikksølvholdig avløpsvann fra industri og laboratorier også tilføres kloakknettet i noen grad, vil trolig alle disse kildene nær en storby som Oslo kunne bidra til akkumulering i fjordens sedimenter. Selv om storparten av kvikksølvet ser ut til å avsettes i Oslo's nærområde, så viser resultatene at hele det undersøkte området er kontaminert. Det indikerer en viss transport hvis vi antar at virksomheten i og rundt Oslo er hovedkilden.

Et annet metall som også ansees som meget giftig i det marine miljø, er kadmium. På samme måte som kvikksølv opptrer også dette metallet på et naturlig konsentrasjonsnivå lavere enn 0.5 ppm. I overflatesedimentene i Oslofjorden varierer kadmiumkonsentrasjonene mellom 0.15 og 8.6 ppm (Tabell 14). De høyeste konsentrasjoner ble påvist utenfor Festningen, Frognerkilen, Bestumkilen og utenfor Akerselvas munning. Det er således en klar kontaminering nær Oslo by. Fordelingen ellers i fjorden er illustrert på Fig. 31.

Krom er også et metall som vanligvis opptrer i forurensede sedimenter, spesielt i kloakkinfiserte sedimenter (Papakostidés et al., 1975). Undersøkelsen i Bekkelagsbassenget viste spesielt høye kromkonsentrasjoner nær utslippet fra renseanlegget (560 ppm, NIVA, 1977), mens konsentrasjonene ellers i fjorden (Tabell 4) var forholdsvis lave, bortsett fra i Frognerkilen (Fig. 31), hvor det også er kloakkutslipp.

Kopper hører også med til gruppen av metaller som er vanlig å finne i forurensede sedimenter. Fig. 28 viser at det er til dels store forskjeller i kopperkonsentrasjoner i overflatesedimentene i Oslofjorden. Det er tre områder som spesielt utmerker seg med mye kopper i sedimentene; Bestumkilen, Frognerkilen og utenfor Akerselva. I tillegg kommer Bekkelagsbassenget (NIVA, 1977). Dette er stort sett samme bilde som for kadmium, og kildene er muligens de samme.

Forekomsten av bly i sedimentene varierer også mye i undersøkelsesområdet. Selv i ytre deler av Vestfjorden er konsentrasjonene en god del høyere enn forventet (Fig. 31). Dette er også i overensstemmelse med Doff's undersøkelse (Tabell 12), som viste at blykonsentrasjonene i Vestfjorden var like høye som i Bunnefjorden. Dette kan bety at bly har samme kilde som de andre metallene nevnt ovenfor, men at bly transporteres lengre før det sedimenterer. En alternativ forklaring er at bly tilføres fjorden på en rekke lokaliteter. Analyser av bly i overvann i Oslo-området har vist betydelige konsentrasjoner, og ved regnskyll etter lengre tørkeperioder skjer det en rask utspyling til fjorden (Lindholm, 1977).

Sink i sedimentene viser meget klare geografiske forskjeller (Fig. 28). Den maksimale anrikningen av sink ble påvist i Bestumkilen, utenfor Akerselva og i Frognerkilen. Konsentrasjoner på 1700 ppm sink i Bestumkilen må betraktes som meget høyt. Det er derfor grunn til å tro at Hofselva og Skøyenbekken transporterer betydelige mengder metaller ut i Bestumkilen. Tilførsler av sink og andre metaller fra båtopplaget ved Bestumkilen er også sannsynlig. Akerselva og trolig Frognerbekken transporterer også metaller ut i fjorden. Det er i umiddelbar nærhet av disse bekkene (elvene) at de største mengdene av metaller befinner seg i sedimentene. Lysakerfjorden og Bærumsbassenget er mindre metallbelastet, noe som tyder på at de respektive elvene (Lysakerelva og Sandvikselva) avsetter mindre tungmetaller. Renseanleggenes innflytelse på sedimentenes metallinnhold er noe diffus, bortsett fra at Bekkelaget renseanlegg tydeligvis er en viktig metallkilde p.g.a. tilførsler av metaller fra industri til det kommunale kloakknnett.

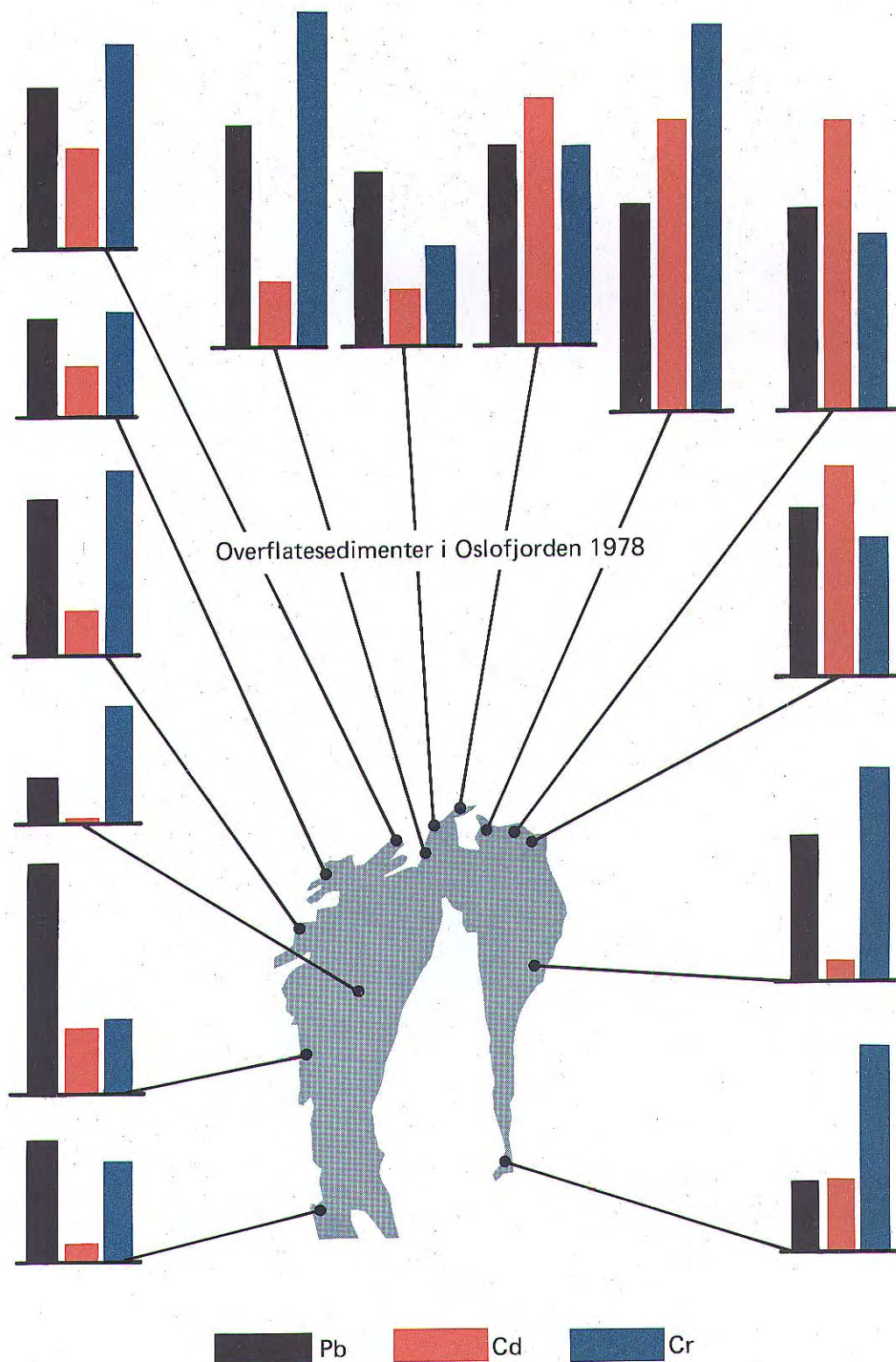


Fig. 31. Geografisk fordeling av bly (Pb), kadmium (Cd) og krom (Cr) i overflatesedimenter (0 - 2 cm) i Oslofjorden.
(Stolpene har forskjellig målestokk og viser kun relative forskjeller for hver komponent).

Måten som metallene sedimenterer på foregår trolig ved

- 1) Adsorpsjon av metaller til organisk materiale (bl.a. kloakkslam)
- 2) Tilførsler av partikulært bundet metall
- 3) Opptak av metaller i plankton som dør og synker til bunns.

Etter at metallene er avsatt på bunnen i indre Oslofjord kan metallene bindes i sedimentene ved utfelling av tungtløselige metallsulfider. Denne utfellingen vil avhenge av i hvilken grad metallene på forhånd er bundet til organiske komplekser.

6.4.4 Sedimenttilvekst

Hastigheten som sedimentene avsettes med er viktig hvis man skal vurdere den årlige akkumuleringen av metaller. I et såpass lite homogent område som Oslofjorden må det forventes en betydelig variasjon i sedimenttilvekst. Avsetningsraten utenfor renseanleggene er åpenbart mye større enn ellers i fjorden. Visuelle betraktninger av sedimentkjerner tatt på samme sted men forskjellige år, og som har lett igjenkjennelige lag, kan benyttes til å anslå sedimenttilveksten. Dette er gjort for dypbassenget i Bunnefjorden. I 1962 ble det registrert et 5.5 cm tykt sort sulfidholdig lag over brunlige sedimenter i Bunnefjorden (Risdal, 1963). I 1966 ble det samme laget målt til 7 cm., dvs en tilvekst på 1.5 cm på 4 år. Dette gir en gjennomsnittlig årlig tilvekst på 3.8 mm. I 1977 hadde dette laget vokst til 13 cm i tykkelse, som gir en årlig tilvekst på 5 mm. Dette antyder altså en gjennomsnittlig avsetning på 3.8 - 5 mm/år.

En mer direkte måte å bestemme sedimenttilveksten på er å måle aktiviteten av den naturlige isotopen bly-210 (Skei & Paus, 1979). Slike blydateringer ble gjort på en kjerne fra samme stasjon i 1977 og gav gjennomsnittlig tilvekst på 4.8 mm/år i de øvre 20 cm av kjernen (Skei, unpubl.). Det er således en relativt god overensstemmelse mellom de visuelle betraktningene og de direkte målingene, men meget forskjellig fra andre beregninger (~ 1 mm/år, Beyer, 1967). Hvis en sedimenttilvekst på 4 mm/år legges til grunn i Bunnefjorden, skulle dette bety at utviklingen av sorte, sulfidholdige sedimenter i Bunnefjordens

dypbasseng startet i 40-årene. Dette er også rimelig på bakgrunn av at det ble fisket reke i Bunnefjorden fram til 1949 (Beyer, 1967).

Hvorvidt denne sedimenttilveksten er representativ for andre deler enn dypbassenget i Bunnefjorden, kan ikke forutsies før ytterligere bly-210 dateringer foretas i Oslofjorden.

6.4.5 Metallenes biologiske tilgjengelighet i sedimentene.

De metallanalysene som er gjort gir verdier for total mengde metall og gir derfor ingen opplysninger om metallenes bindingsform som er viktig mht. opptak i organismer.

En sedimentkjerne ble tatt i tilknytning til et forskningsprosjekt i Bunnefjorden og analysert med tanke på metallenes bindingsform. Ekstraksjonsforsøk viste at en ikke ubetydelig del av kopper og spesielt kadmium er vannløslig i den øverste 1 cm av kjernen (Per Jørgensen, pers. medd.). Det må derfor antas at enkelte metaller mobiliter i sedimentet er nokså stor, og at sedimentet ikke representerer noen permanent lagerplass.

I terskelfjorder, slik som Oslofjorden, hvor det kan være lange perioder med stagnerende forhold i dypvannet avbrutt av dypvannsutskiftninger, vil redoksforholdene i grenseflaten mellom sediment og vann skifte. Slike skiftninger kan også innvirke på metallenes bindingsform i overflatesedimentene. I Frierfjorden ble det registrert en kraftig økning i konsentrasjonen av løst sink i vannet like over sedimentet etter en dypvannsutskiftning (NIVA, 1979a). Dette tyder på en omsetning av sedimentert sink under skifte fra reduserende til oksyderende forhold.

6.4.6 Anbefalinger

På bakgrunn av det vi nå kjenner til om sedimentenes kjemiske sammensetning i Oslofjorden, bør følgende påpekes:

- 1) Sedimentene i Oslofjorden er ikke så metallforurenset som våre mest forurensete fjorder (Sørfjorden, Frierfjorden, Saudafjorden),

men det er likevel betydelige tilførsler av metaller til indre Oslofjord, uten at man med sikkerhet kjenner til kildene.

- 2) Det bør etterstrebves å få lokalisert kildene og tallfeste transporten av metaller via Hofselva, Skøyenbekken, Frognerbekken, Akerselva og andre mindre bekker som man eventuelt har mistanke om er metallforurenset. Dette gjelder spesielt metallene kvikksølv, kadmium, bly og kopper.
- 3) Det burde foretas noen målinger av metaller i vannmassene og i biologisk materiale i Bestumkilen, Frognerkilen, Oslo havn, utenfor Akerselva og i Bekkelagsbassenget.
- 4) Hvis man ønsker å gjøre et overslag over mengden av metaller som årlig avsettes på bunnen av Oslofjorden innenfor Drøbak, er det nødvendig med flere aldersdateringer av sedimentkjerner. Et slikt overslag vil representere et minimumstall for de årlige tilførslene til Oslofjorden.

Litteratur

Andersen, A.T., A. Dommasnes & F. H. Hesthagen (1973):

Some heavy metals in sprat (*Sprattus sprattus*) and herring (*Clupea harengus*) from the inner Oslofjord.

Aquaquulture, 2, 17-22.

Beyer, F. (1967):

Oslofjorden og dens forurensingsproblemer. I. Undersøkelsen 1962-65. Delrapport nr 6. Bunnsedimenter og bunnfauna i indre og midtre Oslofjord i 1938 og 1962-1966.

119 s. + figurer.

Beyer, F. & Føyn, E., 1951:

Surstoffmangel i Oslofjorden. En kritisk situasjon for fjordens dyrebestand. *Naturen* 75 (10): 289-306.

Braarud, T. & Ruud, J. T., 1937:

The hydrographic conditions and aeration of the Oslo Fjord 1933-1934. *Hvalråd. Skr.*, 15: 1-56.

Carmody, D.J., J.B. Pearce & W.E. Yasso (1973):

Trace metals in sediments of New York Bight.

Mar.Pollut.Bull., 4, 132-135.

Dannevig, A., 1945:

Undersøkelser i Oslofjorden 1936-50. *Fiskeridirektoratets skrifter s. havundersøkelser. Vol. VIII. No. 4.*

Doff, D.H. (1969).

The geochemistry of recent oxic and anoxic sediments of Oslo fjord, Norway.

Unpubl. Ph.D. thesis, University of Edinburgh, 245 s.

Føyn, E., 1962:

Eldre kjemiske undersøkelser: Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Delrapport 12. Norsk institutt for vannforskning.

Føyn, E., 1967:

Vurdering av næringssaltene kjemi: Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Delrapport 8. Norsk institutt for vannforskning.

Gade, H. G., 1967:

Hydrografi: Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Delrapport 2. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Gade, H. G., 1970:

Hydrographic investigations in the Oslofjord, a Study of Water Circulation and Exchange Processes. Geophys. inst. DIV.A. Physical Oceanography. Report 24.

Helsedirektoratet, 1976:

Kvalitetskrav til vann. Drikkevann - Vann for omsetning - Badevann. Ny revidert utgave 1976.

Hjort, J. & K. Dahl (1900):

Fishing experiments in Norwegian fjords. Rep. Norweg. Fish. Invest. I, 1-215.

Lindholm, O. (1977).

Forurensninger i overvann. PRA-rapport nr. 7, 27 s.

Magnusson, J. (1979):

Bruk av oksygen som overvåkningsparameter i en næringsrik fjord. Det Femtonde Nordiska Symposiet om Vattenforskning "Øvervakning av vattenomvården", Ellivuori, Finland. 24-26.4.79, in press.

Niemistö, L. (1974):

A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238, 33-38.

NIVA-rapporter:

1974. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Årsrapport 1973. O-160/71.

Källqvist, T. & Magnusson, J.

forts. NIVA-rapporter:

1976. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Årsrapport 1974. 0-160/71.

Bokn, T., Källqvist, T. og Magnusson, J.

1977. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Årsrapport 1975-76. 0-160/71.

Bokn, T., Kirkerud, L., Krogh, T., Magnusson, J., Nilsen, G.

1977. Sedimentundersøkelse i Bekkelagsbassenget. Januar 1977.

0-34/76. Saksbehandler: J. Skei. Stensilert: 45 s.

1978. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Årsrapport 1977. 0-160/71.

Bokn, T., Kirkerud, L., Magnusson, J., Nilsen, G.

1979a. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 8. Sluttrapport. 0-111/70.

Saksbehandler: J. Molvær. Stensilert 252 s.

1979b. Variasjoner i kjemisk sammensetning av suspendert partikulært materiale i perioden april 1977 - april 1978 i Bunnefjorden.

A 2-33. Saksbehandler: J. Skei. Stensilert 49 s.

1979c. Vannforurensning ved produksjon av aluminiumoksyd fra anorthositt. Rapport 3. Befaring av området rundt Lutelandet og Sognefjorden i april 1978. Resipientvurderinger. 0-77054. Konsept

1979. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. DATARAPPORT 1979. 0-71160. Magnusson, Jan.

Papakostidés, G., A.P. Grimanis, D. Zafiropontos, G.B. Griggs & T.S. Hopkins (1975):

Heavy metals in sediments from the Athens sewage outfall area. Mar.Pollut.Bull., 136-139.

Risdal, D. (1963):

Foraminiferfaunaen i en del sedimentkjerner fra indre Oslofjord Norges Geologiske Undersøkelse nr. 224, 90 s.

SINTEF (1979):

Materialstrømanalyse for kvikksølv. Forprosjekt.

Saksbearbeider: R. Ramslo, T. Syversen, 49 s.

Skei, J. & P.E. Paus (1979):

Surface metal enrichment and partitioning of metals in a dated sediment core from a Norwegian fjord.

Geochim. Cosmochim. Acta, 43, 239-246.

Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen

Toktrapper 1978. (PTK 1-7/1978)

Tveite, S., Dahl, E. og Ellingsen, E.

Winsnes, W. H. (1979):

Trace metal composition of the tests and the distribution of some recent, benthic, calcareous foraminifera in the inner Oslofjord.

Cand.real. thesis, Universitetet i Oslo, 143 s.