

1321

O-71160

# Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord

Overvåkingsprogram - årsrapport  
1980



Norsk institutt for vannforskning  NIVA

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80  
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60  
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer:	0-71160
Undernummer:	XXXIV
Løpenummer:	1321
Begrenset distribusjon:	Fri

Rapportens tittel:	Dato:
Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i indre Oslofjord. Overvåkingsprogram. Årsrapport 1980.	19. 10, 1981
Forfatter(e):	Prosjektnummer:
Tor Bokn Torsten Källqvist Jan Magnusson <i>Karl Tangen, Universitetet i Oslo</i>	0-71160
	Faggruppe:
	Fjordseksjonen
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
Fagrådet for kloakksamarbeid i indre Oslofjord. Statens Forurensningstilsyn (delfinansiering).	

Ekstrakt:
Overvåkingsprogram for oppfølging av forurensningsutviklingen i Oslofjorden 1980 ved beskrivelse av fjordens hydrografi (vannutskifting, oksygenutvikling), algevekst i overflatelag og fastsittende alger. Vannutskiftingen hadde middels omfang, men uten å berøre Bunnfjordens dypvann vesentlig. Overflatevannkvaliteten var preget av lavere klorofyllinnhold sommeren 80 sammenlignet med nærmest foregående år, men siktedypet i juli-august var allikevel lavere. Det ble ikke registrert noen vesentlige mengder av alger som kan gi opphav til giftige muslinger.

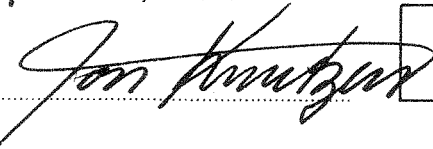
4 emneord, norske:
1. Overvåking
2. Hydrografi
3. Marinbiologi
4. Oslofjorden
Årsrapport 1980

4 emneord, engelske:
1. Monitoring
2. Hydrography
3. Marin Biology
4. Oslofjord

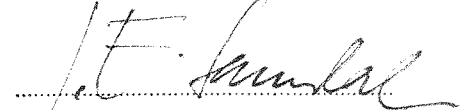
Prosjektleder:



Seksjonsleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-0422-9

F O R O R D

På oppdrag av Fagrådet for kloakksamarbeide i indre Oslofjord utfører Norsk institutt for vannforskning overvåkingsundersøkelser i Oslofjorden. Også Statens Forurensningstilsyn bidrar økonomisk til undersøkelsen som et ledd i det statlige program for forurensningsovervåking. Overvåkingen ble startet i 1973 etter anmodning fra Oslofjordkontoret (kontor for interkommunalt kloakksamarbeide i Indre Oslofjord) liksom Fagrådet idag, koordinerings- og samarbeidsorgan for kommunene omkring Indre Oslofjord. Fagrådet ble konstituert etter nedleggelsen av Oslofjordkontoret i 1977, og en av oppgavene er å forestå undersøkelser og overvåking av fjorden. Den faglige styring av overvåkingsundersøkelsene er delegert til styringsgruppe (I) for overvåkingsundersøkelser i Indre Oslofjord, opprettet den 30.5.1978. Medlemmer i denne styringsgruppe er:

Oslo vann- og kloakkvesen	Overing. P. Hallberg (formann)
Institutt for marinbiologi og limnologi	Professor E. Paasche (til våren 1980). Amanuensis A.T. Andersen (f.o.m. høsten 1980).
Bærum vann- og kloakkvesen	Cand.real H.K. Hoff
Vestfjordens Avløpsselskap	Siv.ing. O. Stangebye
Statens forurensningstilsyn	Cand.real G. Jørgensen (f.o.m. høsten 1980).

Fagrådet har også utnevnt en styringsgruppe (II) for å arbeide med kartlegging av tilførsler til Indre Oslofjord.

I 1980 startet Vestfjordens Avløpsselskap en forundersøkelse til det planlagte utslippet fra Sentralrenseanlegg Vest i Vestfjorden. Arbeidet utføres i det vesentlige av Institutt for Marinbiologi avd. marin Zoologi ved Oslo Universitet, dessuten bl.a. med Kommuneveterinæren i Asker, Dyveterinæren i Oslo og NIVA.

Resultater fra overvåkingsprogrammet blir rapportert for hvert år i årsrapporter. Denne rapport er nummer syv i dette prosjekt og omfatter året 1980.

Vi vil takke Oslo Universitet, Institutt for marinbiologi og limnologi for lån av forskningsfartøyet Apollo Øst, og spesielt skipper Tom Tønnessen for god innsats. Videre vil vi takke Cand.real S. Kristiansen ved Institutt for marinbiologi og limnologi avd. Marin Botanikk, Oslo Universitet, for praktisk tokt samarbeide i 1980 med verdifullt data- og erfaringsutbytte.

Cand.real Karl Tangen ved Institutt for Marin Biologi og limnologi avd. Marin Botanikk har stått for bearbeidelse av planteplanktonmaterialet samt rapportering av kap. 3.3 giftige planteplankton. Følgende personer har deltatt i planlegging og gjennomføring av arbeidet.

Tor Bokn (fastsittende alger)

Torsten Källqvist (overflatevannets kvalitet m.m.)

Jan Magnusson (hydrografi, prosjektledelse)

Norman Green og Pirkko Rygg (databearbeidelse)

Frank Kjellberg (feltarbeide, databearbeidelse)

Einar I. Andersen (skipper på NIVA's forskningsfartøy H.H.Gran).

Oslo, 16. oktober 1981



Jan Magnusson

INNHOOLD

	Side
FORORD	2
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	5
1. INNLEDNING	8
2. HYDROGRAFI	10
2.1 Stasjoner, parametre og metoder i 1980	10
2.2 Generelle meteorologiske og hydrologiske forhold i 1980	12
2.3 Vannutskiftninger	18
2.4 Oksygenforholdene i fjordens dypvann i 1980 sammenlignet med tidligere observasjoner	28
2.5 Hydrokjemiske observasjoner	40
2.6 Lysakerfjorden	40
3. OVERFLATEVANNETS KVALITET BEDØMT VED SIKTEDYP, KOLOROFYLL- <u>a</u> OG PLANTENÆRINGSSALTER	47
3.1 Utviklingen i 1980	47
3.2 Sammenligning med tidligere år	58
3.3 Giftige planktonalger i 1980	59
4. SAMFUNNENE AV FASTSITTENDE ALGER	61
5. LITTERATUR	62

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

I overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord er det i 1980 samlet inn hydrografiske data fra 8 stasjoner (fig. 1) på 4 tokt i mars, mai, august og oktober, samt ved kompletterende tokt til to av stasjonene i januar, februar, april, juni, juli, september, november og desember. I tillegg er det benyttet data fra tokt utført av forskere ved Institutt for marinbiologi og limnologi avd. Marin Botanikk ved Universitetet i Oslo.

På hvert tokt ble siktedyp og vannets temperatur observert samt analysert saltholdighet, oksygen, totalfosfor og ortofosfat. På de fire større tokt ble analyseprogrammet på hovedstasjoner i Bunnefjorden og Vestfjorden utvidet til næringssaltene totalnitrogen, nitrat og nitritt, og ammonium (ufiltrerte prøver).

I perioden mai-september ble det innsamlet overflateprøver (0-2 m) omtrent hver uke fra 4 stasjoner for å bestemme vannets innhold av klorofyll a og planteplankton. På samtlige stasjoner ble det også observert siktedyp.

Utbredelsen av fem fastsittende alger ble registrert på ca. 120 stasjoner nord for Filtvedt.

1. I 1980 var det en meget kald og isrik vinter med en etterfølgende nedbørrik og sval sommer. Det var mye nordavind i vinterhalvåret, men også endel i juli-august. I perioden mars til september var innstrålende solenergi større enn normalt.
2. Dypvannsutskiftningen startet i desember 1979 og fortsatte i to lengre utskiftningsperioder frem til juni. Utskiftningen berørte Vestfjorden, men bare vannmasser på mindre enn 80 meters dyp i Bunnefjorden. Totalt ble ca.  $3.200 \times 10^6 \text{ m}^3$  vann utskiftet, hvilket tilsvarer vel 50% av vannvolumet under 20 meters nivå i fjorden innenfor Drøbak. Dypvanns-utskiftningen ble omtrent "middels" sammenlignet med tidligere år på 70-tallet.
4. Oksygenkonsentrasjonen i Vestfjordens dypvann varierte innenfor normalvariasjonen på 70-tallet. Konsentrasjonen lå over middelerdi frem til oktober måned, deretter omkring middelerdi. Sammenlignet med perioden 1936-79 var det i 1980 lavere oksygenmiddel både i Vestfjorden i oktober - desember og i Bunnefjorden fra april til desember.

5. I 1977-80 har det i gjennomsnitt vært mindre oksygenreduksjon i Vestfjordens dypvann fra mai til oktober enn i perioden 1973-76. Oksygenreduksjonen har imidlertid fortsatt ligget over det som ble observert i årene frem til slutten av 1960-tallet.
6. Den svake økningen av oksygeninnholdet i Vestfjordens dypvann kan være en effekt av minsket kloakktilførsel. Et visst forbehold må allikevel tas for eventuelle klimaeffekter og variasjoner i vannutskiftningen. Fortsatt er oksygennivået i dypvannet periodevis så lavt at det foreligger en reell fare for dannelse av hydrogensulfid også i store deler av Vestfjorden hvis dypvannsutskiftningen et år skulle bli mindre omfattende.
7. Den tidligere rapporterte tendensen til avtakende konsentrasjonsnivåer av fosfor i Vestfjordens dypvann fortsetter samtidig med en svak økning av nitrogenkonsentrasjonen. Dette medfører at forholdet mellom totalnitrogen og totalfosfor nå ligger høyere enn 1973-75. Ortofosfatkonsentrasjonene ligger fortsatt betydelig over tidligere observasjoner på bl.a. 1960-tallet.
8. I 1978-80 har de gjennomsnittlige fosfor- og nitrogenkonsentrasjonene i Lysakerfjorden på nivåer omkring 20 meters dyp økt, mens oksygeninnholdet har avtatt sammenlignet med perioden 1973-77. Spesielt gjelder dette månedene august-oktober. Forholdet kan skyldes dyputslipp av urensset kloakkvann fra Lysaker renseanlegg. Oksygenreduksjonen må betegnes som betydelig. Tilsvarende oksygenreduksjon kan spores også i Vestfjorden, men der var effekten moderat.
9. Utviklingen av overflatevannets kvalitet, som den fremgår av klorofyll og siktedypsobservasjoner, fulgte om våren det normale mønsteret med en diatomé-oppblomstring i mars fulgt av en periode med lite alger og forholdsvis klart vann.  
  
Klorofyllnivåene i sommerperioden var lavere enn foregående år unntatt i Bunnefjorden. En oppblomstring av klakflagellaten *Emiliana huxleyi* førte imidlertid til meget lave siktedyp i hele fjorden i juli-august.
10. Den mindre biomassen i fjordens overflatelag i 1980, observert ved klorofyll-a og telling av planteplankton, står i motsetning til det stør-

re oksygenforbruket i Vestfjordens dypvann i tidsrommet august-oktober sammenlignet med tidligere år. Årsaken til dette er ikke klarlagt.

11. Det har i 1980 ikke vært registrert noen vesentlige mengder av slike dinoflagellater som kan gi opphav til giftige muslinger.



## 1. INNLEDNING

Sentralt i overvåkningsprogrammet er oppgaven å følge den effekt som næringssalter og organisk stoff, hovedsakelig fra husholdning og industri, har på Indre Oslofjord. Næringstilgangen øker biomasseproduksjonen, primært planktonproduksjonen, men påvirker også den relative artssammensetningen av planter og dyr gjennom å begunstige forurensningstolerante arter. Den store biomasseproduksjonen av frittstående alger belaster også dypvannet - når de dør eller transporteres ut av fotosyntesesonen - ved at nedbrytningsprosessen av planktonet er oksygenforbrukende. Tilgangen på det livsviktige oksygenet i dypvannet kan til visse tider og i lukkede områder være så dårlig at det dannes hydrogensulfid som er en dødelig gift for nesten alt marint liv. Lave oksygenverdier gir i seg selv dårlige livsvilkår for fisk, zooplankton og reker m.m. I Bærumsbassenget og Bekkelagsbassenget dannes hydrogensulfid hvert år, og i år med dårlig dypvannsutskiftning kan også Bunnefjordens og Lysakerfjordens dypvann bli hydrogensulfidholdige. I Vestfjorden har hittil bare begrensede og mindre dyphøler hatt hydrogensulfid nær bunnen, men generelt lave oksygenverdier viser at også denne fjorden er truet hvis den årlige dypvannsfornyelsen vinterstid et år skulle bli mindre enn vanlig.

Dypvannsutskiftningene er naturbestemte og koblet til de meteorologiske forhold. Det er derfor bare *en* praktisk mulighet for å endre situasjonen, nemlig redusert belastning med avløpsvann.

Formålet med overvåkingsprogrammet er

- følge utvikling og tilstand i fjorden over tid
- gi løpende informasjon om forurensningssituasjonen
- utvide kjennskapen til prosesser i fjorden ved sammenligninger av dagens observasjoner med tidligere utførte observasjoner
- vurdere effekten av vernetiltak og det eventuelle behov for ytterligere vern.

I sommerhalvåret blir overflatelagets biomassemengde og planktonets artssammensetning studert ved hyppige tokt (ca. 1 gang pr. uke), men

prøveinnsamlingen er stort sett begrenset til 0-2 meters dyp. I de senere år har det vært rettet spesiell oppmerksomhet mot forekomster av potensielt giftige planktonarter som tidligere ikke er registrert i fjorden.

I strandsonen følges eventuelle forskyvninger i fem brunalgers forekomst, hvilket kan indikere forandrede forurensningsforhold.

Oksygeninnhold og næringssalter blir observert ved hydrografiske tokt på et utvalg stasjoner en gang per måned og fire ganger per år i et utvidet stasjons- og parameterprogram.

I årets rapport blir den hydrografiske utviklingen beskrevet i kap. 2, og overflatevannets kvalitet ut fra siktedyp og planteplanktonvariasjoner følger i kap. 3. Kap. 4 tar for seg preliminaire resultater fra overvåkingen av fem fastsittende algers utbredelse.

I årenes løp har også andre sider ved Oslofjordens forurensningssituasjon blitt undersøkt - som miljøgifter i organismer og sedimenter. Disse undersøkelser har vist at Oslofjorden også burde studeres nøyere ut fra kombinasjonseffekten av forskjellige giftstoffer.

## 2. HYDROGRAFI

### 2.1 Stasjoner, parametre og metoder i 1980

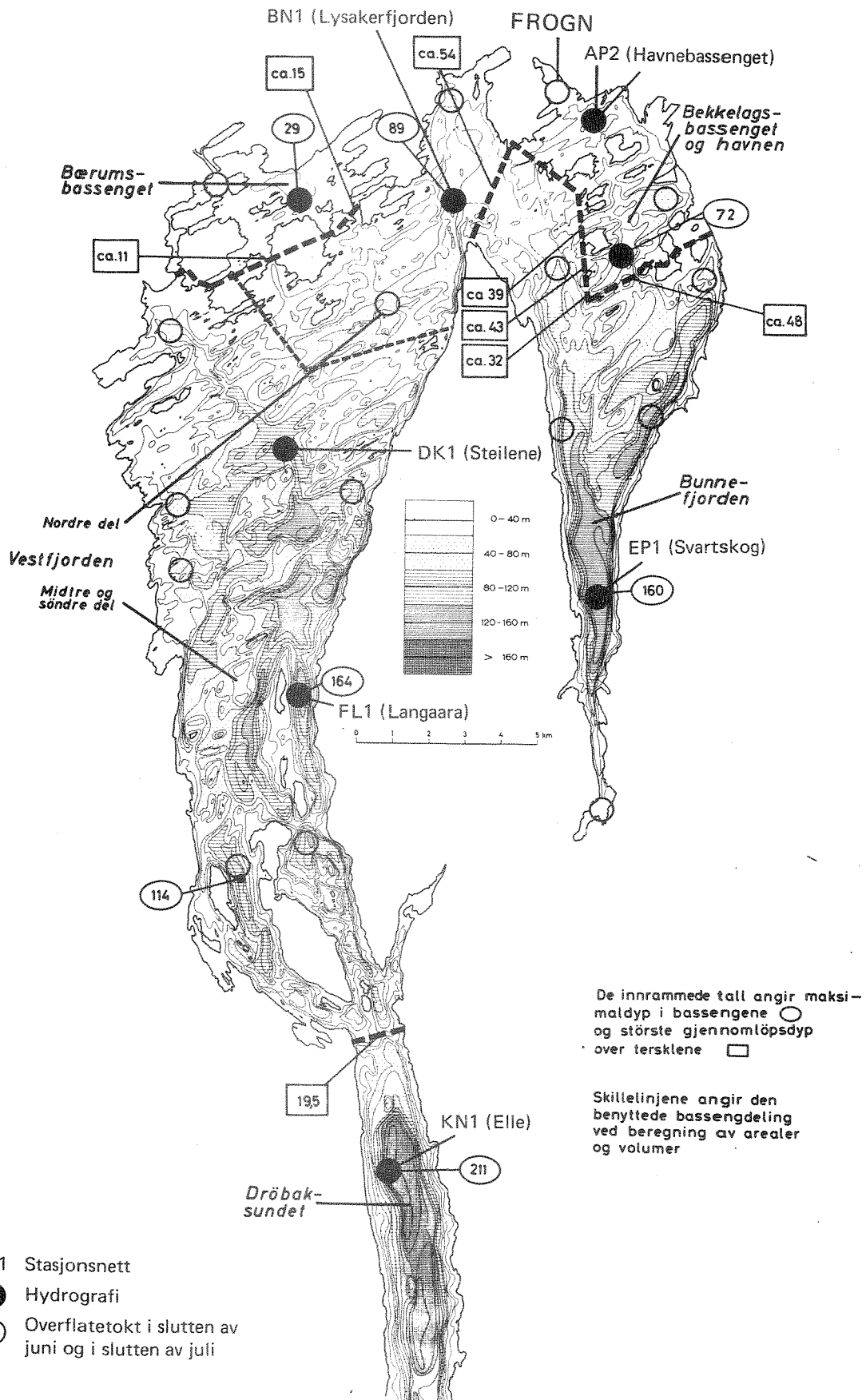
I 1980 ble vannprøver innsamlet ved 4 tokt fra 8 stasjoner (BN1, EP1, DK1, FL1 og KN1) på dypene 4, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150 og 200 meter, samt blandprøver fra 0-2 meters dyp. Stasjonsnett fremgår av figur 1. Som supplement til hovedtoktene er det utført 7 tokt til stasjonene EP1 og DK1.

I 1980 var det et praktisk toktsamarbeide mellom Institutt for Marinbiologi og limnologi, avdeling Marin botanikk, ved professor E. Paasche og cand. real S. Kristiansen. De hydrografiske data er velvillig blitt stilt til overvåkingsprogrammets disposisjon. Tabell 1 viser toktfrekvensen i fjorden i 1980. I tillegg har Institutt for Marinbiologi og limnologi, avdeling Marin Zoologi og Marin Kjemi utført observasjoner for Vestfjordens Avløpsselskap i en undersøkelse som skal kartlegge effekten av utslipp av kloakkvann fra Sentralrenseanlegg Vest i Vestfjorden.

På samtlige tokt ble det observert siktedyp, temperaturer og salt- holdighet. På tokter utført av NIVA ble det dessuten analysert på vannets oksygen og fosforinnhold (total fosfor og ortofosfat) på to stasjoner (EP1, DK1) (se fig. 1) ca. en gang per måned. Ved fire tokter (mars, mai, august og oktober) omfattet også analyseprogrammet total nitrogen, nitritt og nitrat samt ammonium på stasjonene DK1 og EP1. De normale månedsobservasjonene ble utvidet til flere stasjoner (AP2, CQ1, BL4, BN1, FL1 og KN1.) De kjemiske analysene ble utført på ufiltrert vann. Oversikt over parametre og analysemetoder er gitt i tabell 2. På toktene ble kvantitative planteplanktonprøver innsamlet fra (0-2), 4, 8 og 12 meters dyp og komplettert med håvtrekk (10 $\mu$ ) i overflaten. Fra (0-2) meters dyp ble det også analysert på klorofyll a.

I perioden mai-september ble det innsamlet vannprøver for bestemmelser av overflatevannets innhold av klorofyll a og planteplankton, samt målt siktedyp ca. 1 gang pr. uke på fire til fem stasjoner (AP2, BN1, DK1, EP1 og FROGN). Samtidig ble også temperatur og saltholdighet målt med salinoterm.

Data fra de hydrografiske tokt og overflatetoktene blir presentert i egen datarapport.



Figur 1. Stasjonsnett 1980

## 2.2 Generelle meteorologiske og hydrologiske forhold i 1980

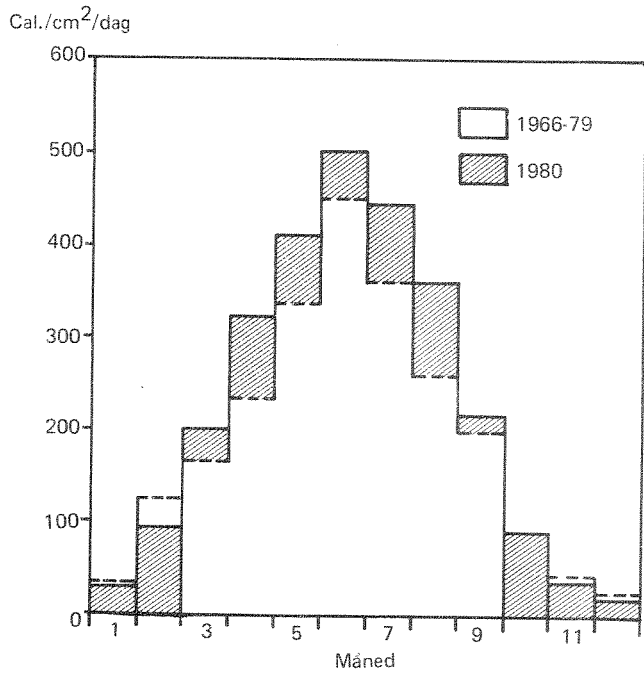
Figur 2 viser en del karakteristiske klimatiske forhold i 1980. Vinteren var kald med temperaturer under det normale ut til i april. Den lave temperaturen og den mindre nedbøren i januar ga lavere lokal ferskvannstilførsel enn normalt til indre Oslofjord frem til april da vårflommen kom. Den regionale ferskvannstilførselen var normal frem t.o.m. april.

Sommeren 1980 var nedbørrik med temperaturer under det normale eller omkring det normale. Den lokale ferskvannstilførsel var større enn normalt i juni, mens den for øvrig var innenfor normalvariasjonen. Den regionale ferskvannstilførselen hadde noe lavere flomtopp i mai-juni enn normalt.

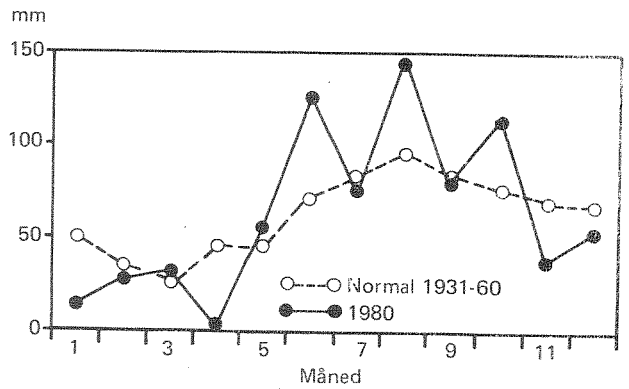
Høsten 1980 hadde omkring normalnedbør, unntatt i oktober, da den lokale ferskvannstilførselen var høy. Den regionale ferskvannstilførselen var stort sett mindre enn - eller omkring - normalen-

Vindforholdene (fig. 3) avvek fra normalåret ved stort sett noe mer nordavind i vinterhalvåret. Juli og august måned viste også mer nordlig vind, mens det var mindre nordlig vind i februar og desember enn i normalåret.

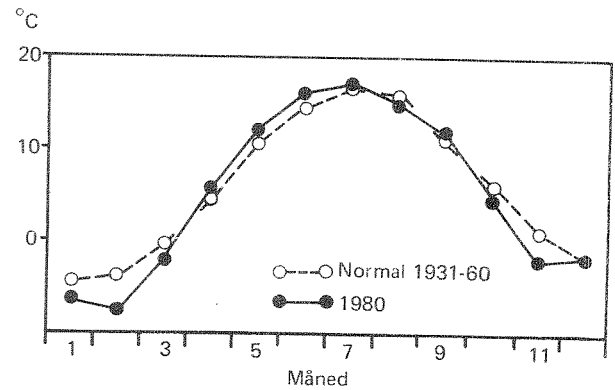
Vindens nord-syd komponent (fig. 4) viser spesielt kraftige nordavinder i mars, april og oktober, og for øvrig samme bilde som vindmengden (fig. 3) med mye nordlige og lite sydlige vinder.



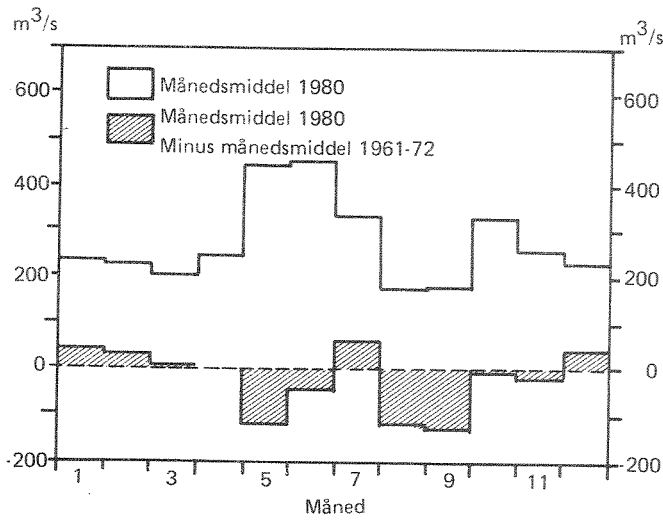
Globalstråling ved Blindern 1980 sammenlignet med månedsmiddel for perioden 1966-79.



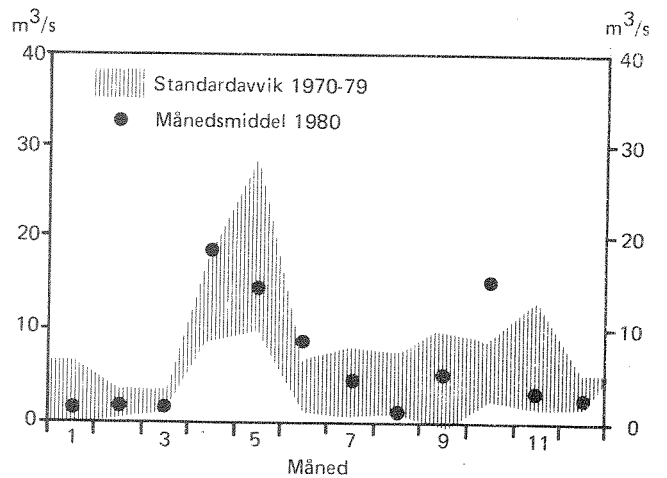
Nedbør ved Blindern 1980 sammenlignet med normalen 1931-60.



Månedsmiddeltemperaturen ved Blindern 1980 sammenlignet med normalen 1931-60



Vannføring (månedsmiddel) i Drammenselva, (Døviksfoss) 1980 og som avvik fra månedsmiddel for perioden 1961-72 (skravert). (Data fra Norges Vassdrag og Elektrisitetsvesen)



Vannføringen (månedsmiddel) i Lysakerelva og Sandvikselva 1980 sammenlignet med perioden 1970-79

Fig. 2. Ferskvannstilførsler, nedbør og solenergi i 1980 (Data fra Meteorologisk Institutt) samt vannføring i Drammenselva, Lysakerelva og Sandvikselva.

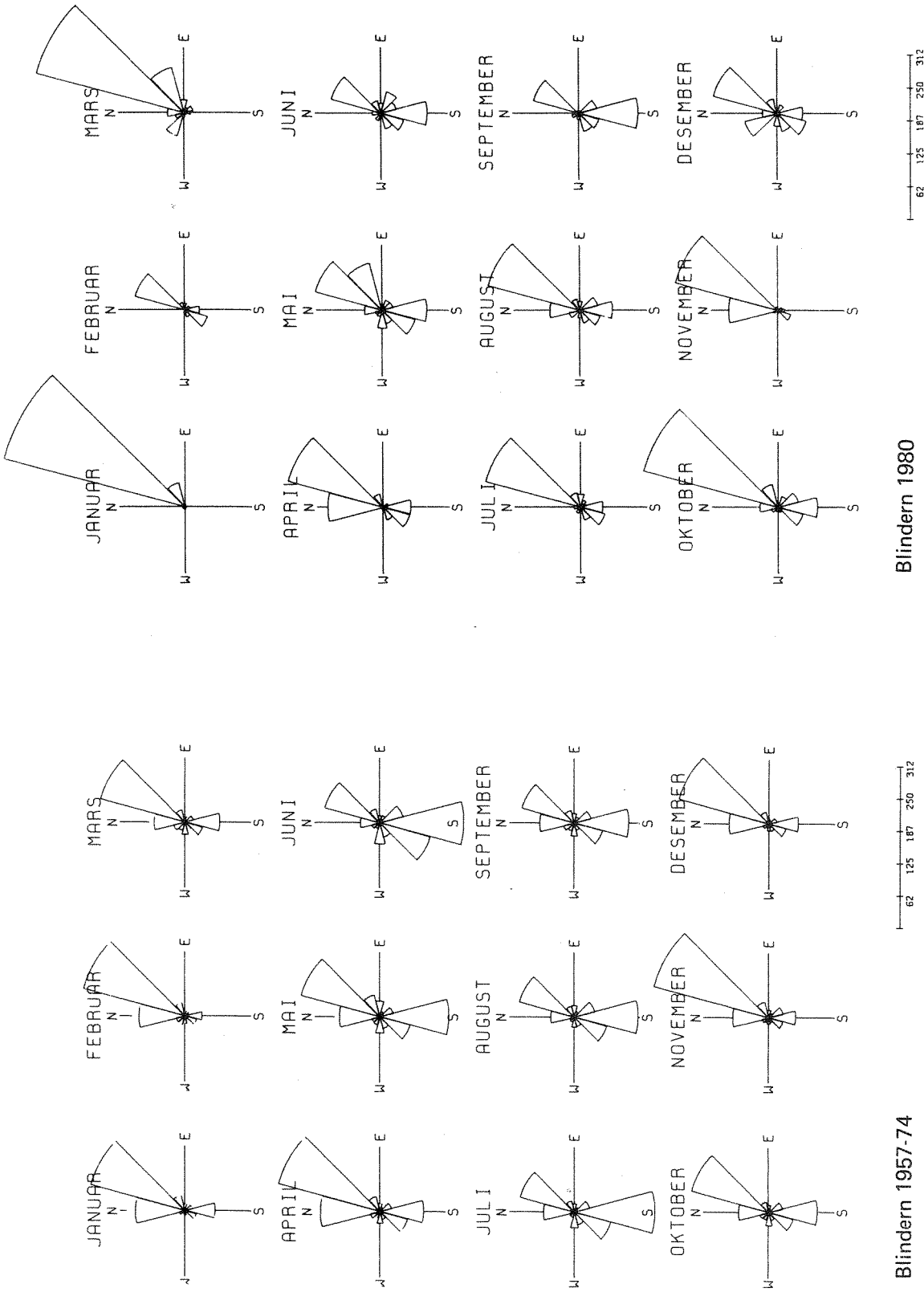


Fig. 3. Vindmengde (% observasjoner i sektor x vindens middelhastighet (knop) = radius for hver sektor (30°)). (Data fra Meteorologisk institutt).

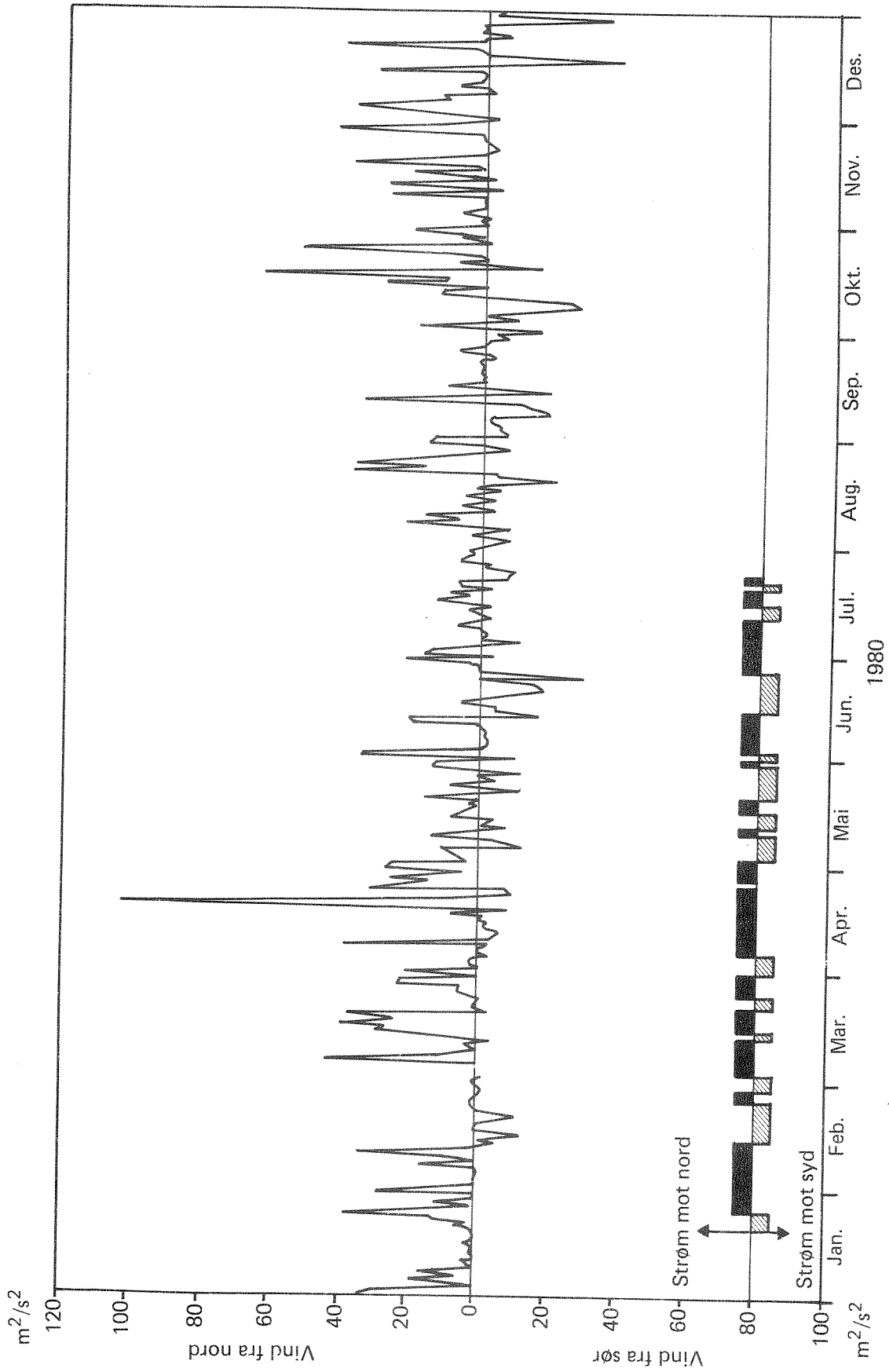


Fig. 4. Vindens nord-syd-komponent ( $m^2/s^2$ ) ved Blindern 1980 (Data fra Meteorologisk Institutt) og middelstrømmens retning på 18 meters dyp på Drøbakterskelen.



Tabell 1. Tokter i Oslofjorden 1980

MB = Institutt for Marin Biologi og Limnologi, Avd.  
Marin Botanikk

Dato	Overflateobser- vasjoner (0-2)m	Hydrografi	Observatør
17.1.	AP2, BN1	DK1, EP1	NIVA
20.2.		EP1	"
12.3.		AP2, BN1, DK1	" + MB
17.3.		FL1, KN1	
11.4.	BN1, DK1, FROGN		MB
22.4.	AP2, BN1	DK1, EP1	NIVA + MB
30.4.	BN1, FROGN		MB
7.5.	BN1, DK1, FROGN		"
20.-	FROGN	AP2, BL4, BN1,	NIVA + MB
21.5.		CQ1, DK1, EP1, FL1, KN1	
27.5.	AP2, BN1, DK1, EP1		NIVA
4.6.	--- " ---		"
11.6.	--- " ---		"
17.6.	AP2, BN1, FROGN	DK1, EP1	NIVA + MB
18.6.	BN1, DK1, FROGN		MB
24.6.	--- " ---		"
26.6.	24 stasjoner		NIVA
1.7.	BN1, DK1, FROGN		MB
4.7.	AP2, BN1, DK1, EP1		NIVA
9.7.	--- " ---		"
15.-	AP2, BN1, DK1, EP1,		NIVA + MB
16.7.	FROGN		
21.7.	AP2, BN1	DK1, EP1	NIVA
30.7.	21 stasjoner		NIVA
5.8.	AP2, BN1, DK1, EP1, FROGN		NIVA + MB
6.8.	BN1, DK1, FROGN		MB
11.-		AP2, BL4, BN1,	NIVA
12.8.		CQ1, DK1, EP1, FL1, KN1	
14.8.	BN1, FROGN		MB

forts. ...

Tabell 1. forts. ...

Dato	Overflateobser- vasjoner (0-2)m	Hydrografi	Observatør
21.8.	AP2, BN1, DK1, EP1		NIVA
22.8.	BN1, DK1		MB
26.8.	AP2, BN1, DK1, EP1		NIVA
3.9.	BN1, DK1, FROGN		MB
4.9.	AP2, BN1, CQ1, DK1, EP1		NIVA
16.9.	AP2, BN1	DK1, EP1	NIVA + MB
18.9.	BN1, DK1, FROGN		MB
9.10.	BN1, DK1, FROGN		"
21.- 22.10.		AP2, BL4, BN1, CQ1, DK1, EP1, FL1, KN1	NIVA
29.10.	BN1, FROGN		MB
14.11.	AP2, BN1	DK1, EP1	NIVA
16.12.	- " -	- " -	"

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

Parameter	Analysemetode	Presisjon	Deteksjonsgrense
Temperatur (TEMP)	Vendetermometer avlest med lupe.	± 0.01°C	-
Saltholdighet (SAL)	Konduktivitetmålinger ved laboratoriesalinometer (Industrial Man).	± 0.003‰	-
Oksygen/hydrogensulfid (O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S)	Jodometrisk titrering. Modifisert Winkler-metode.	± 2-4%	-
Orotofosfat (PO <sub>4</sub> -P)	Autoanalysator. Molybdenblåttmetoden.	± 2 µg/l	2 µg/l
Totalfosfor (TOT-P)	UV-oksydasjon. Bestemmelse som ortofosfat.	± 2 "	2 "
Nitrat+nitritt (NO <sub>3</sub> -N)	Autoanalysator. Red. (Cd/Cu) til og best. som nitritt.	± 10 "	10 "
Ammonium (NH <sub>4</sub> -N)	Autoanalysator. Indofenolblåttmetoden.	± 5 "	10 "
Totalnitrogen (TOT-N)	UV-oksydasjon. Bestemmelse som nitrat/nitritt.	± 10 "	10 "

### 2.3 Vannutskiftninger 1980

Den hydrografiske utviklingen i 1980 fremgår av figurene 5-15 som viser tidsutviklingen av vannets temperatur, saltholdighet, oksygeninnhold og ortofosfatinnhold.

#### Dypvannsfornyelser

Innstrømming av vann fra ytre Oslofjord og Skagerrak til nivåer under terskeldyp (20 m) i indre Oslofjord er betinget av at det innstrømmende vannets egenvekt er større enn hos dypvannet i fjorden. Dette er mest vanlig i vinterhalvåret hvor ferskvannstilførselen til ytre Oslofjord og Skagerrak er på sitt laveste. Karakteristika for dette vann vinterstid er høyt oksygeninnhold og relativt lavt fosforinnhold (ca. 30 µg/l). På tidsisopletene avleses en innstrømming og fornyelse av dypvannet således som en økning i saltholdighet (egenvekt) og oksygeninnhold og en nedgang i fosforinnhold. Det innstrømmende vannet vil blandes med gammelt dypvann, hvilket medfører lavere oksygenkonsentrasjoner enn det som tilsvarer det innstrømmende vannet. Ved store utskiftninger nærmer de endelige konsentrasjonene av oksygen og fosforforbindelsene i indre Oslofjords dypvann seg nivåene av disse komponentene i det innstrømmende vannet.

Av figurene 5-7 fremgår det at dypvannsutskiftningen startet ved årskiftet 1979/80 og fortsatte i flere adskilte perioder frem til begynnelsen av juni 1980.

Figur 4 viser også data fra en selvregistrerende strømmåler som ble plassert på ca. 18 meters dyp på selve Drøbakterskelen. Samtidig som måleren (type Aanderaa) registrerte strømmens retning, registrerte den også vannets temperatur og saltholdighet. Målerens funksjon og resultater vil bli nærmere behandlet i egen rapport. Her skal kun nevnes at innstrømmingen oftest skjer når tidevannet er stigende, dvs. nordgående og ofte avbrytes helt ved utgående tidevannstrøm. Det er kun i tilfeller med meget stor egenvektsforskjell mellom overflatelagsvann (5-30 meters dyp) i ytre fjord og vann på tilsvarende og dypere nivåer i indre fjord som den midlere strømmen (regnet over 25 timer) har en nettotransport mot nord. Dette betyr at den nordlige middelstrømmen som er markert på figur 4 ikke gir et fullstendig bilde av vannutskiftningstidspunkter, men isteden viser når det

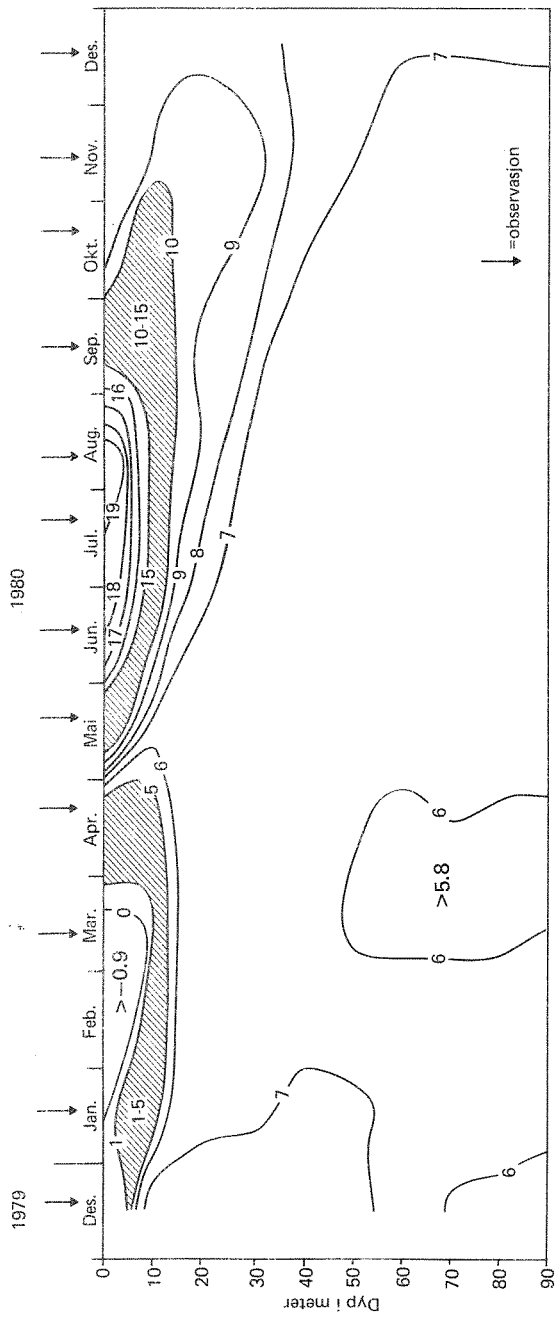


Fig. 5. Temperaturvariasjonen (°C) i Vestfjorden (DK1) 1980.

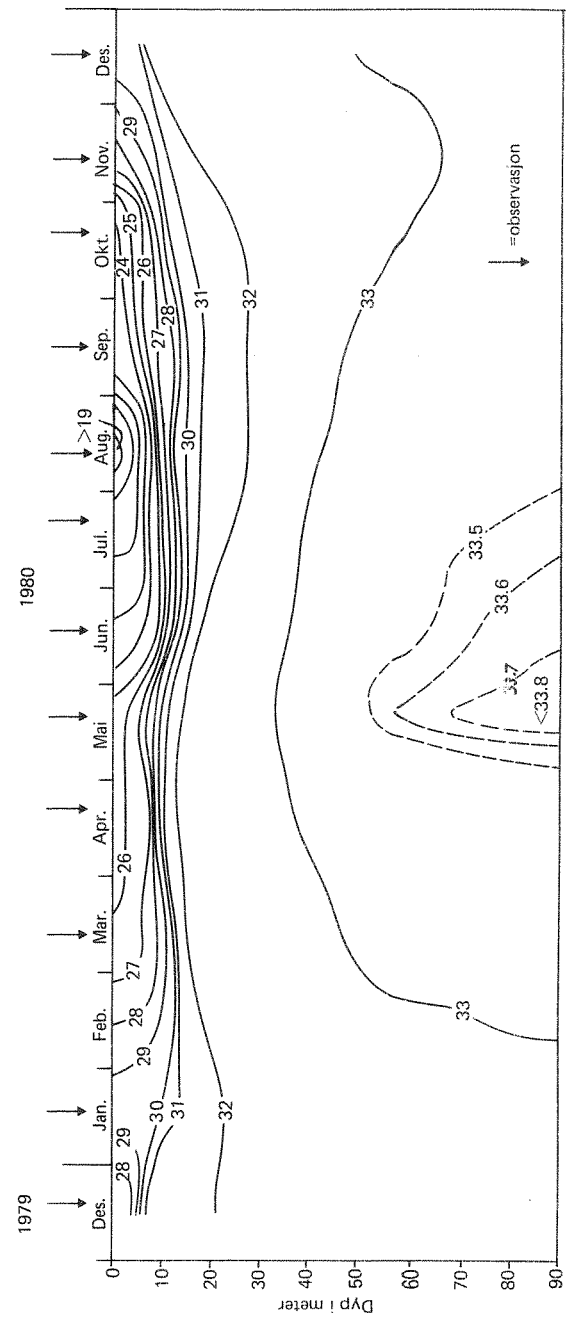


Fig. 6. Saltholdighetsvariasjonen (‰) i Vestfjorden (DK1) 1980.

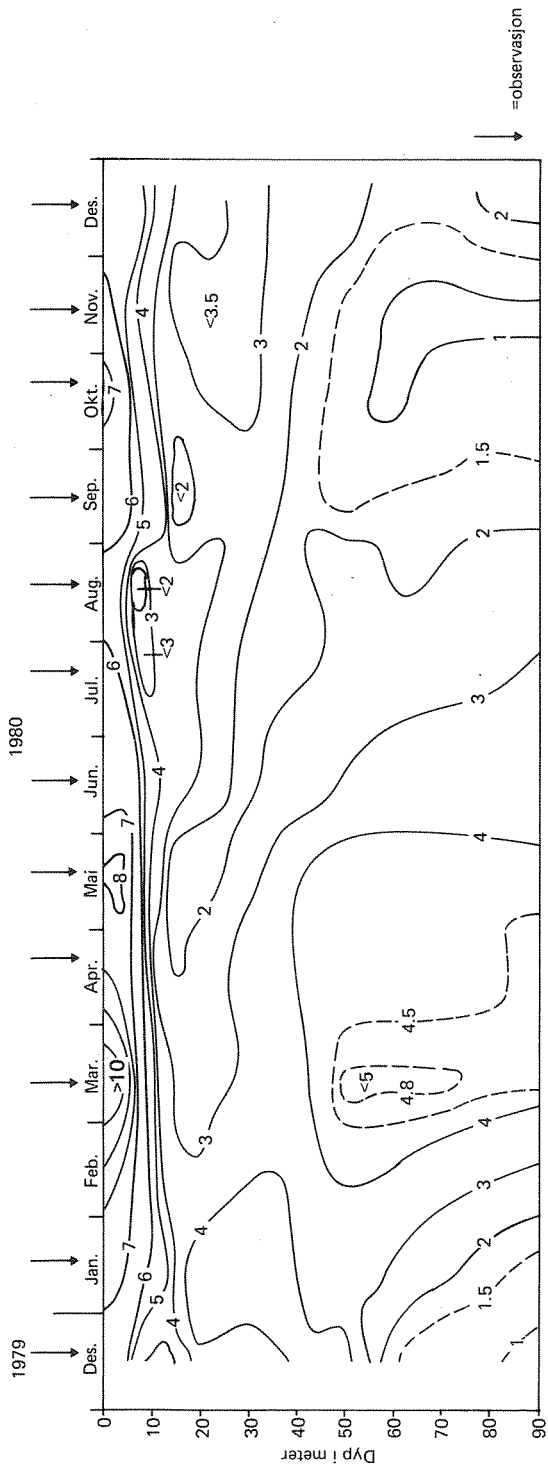


Fig. 7. Oksygenvariasjonen (ml/l) i Vestfjorden (DK1) 1980.

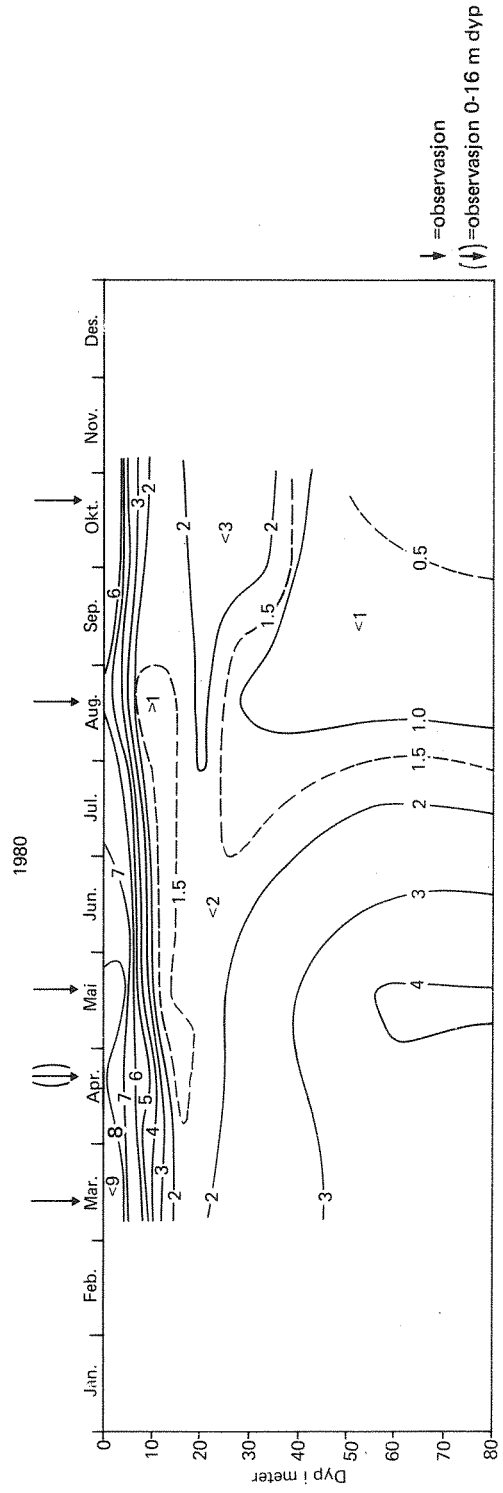


Fig. 8. Oksygenvariasjonen (ml/l) i Lysakerfjorden (BN1) 1980.

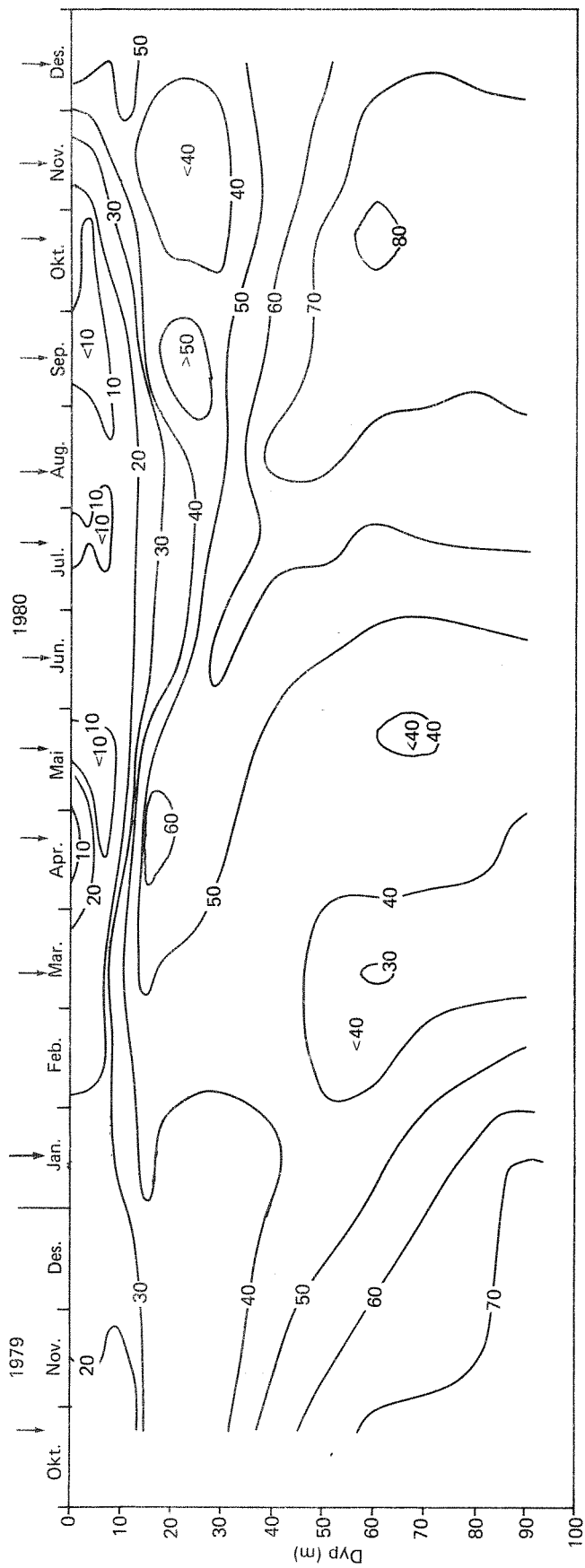


Fig. 8. Totalfosforvariasjonen ( $\mu\text{g/l}$ ) i Vestfjorden (DK1, Steilene) oktober 1979 - november 1980.

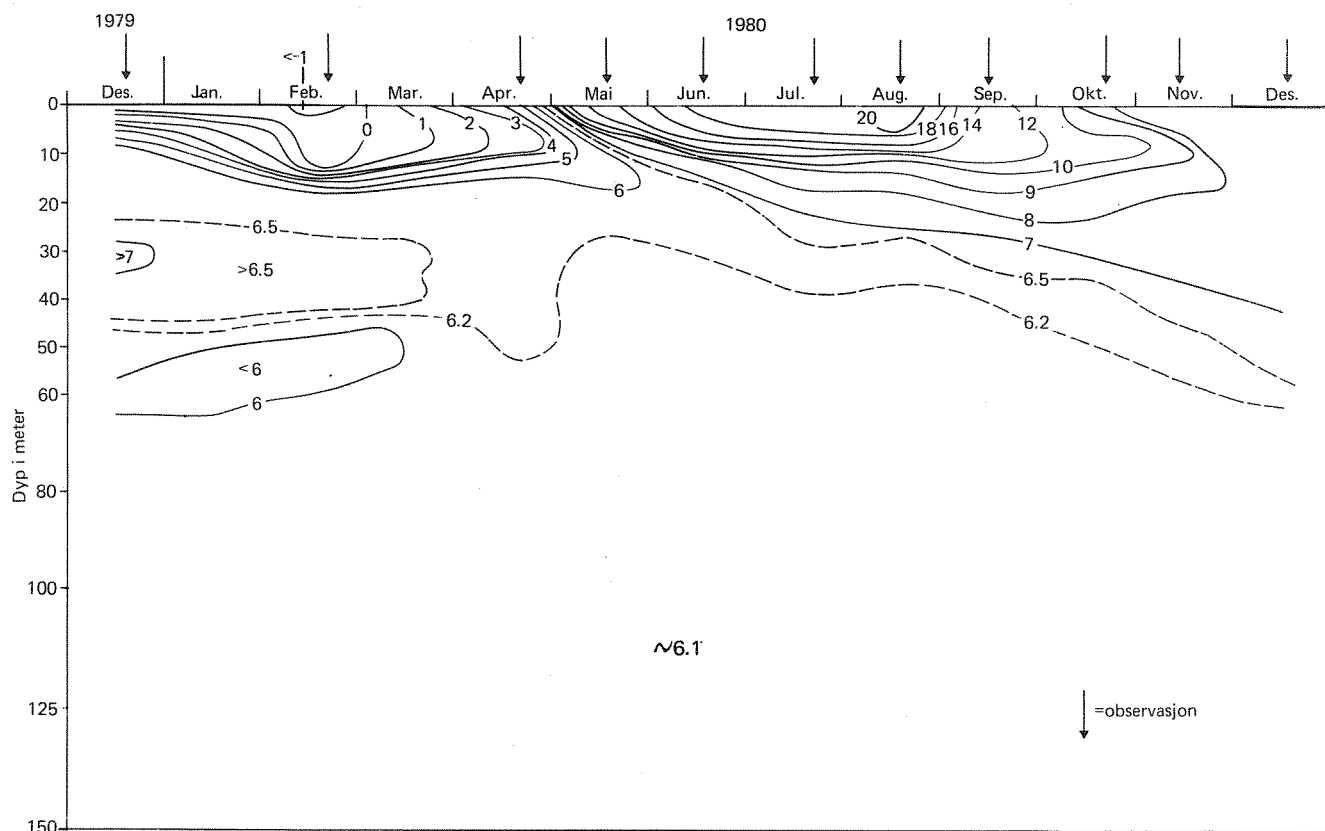


Fig. 10. Temperaturvariasjonen ( $^{\circ}\text{C}$ ) i Bunnefjorden (EP1) 1980.

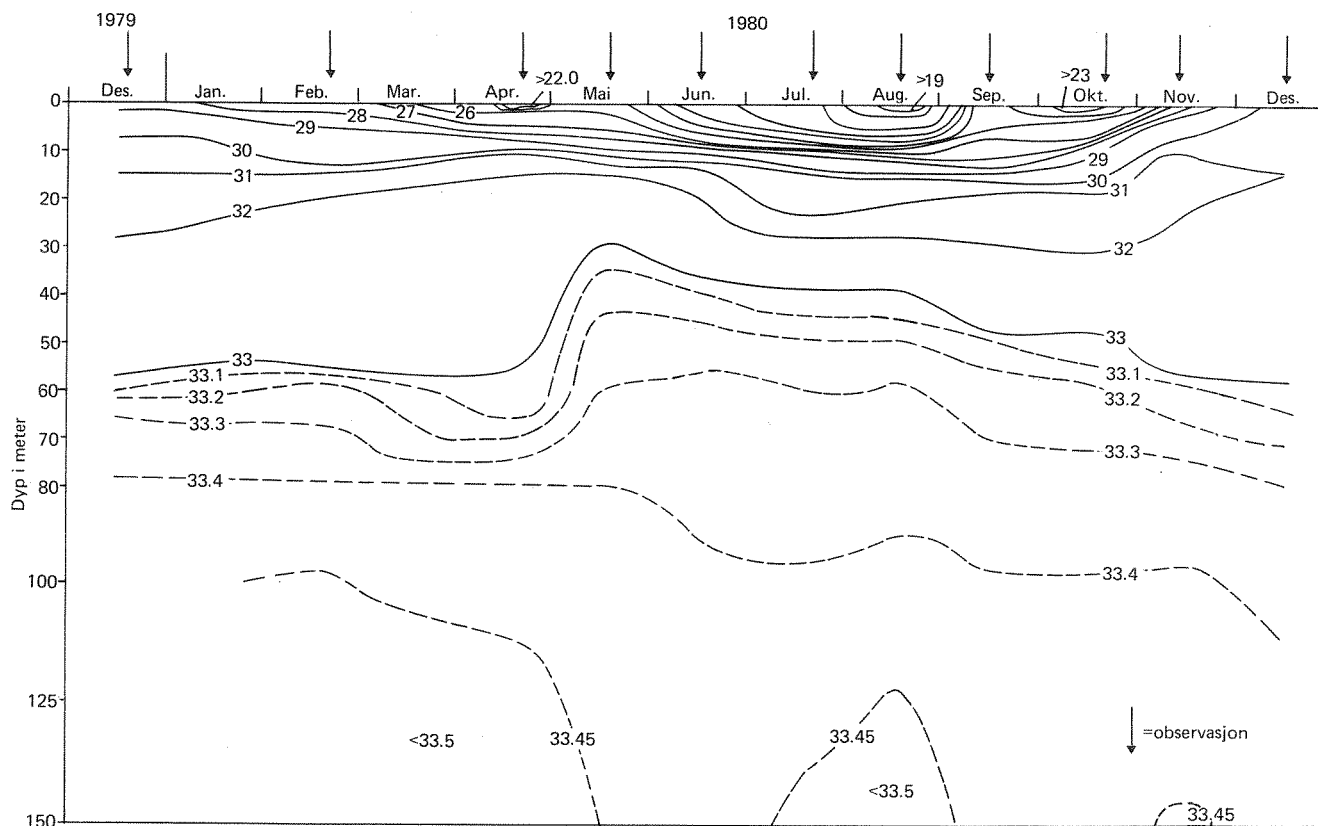


Fig. 11. Saltholdighetsvariasjonen ( $^{\circ}/\text{oo}$ ) i Bunnefjorden (EP1) 1980

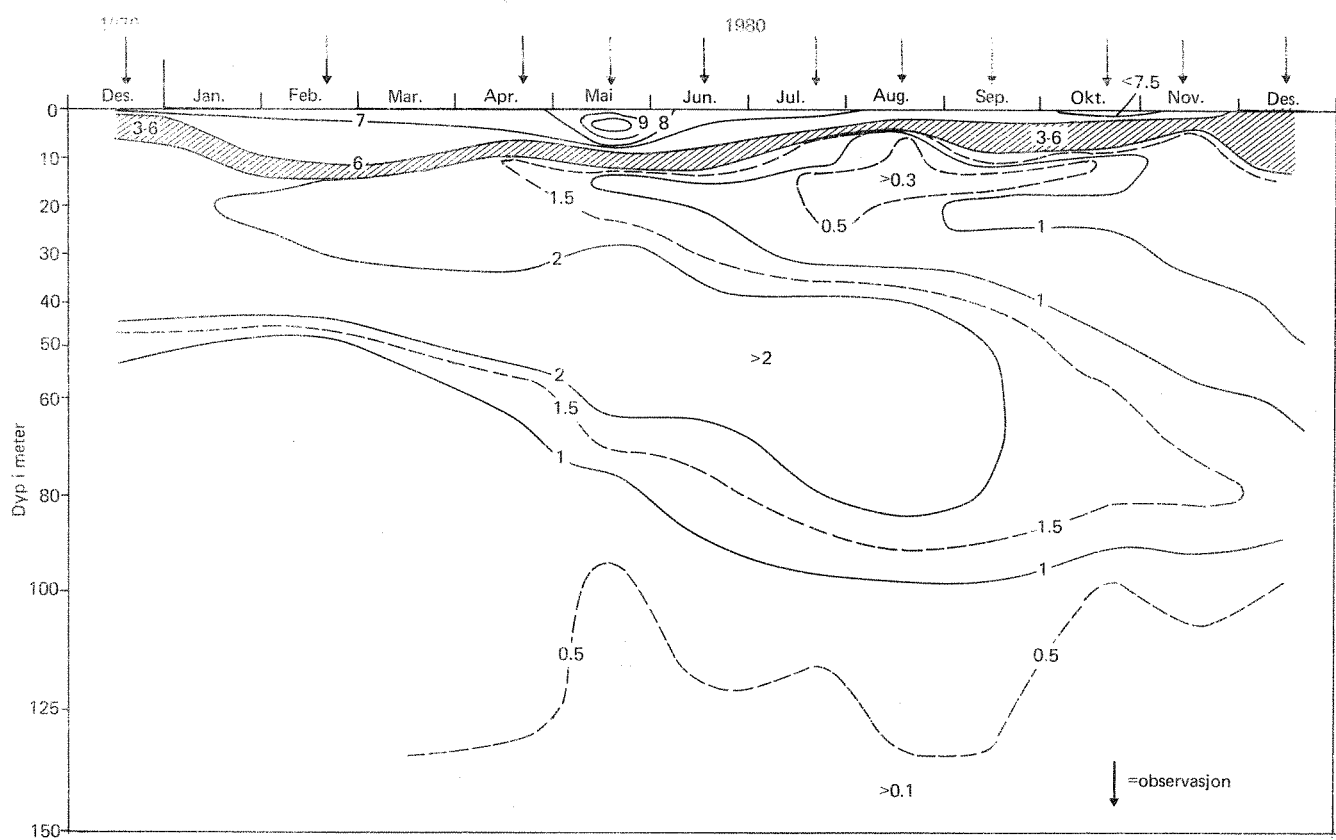


Fig. 12. Oksygenvariasjonen (ml/l) i Bunnefjorden (EP1) 1980.

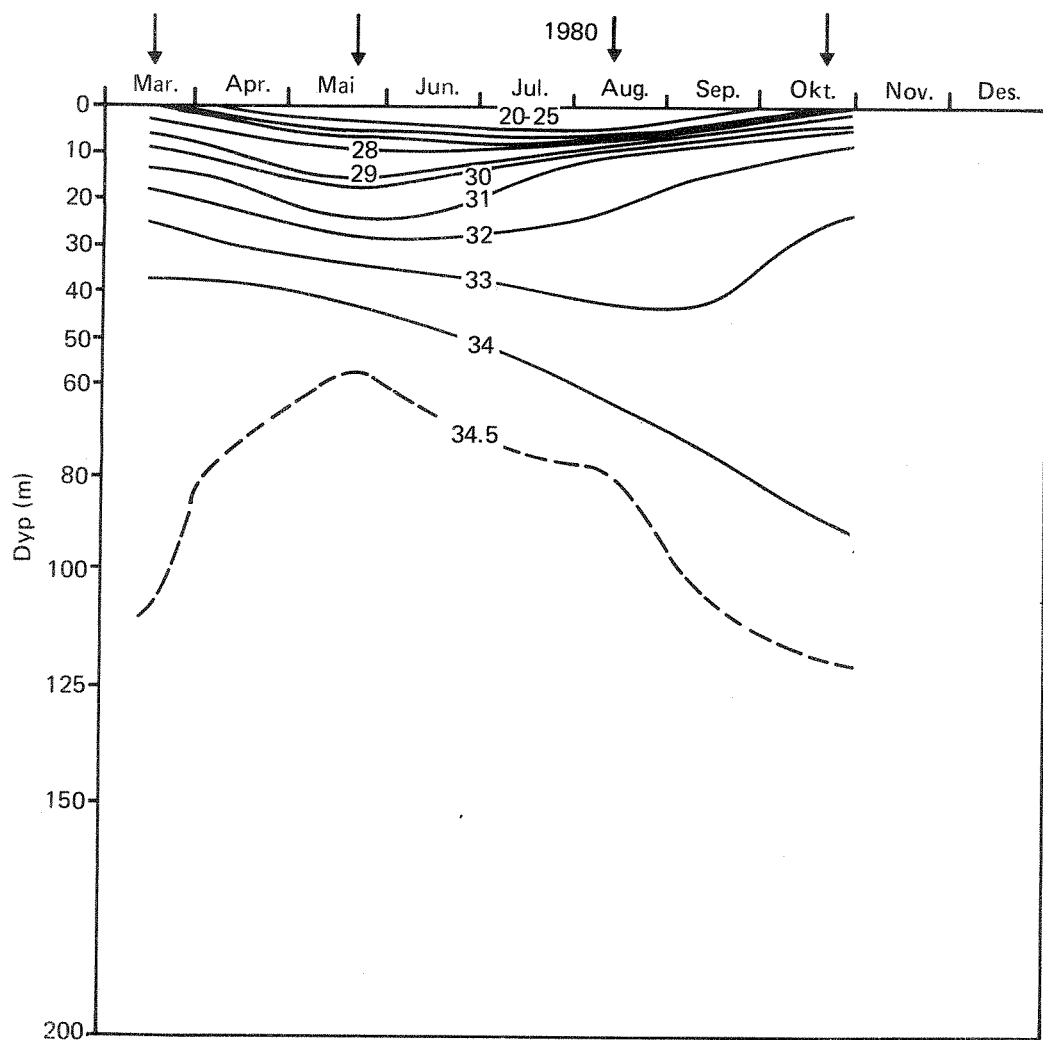


Fig. 13. Saltholdighetsvariasjonen (‰) i Drøbaksundet (Elle lykt) 1980.



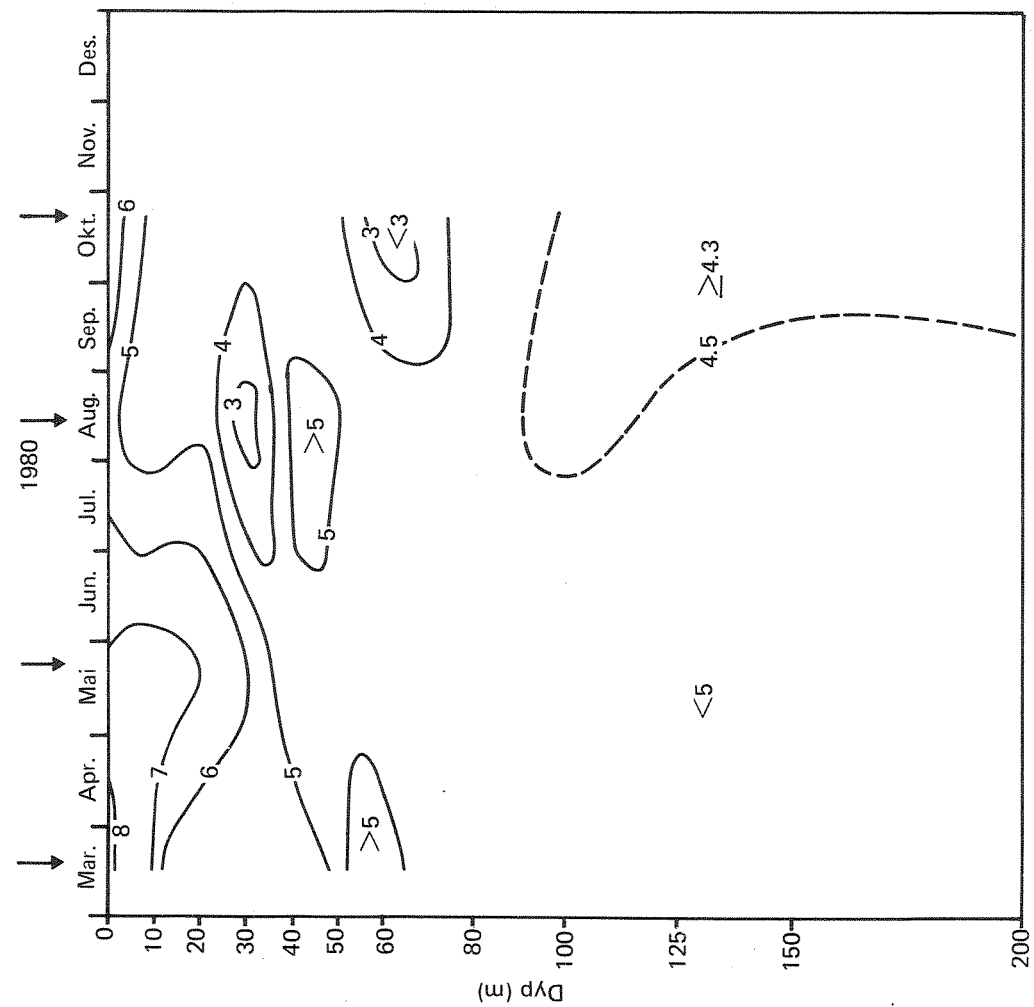


Fig. 14. Oksygenvariasjonen (m1/1) i Drøbakundet 1980.

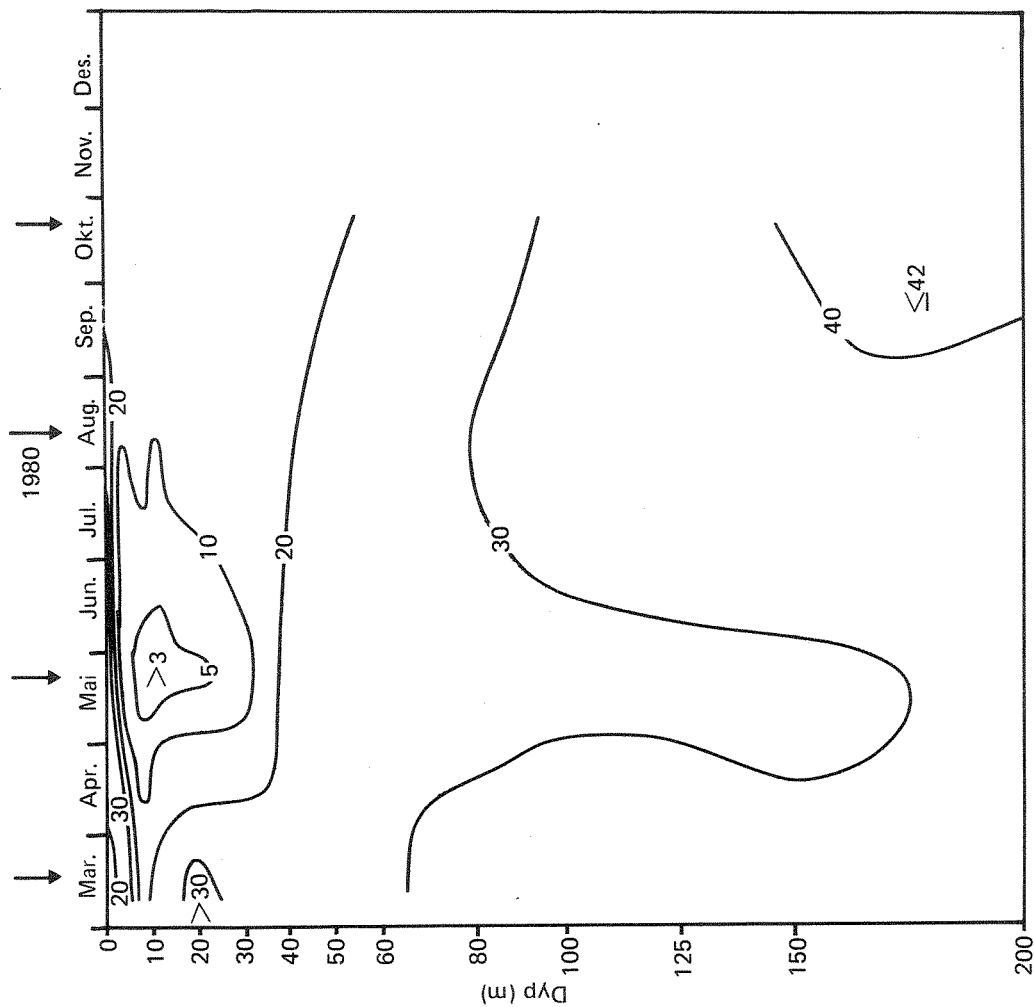


Fig. 15. Totalfosforvariasjonen i Drøbakundet (KN1, Elle lykt) i 1980.

foreligger en reell mulighet for vannutskiftning. Først når målerens resultater kombineres med de hydrografiske observasjoner kan konklusjoner mht. dypvannsfornyelser trekkes.

Dypvannsutskiftningen startet imidlertid før den første strømmåleren ble utplassert i slutten av januar, men fig. 7 viser at det er sannsynlig at den første større utskiftningen kom i perioden 17.1. - 12.3. Detaljer i strømmålerregistreringene viser at dypvannsfornyelse sannsynligvis fant sted i perioden 5.-6.2. til den 14.2. og fra den 2.3. til den 12.3., hvor måleren registrerte innstrømmende vann med over 33<sup>o</sup>/oo salinitet og temperaturer under eller omkring 6<sup>o</sup>C. Neste større vannutskiftningsperiode fant sted i begynnelsen av april, men kun på stigende tidevann, og først i slutten av april til begynnelsen av mai kom det større vannmasser over terskelen med temperaturer over 6<sup>o</sup>C og saltholdighet over 34<sup>o</sup>/oo. Mai-observasjonen ved DK1 i Vestfjorden viser også økninger i temperatur, saltholdighet og oksygenkonsentrasjon. Endelig ble det registrert en periode med innstrømmning av vann på omkring 6.2 - 6.8<sup>o</sup>C og over 33.5<sup>o</sup>/oo fra den 2.6. - 13.6., men denne innstrømmning ble ikke registrert i Vestfjordens dypvann. Muligens kan en svak økning av temperaturen mellom 30 og 50 meter indikere en innstrømmning, men hverken oksygeninnhold eller saltholdighet støtter en slik tolkning. Oksygenkonsentrasjonen i Bunnefjorden og Vestfjorden viser en liten vannutskiftning i august på mellomnivåer (50 meters dyp i Vestfjorden og 60 meters dyp i Bunnefjorden).

Beregninger av dypvannsutskiftningens størrelse er begrenset til å omfatte de større fornyelsene i januar og februar-mars, samt utskiftningen før mai-toktet.

Vannutskiftningens størrelse i 1980 er beregnet analogt med tidligere års beregninger ved en kombinert bruk av T-S diagram, oksygen og totalfosforkonsentrasjoner. Forutsetningen er en enkel blanding av innstrømmende vann og gammelt dypvann for de vannmasser som etter utskiftningen har høyere egenvekt etter innstrømmingen. Der hvor denne beregningsmåten ikke gir realistiske fosfor- og oksygenkonsentrasjoner har vann fra andre dyp og bassenger vært involvert i utskiftningen og gjort blandingsforholdet mer komplisert.

For totalfosfor og oksygenparametrene er følgende ligning blitt brukt:

$$P = Q_1 P_1 + Q_2 P_2$$

hvor  $P_1, P_2$  = konsentrasjonene på innstrømmende, respektive "gammelt" dypvann,

$Q_1, Q_2$  = andelen nytt og gammelt vann,

$P$  = konsentrasjonen i vannet etter utskiftningen.

En nærmere sammenligning mellom de forskjellige beregningsmetoder og parametre er beskrevet i en tidligere rapport (NIVA 1977). For 1980 har det vært enklest å bruke totalfosfor og oksygen for å bestemme det innstrømmende vannets egenskaper, men registreringene av saltholdighet og temperatur på Drøbakterskelen har også støttet antakelsen om dette vannets egenskaper. Nøyaktigheten i målingene av konsentrasjoner i det innstrømmende vannet er kritisk i disse beregninger og en eventuell feil i saltholdighet og temperatur betyr større feil i beregninger enn ved bruk av de mer homogene konsentrasjonsnivåer av oksygen og fosfor vinterstid i Drøbaksundet.

De kvantitative beregninger av dypvannsutskiftninger 1980 gir et utskiftet volum på ca.  $3.200 \times 10^6 \text{ m}^3$  hvorav ca.  $1.800 \times 10^6 \text{ m}^3$  ble utskiftet frem til 17.3.1980 og  $1.400 \times 10^6 \text{ m}^3$  til den 21.5.1980. Det samlede volumet tilsvarer vel 50 % av dypvannet under 20 meters dyp. Vel å merke var utskiftningen stort sett begrenset til Vestfjorden. Tabell 3 viser at dypvannsutskiftningen var "normal" sammenlignet med øvrige år på 1970-tallet.

Tabell 3. Beregnet dypvannsutskiftning 1973-80 samt prosentvis fornyelse av volumet under 20 meters dyp i indre Oslofjord.

År	Utskiftet vannvolum ( $\times 10^6$ ) m <sup>3</sup>	% av fjordens volum under 20 meters dyp
1973	1.200	20
1974 <sup>*)</sup>	8.300	140
1975	1.200	20
1976	3.300	55
1977	5.900	100
1978	2.800	45
1979	3.700	60
1980	3.200	54

<sup>\*)</sup> Innbefatter også perioden november-desember 1973

Utskiftningen kan anslagsvis beregnes ut fra strømregistreringene og sammenlignes med utskiftningsberegningene basert på de hydrografiske data. Ved å anta at innstrømmende vann over Drøbacterskelen er begrenset til dyp under 4 meter, gir en enkel beregning av middelstrømmen beregnet for vannmasser som har større egenvekt enn dypvannet sammenfallende med nordlig strøm en utskiftning på ca.  $1.600 \times 10^6$  m<sup>3</sup> for perioden 17.3.-21.5.80.

Innstrømningsarealet over Drøbacterskelen er valgt etter beliggenheten av et strømskille mellom utgående og inngående strøm observert på tokt under utskiftningsepisoder. Det er innlysende at middelstrømmer på 18 meters dyp der strømmåleren står ikke uten videre er representative for hele arealet. Allikevel sammenfaller størrelsen på det utskiftede vannet beregnet etter de hydrografiske observasjoner ( $1.400 \times 10^6$  m<sup>2</sup>) med anslaget på utskiftningsvolumet ut fra strømobservasjonene ( $1.600 \times 10^6$  m<sup>3</sup>).

#### Overflatelagets fornyelse

Tabell 4 viser antall potensielle utskiftninger av overflatelaget (0-10m) som representerer en total vannmasse på ca.  $1.800 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Som tidligere er disse indirekte estimert ved å anta at nordlige vinder med en styrke over 3-4 m/s i en uke tilsvarende en fullstendig vannutskiftning. Sammenligningen baserer seg på feltobservasjoner sommeren 1977 med intensive hydrografiske observasjoner under en uke med nordlige vinder (NIVA 1978).

Tabell 4. Antall potensielle utskiftninger av overflatelaget (0-10 m) i indre Oslofjord beregnet etter nordlige vinder i 1980

Måned	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
Antall utskiftninger	2	1	4	2	1			2		2	2	1

I 1980 var det omtrent 17 tilfeller med utskiftningsmuligheter, hvorav 2 sommerstid. Dette tilsvarer et transportvolum på ca.  $30.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ , dvs. en midlere transport på ca.  $970 \text{ m}^3/\text{s}$  sammenlignet med  $790 \text{ m}^3/\text{s}$  i 1979,  $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$  i 1978 og  $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$  i 1977. I perioden juni-august var transporten omtrent  $460 \text{ m}^3/\text{s}$ , omtrent som i 1979 ( $450 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og mindre enn i 1978 og 1977 ( $900 \text{ m}^3/\text{s}$  resp.  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

I sommerperioden var således utskiftningen i 1980 som i 1979 og mindre enn i 1977 og 1978.

Bemerkes bør at tidevannsutskiftning, som forutsettes å være omtrent den samme hvert år, vil komme i tillegg.

#### 2.4 Oksygenforholdene i fjordens dypvann 1980 sammenlignet med tidligere observasjoner

Oksygenreduksjonen i Oslofjordens dypvann som bl.a. illustrert i figur 7, skyldes nedbrytning av organisk materiale fra hovedsakelig biomasseproduksjonen i fjordens overflatelag, men også tilført via elver og kloakkutslipp. Utslippene av organisk stoff tilføres dels dypvannet direkte via dyputslipp, eller som sedimentering fra overflateutslipp. I tillegg vil restmengder av organisk stoff nedbrytes i overflatelaget til bl.a. nærings-salter. Sammen med de store direkte utslipp av nærings-salter gir dette grunnlag for en meget stor planteplanktonproduksjon. Planktonet belaster i sin tur dypvannet og den samlede effekten av den organiske belastningen på dypvannet blir lave oksygenverdier utover sommeren og høsten. Tilførselen av oksygen til dypvannet skjer ved dypvannsutskiftninger hvor oksygenrikt vann fra ytre Oslofjord og Skagerrak trenger over Drøbakterskelen og ned i dypet i indre fjord. Hvis vannutskiftningen og derved oksygentilførselen er konstant, så blir oksygeninnholdet direkte avhengig av belastningen med organisk nedbrytbart materiale.

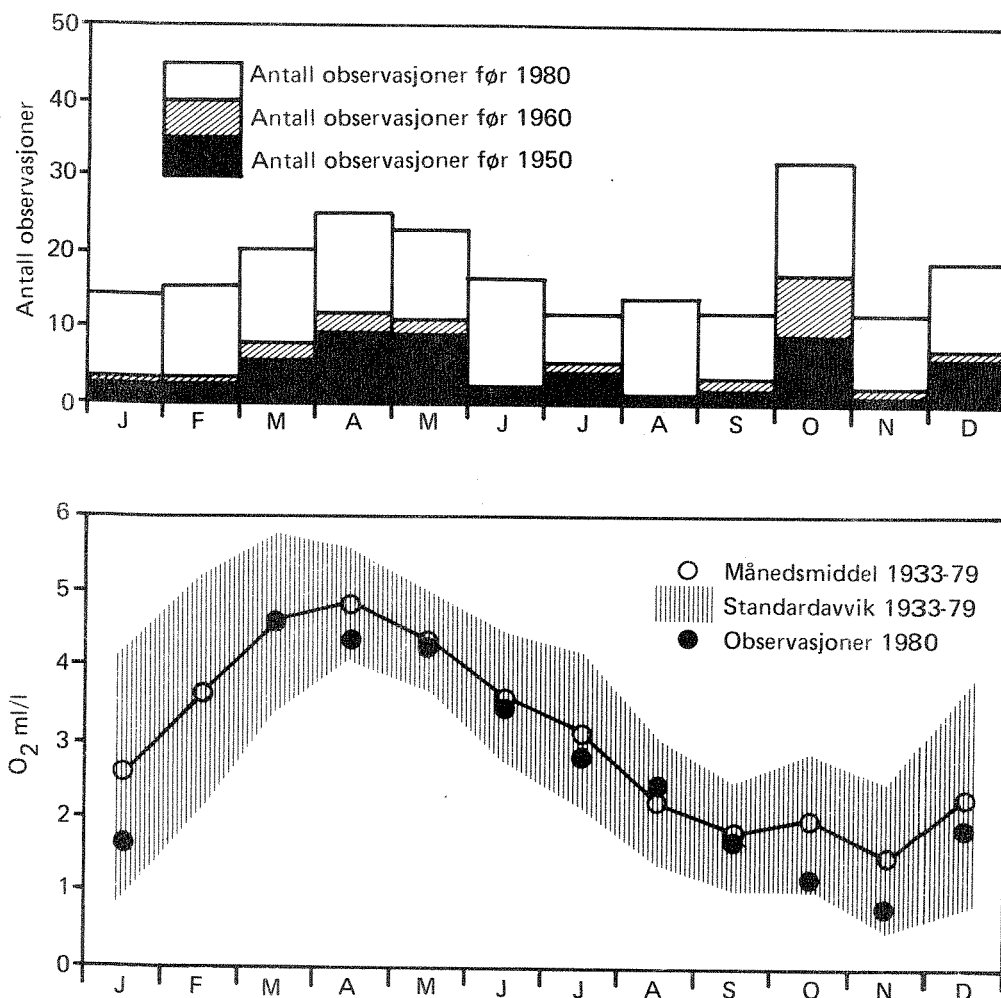


Fig. 16. Månedsmiddel og standardavvik for oksygenkonsentrasjonen på 70-80 meters dyp i Vestfjorden (stasjon DK1, Steilene) 1933-79, basert på data fra periodene 1933-40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1945-62 (Beyer og Føyn 1951 og Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen), 1962-73 (NIVA) og 1974-79 (Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen og NIVA), samt observasjoner fra 1980.

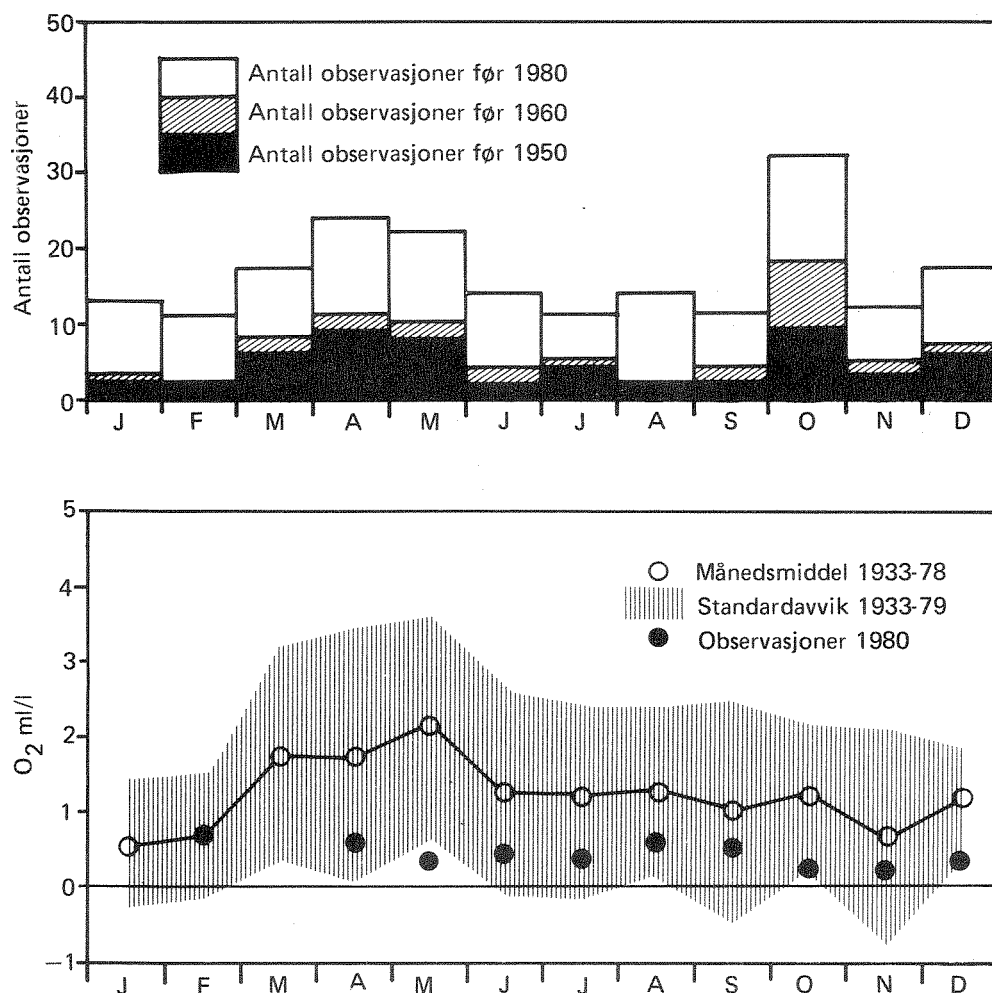


Fig. 17. Månedsmiddel og standardavvik for oksygenkonsentrasjoner på 125 meters dyp i Bunnefjorden (EP1, Svartskog) 1933-79, basert på data fra periodene 1933-40 (Braarud 1937 og Dannevig 1945), 1945-62 (Beyer og Føyn 1951 og Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen), 1962-73 (NIVA), 1973-79 (Statens Biologiske Stasjon i Flødevigen og NIVA) samt observasjoner fra 1980.

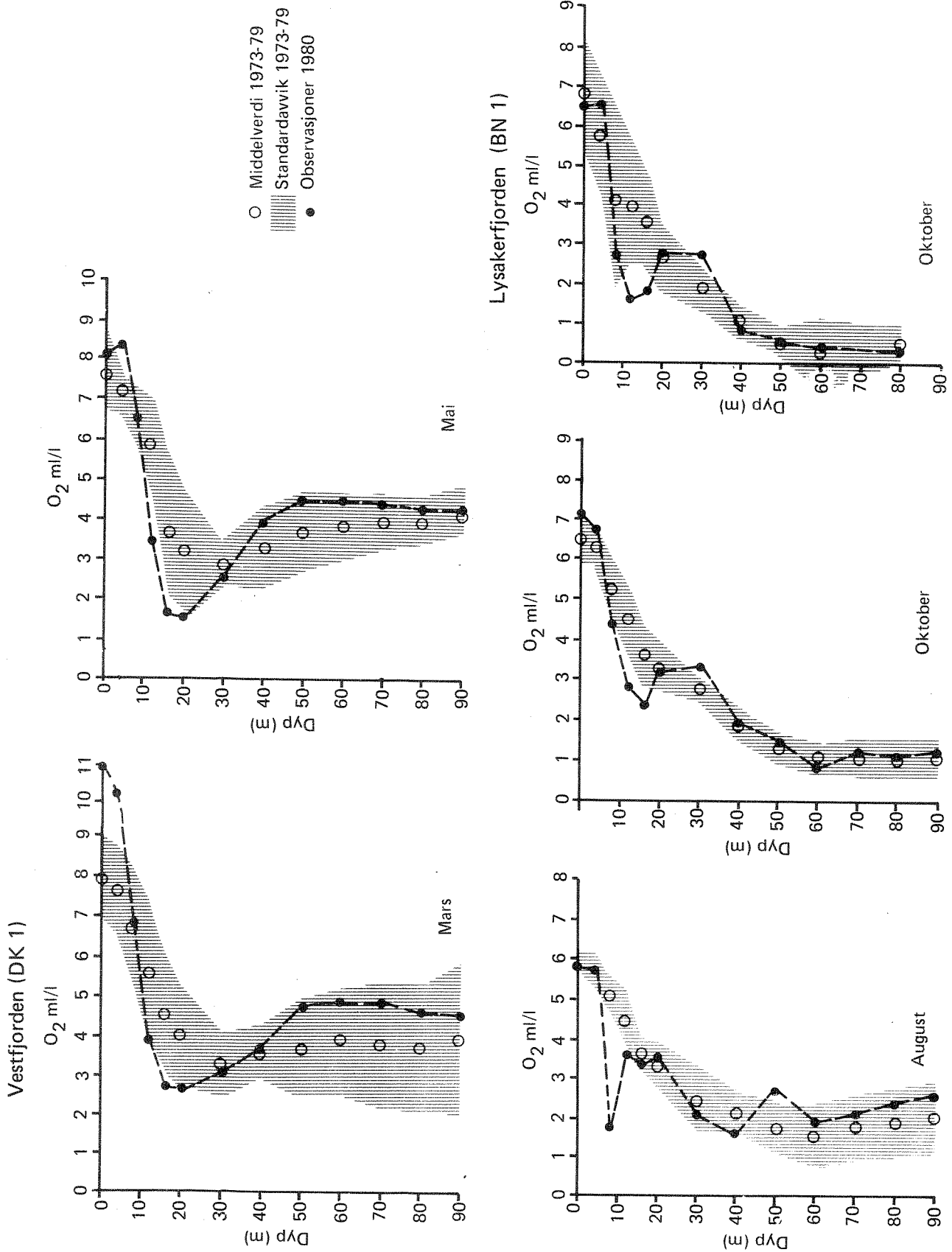


Fig. 18. Oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i mars, mai, august og oktober i Vestfjorden (DK1) 1980 sammenlignet med månedsmiddel og standardavvik for perioden 1973-79 samt tilsvarende for Lysakerfjorden (BN1) i oktober.



### Resultater i 1980

Figurene 16 og 17 viser oksygenkonsentrasjonen på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (DK1, Steilene) og på 125 meters dyp i Bunnefjorden (EP1, Svartskog) for 1980 sammenlignet med tidligere observasjoner. I Vestfjorden har vannutskiftningen kommet som normalt i vinter- og vårmånedene og deretter avtar oksygeninnholdet mot høsten. I desember begynner en ny dypvannsutskiftning som øker oksygeninnholdet noe. Oksygenkonsentrasjonen ligger omkring det "normale" med unntak for oktober og november måned da verdien i 1980 ligger i underkant av normalvariasjonen.

I Bunnefjorden var vannutskiftningen stort sett begrenset til nivåer over 80 meters dyp, men en viss diffusjon av oksygen ned til de dypere lag holdt oksygenkonsentrasjonen på 125 meters dyp over null-nivået. Mai og oktober verdiene ligger i underkant av normalkonsentrasjonen - øvrige verdier innenfor denne. De lave oksygenverdiene i Vestfjorden og Bunnefjorden i oktober - måneden med de fleste observasjoner - indikerer en høyere organisk belastning sensommeren og høsten 1980.

### Resultater i 1980 sammenlignet med observasjoner 1973-79

I figur 18 har månedsmiddel og standardavvik for stasjonsvertikaler i Vestfjorden i mars, mai, august og oktober blitt beregnet for perioden 1973-79 og med innlagte observasjoner fra 1980. Figurene viser hvor representativt det dyp er i Vestfjorden som blir brukt for å bedømme denne fjorddels oksygenutvikling. Likeså kan en lettere se forandringer i de forskjellige vannmasser.

For dypvannet viser resultatene (gjennomgående) like høye eller høyere konsentrasjoner i 1980 sammenlignet med middelveiden basert på perioden 1973-79. Imidlertid ligger resultatene innenfor hva som kan kalles normalvariasjonen. Det er for øvrig to trekk i 1980-observasjonene som er interessante. Som tidligere nevnt var oksygenkonsentrasjonen lav i oktober sammenlignet med middelveiden til tidligere observasjoner, og dette går igjen også i figur 18. Oksygenreduksjonen fra august til oktober må derfor ha vært større enn vanlig.

Hvis oksygenforbruk pr. døgn i perioden august-oktober 1980 sammenlignes med 1979 har det vært 2-5 ganger større i 1980 uten at dette kan forklares med temperaturvariasjonen i dypvannet eller oksygenkonsentrasjonsnivået i august. Den større reduksjonen kan ha to årsaker; nedbrytningsprosessene kan ha skjedd raskere enn normalt eller tilførselen av organisk stoff kan ha vært større enn normalt.

Nedbrytningshastigheten er igjen avhengig av temperatur, oksygenkonsentrasjon og det tilførte organiske stoffets kvalitet. Foreliggende data gir ikke grunnlag for å vurdere den kvalitative sammensetningen av tilført organisk materiale, men mulige årsaker til forskjeller i nedbrytbarhet er forandringer i forholdet mellom organisk belastning fra kloakkvann og fra planktonproduksjon. Den kvalitative sammensetningen av planktonsamfunnet kan også tenkes å påvirke nedbrytningshastigheten.

Hvis det raske oksygenforbruket i dypvannet skyldes større tilførsel av organisk materiale enn foregående år, kan dette være forårsaket av at sedimentasjonen av organismer produsert i overflatevannet i sommerperioden har vært høyere enn tidligere. Observasjonene av klorofyll og planteplankton tyder ikke på at biomassen av planteplankton sommeren 1980 var spesielt høy (se kap. 3). Klorofyllkonsentrasjonene var isteden lavere enn i de foregående år. Prøvene fra 0-2 m gir imidlertid ikke noen sikker indikasjon på den totale planktonmengden i overflatelaget fordi tettheten av alger kan være større på dyp under 2 m.

Tilførselen av organisk materiale fra planktonproduksjonen til dypvannet er også avhengig av i hvor høy grad omsetningen av dette materialet skjer høyere opp i vannmassen. Den kvalitative sammensetningen av planktonet vil her spille inn (sedimentasjonshastighet/nedbrytbarhet).

Til slutt vil en økt tilførsel av organisk materiale til dypvannet kunne skyldes eksterne kilder dvs. materiale tilført fra land (eksempelvis kloakkvann) eller fra andre områder av fjorden (plankton tilført med vann på intermediært dyp).

Et annet avvik i observasjonene fra 1980 er et oksygenminimum på mellom 10 - 20 meters dyp i oktober. Dette kan skyldes dyputslippet av urensset kloakk i Lysakerfjorden som innlagres på nivåer omkring 20 meters dyp. På figur 18 er også oktobersituasjonen i Lysakerfjorden inntegnet og oksygenminimumet er markert på tross av betydelig spredning i observasjonene. Lysakerutslippet blir nærmere behandlet i etterfølgende tekst.

Observasjoner fra 1970-tallet sammenlignet med data fra forskjellige perioder i tidsrommet 1933-70

Sammenlignet vi oksygenverdiene i Vestfjorden på 75-80 meters dyp med tidligere observasjoner i månedene mai og oktober (figur 19), finner vi at perioden 1977-80 ligger lavere enn 1962-65 og tidligere observasjoner, men vi har en klar økning sammenlignet med perioden 1973-76. Samtidig er det en tendens til at mai-konsentrasjonene avtar, spesielt gjelder dette perioden 1977-80.

Tabell 5. Vannutskiftning i indre Oslofjord og oksygenkonsentrasjon i oktober på 80 meters dyp i Vestfjorden (Stasjon DK1, Steilene) (Vannutskiftningen 1962-65 etter Gade 1967).

År	Vannutskiftning x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> (ml/l) i oktober på 80 meters dyp i Vestfjorden
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
1979	3.700	1.4
1980	3.200	1.2

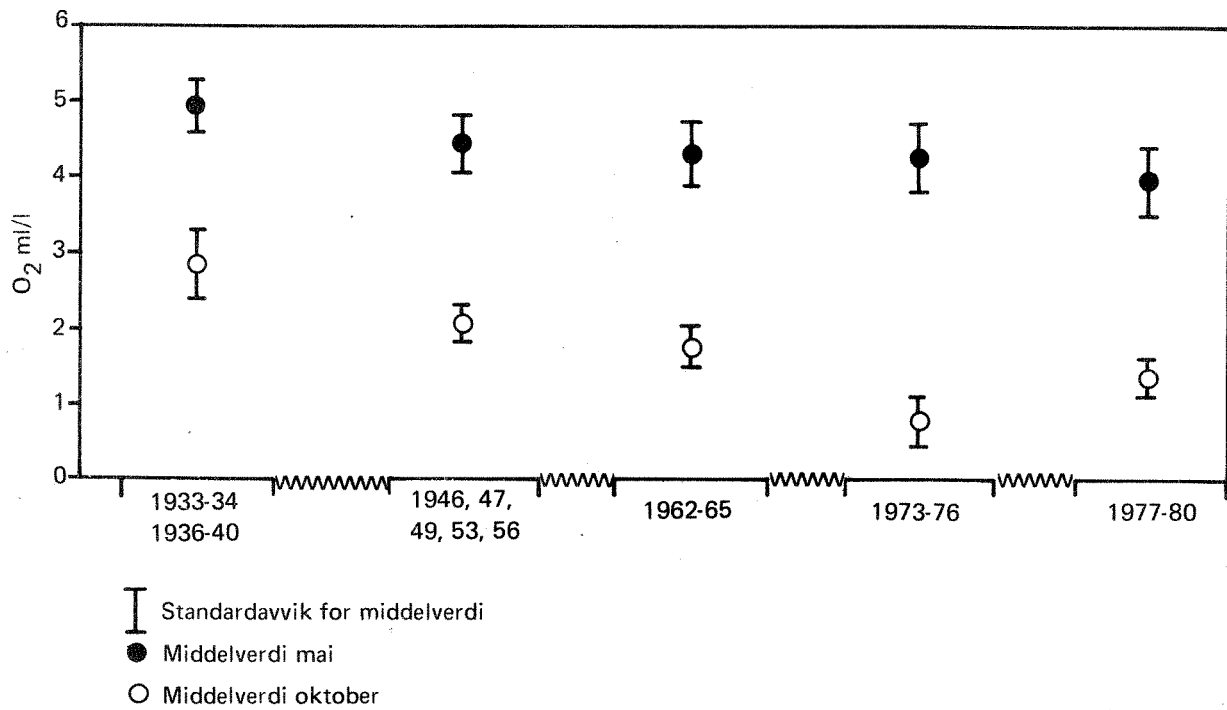


Fig. 19. Midlere oksygenkonsentrasjon (ml/l) på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (stasjon DK1, Steilene) i mai og oktober måned beregnet for 5 perioder. Data fra Braarud (1937), Dannevig (1945), Beyer og Føyn (1951), Statens Biologiske Stasjon Flødevigen og NIVA.

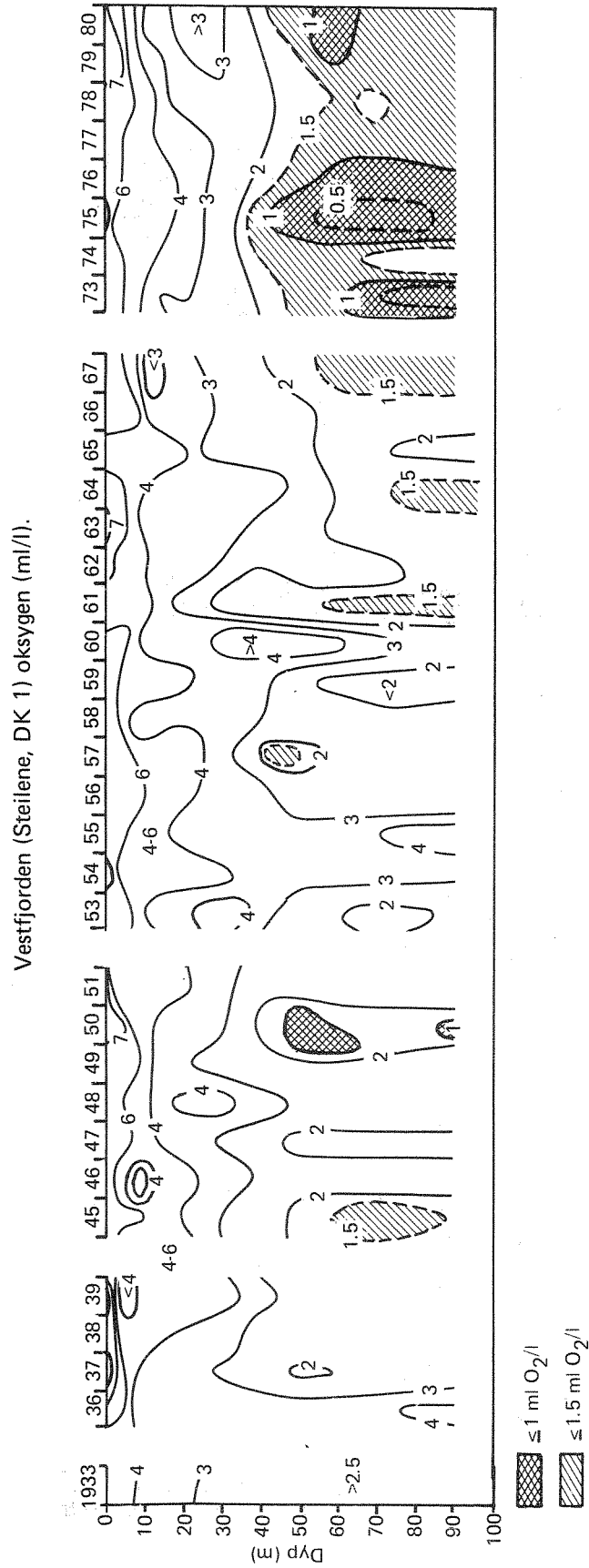


Fig. 20. Oksygenvariasjonen (ml/l) i Vestfjorden (Steilene, DK1) i oktober måned 1933, 1936-39, 1945-67 og 1973-80.

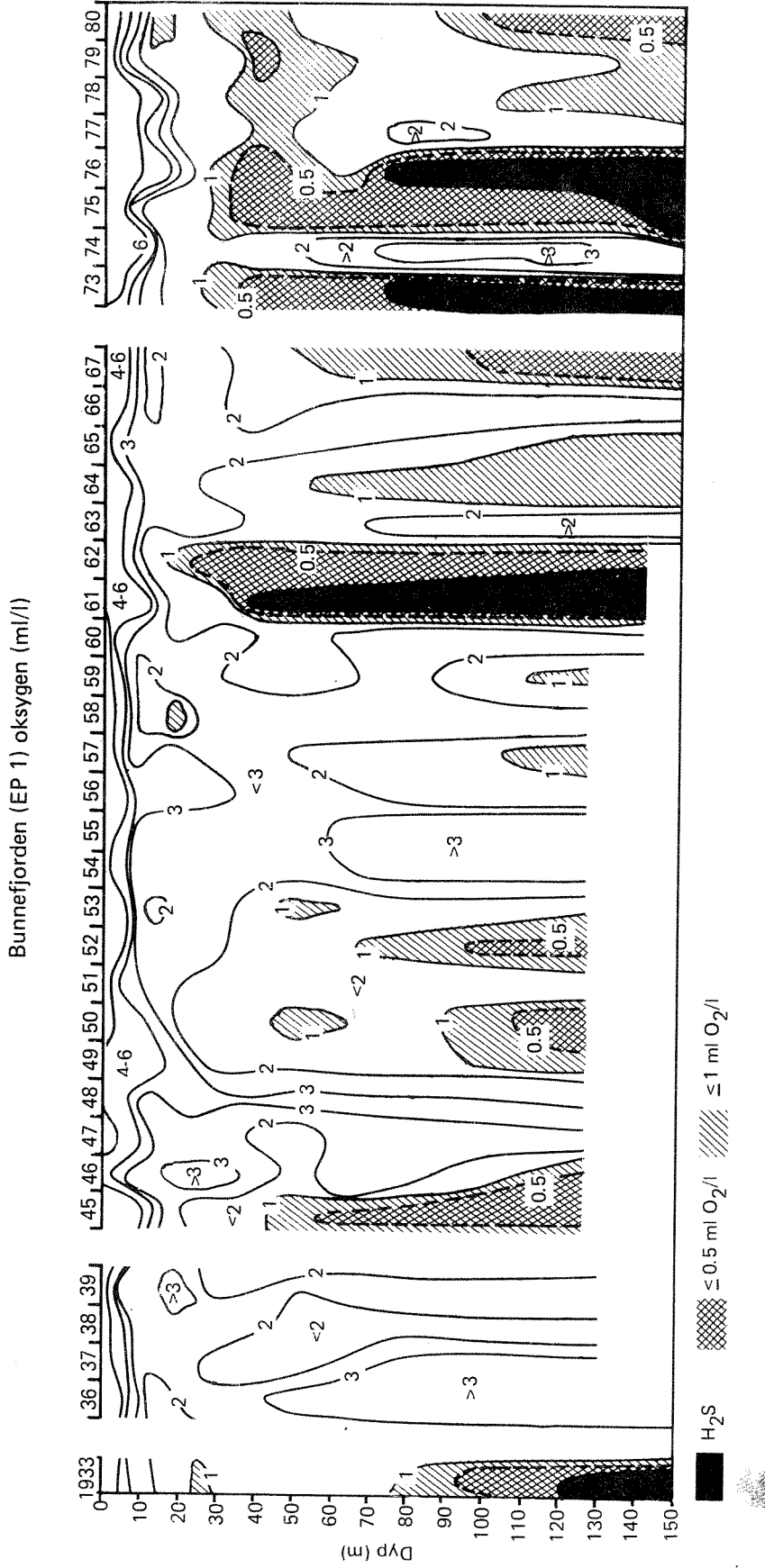


Fig. 21. Oksygenvariasjonen (ml/l) i Bunnefjorden (EP1) i oktober måned 1933, 1936-39, 1945-67 og 1973-80.

Av de faktorer som innvirker på oksygenkonsentrasjonsnivået i fjordens dypvann fremgår vannutskiftningens betydning av tabell 5. Den gjennomsnittlige utskiftningen 1973-76 og 1977-80 har vært omkring  $3.500 - 3.900 \times 10^6 \text{ m}^3$  pr. år, men i den første perioden var variasjonen stor. Allikevel har oksygenkonsentrasjonen i år med usedvanlig stor vannutskiftning slik som i 1974 ikke vært tilsvarende mye større enn i år med moderat vannutskiftning som i 1978-79. Dette kan være en følge av vannutskiftningens størrelse foregående år, men også andre faktorer kommer inn som kloakktilførsel og klimats innvirkning på planteplanktonproduksjonen. Det er en nesten lineær sammenheng mellom vannutskiftningens størrelse 1973-76 og oksygenkonsentrasjonen (korrelasjonskoeff. ca. 0.99), men betydelig dårligere korrelasjon for perioden 1977-80 (korrelasjonskoeff. 0.63). Dette kan innebære at det har skjedd forandringer i klima eller kloakktilførsel og at dette forklarer den dårligere korrelasjonen i perioden 1977-80.

Sett i et lengre tidsperspektiv er imidlertid oksygensituasjonen i indre Oslofjord fortsatt langt fra tilfredsstillende. Figurene 19, 20 og 21 viser utviklingen fra 1933 til 1980 for Vestfjorden og Bunnefjorden i oktober måned. For Vestfjordens del (DK1, Steilene) fant det sted en gradvis forverring som kulminerte med oksygenverdier under 0.5 ml/l i 1973-76. I Bunnefjorden (EP1, Svartskog) er bildet mer uregelmessig, men trenden er den samme med en rekke dårlige år på 70-tallet med hydrogensulfidholdig vann langt opp i vannmassen. Bemerkelsesverdig er det at fra 1977 har oksygenkonsentrasjonen i mellomnivåer (30-50 meters dyp) et lokalt minimum. Det finnes også tidligere tilfeller av lavere oksygeninnhold i dette dypintervall, men bare i kortere perioder. Forklaringen kan være at dårligere forhold i dypvannet gir en dårligere restvannmasse av "gammelt" dypvann som i utskiftningen løftes opp av tyngre innstrømmende vann og at blandingen ikke lenger er nok til å høyne oksygenkonsentrasjonen til samme nivå som tidligere. Men oksygenminimumet kan også være en følge av dypinnlagring av kloakkvann fra f. eks. nordre Follo og Lysakerutslippet.

Forbedringen av oksygenforholdene i Vestfjordens dypvann i 1977-1980 tyder således på en redusert belastning med organisk materiale. Med forbehold for at klimaforholdene kan ha endret forutsetningene for produksjon av biomasse i fjordens overflatelag samt en viss usikkerhet omkring vannutskiftningens effekt, kan den svake økningen av oksygeninnholdet i dypvannet trolig tilskrives rensetekniske tiltak.

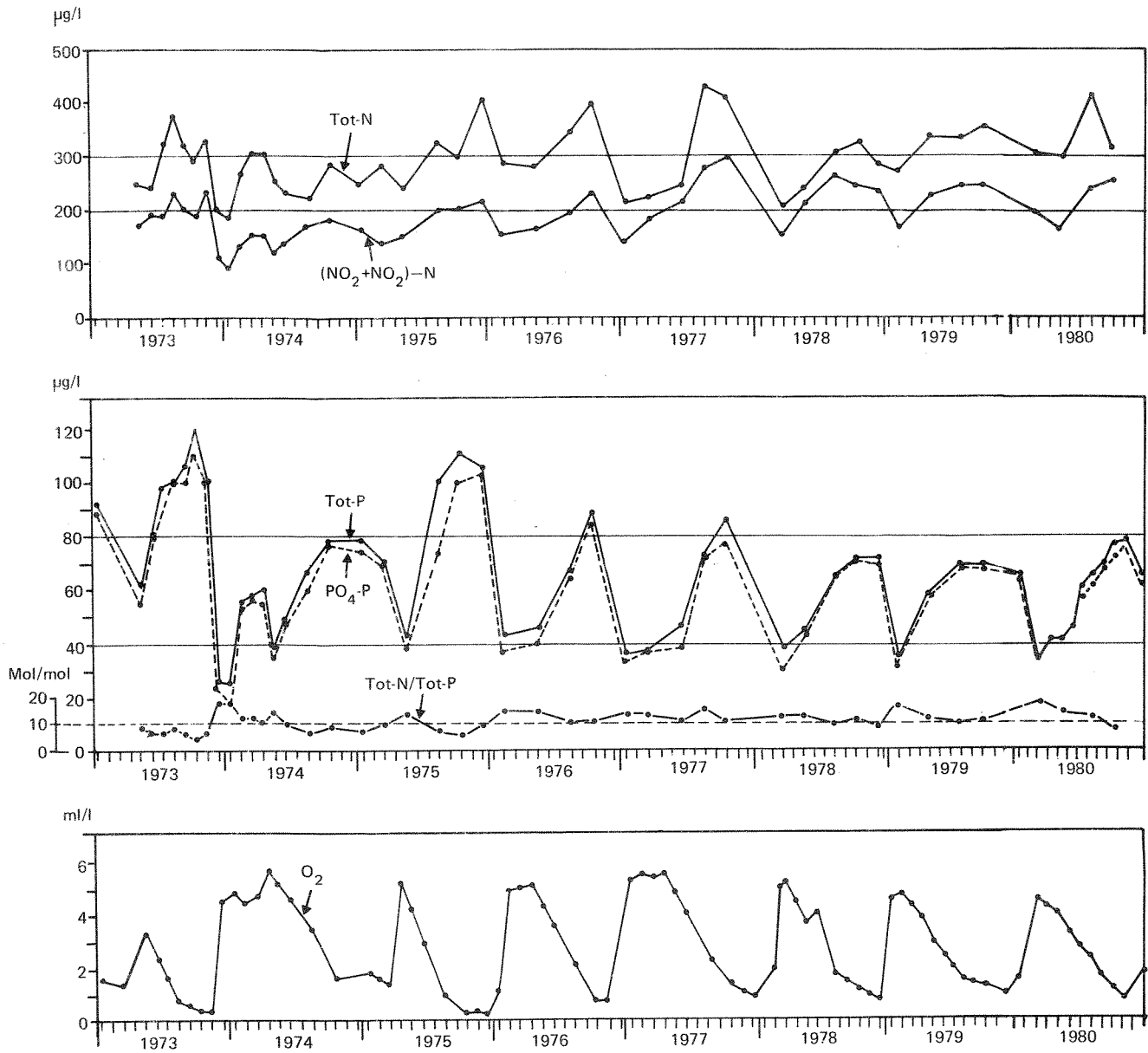


Fig. 22. Variasjonen av total nitrogen, nitrat og nitritt, total fosfor, ortofosfat ( $\mu\text{g/l}$ ) og forholdet total nitrogen/total fosfor ( $\text{mol/mol}$ ), samt oksygeninnholdet ( $\text{ml/l}$ ) i Vestfjorden (DK1) på 80 meters dyp 1973-1980.



## 2.5 Hydrokjemiske observasjoner

Figur 22 viser at totalfosforinnholdet i Vestfjordens dypvann har økt noe i sammenligning med 1978 og 1979. Liksom for oksygeninnholdet innebærer 1980 års observasjoner en liten tilbakegang i den utvikling som begynte i 1976 med tydelig avtagende fosforinnhold og noe økende oksygeninnhold. Fig. 23 viser at konsentrasjonsnivået for orthofosfat også i 1980 lå klart over tidligere observasjoner på bl.a. 60-tallet. Registreringene av totalnitrogen, -nitritt og nitrat styrker den tidligere tendensen til noe økende konsentrasjoner i løpet av 70-tallet (fig. 22), og dette medfører økende nitrogen/fosforforhold som etter 1975 i hovedsak har vært over 10:1 (mol/mol).

## 2.6 Lysakerfjorden

Som tidligere nevnt ble det i 1980 observert et oksygenminimum på ca. 20 meters dyp i Vestfjorden (DK1, Steilene) og i Lysakerfjorden, som kunne skyldes dyputslipp av urensset kloakkvann til Lysakerfjorden. Lysakerutslippet ble etablert i 1977 og skjer på ca. 28 meters dyp.

Anlegget mottar avløpsvann fra ca. 100.000 p.e. Dette innlagres alt etter varierende sjiktningsforhold mellom 16-23 meters dyp. I en undersøkelse i 1978 for Vestfjordens Avløpselskap (NIVA/AF 1978) ble det dosert sporstoff til avløpsvannet på Lysaker renseanlegg som deretter ble observert i fjorden. Et eksempel på den vertikale og horisontale fordelingen av fortynnet avløpsvann fremgår av fig. 24.

Oksygenminimumet på ca. 20 meters dyp kan således være en effekt av utslippets oksygenforbruk. Fig. 25 og 26 viser også forandringer i Lysakerfjorden av totalfosfor, totalnitrogen og nitritt-nitrat. Endelig har vannmassens stabilitet ( $N^2$ ) blitt beregnet hvor

$$N^2 = \frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}$$

der  $\rho$  = sjøvannets egenvekt  
 $z$  = dyp  
 $g$  = tyngdens akselerasjon

Stabiliteten kan sies å være et mål på egenvektsforskjellen mellom ulike vannlag. For oktober måned viser figur 26 at stabiliteten i Lysakerfjordens vannmasse litt over innlagringsdypet har vært større i perioden 1978-80, enn i 1973-77, mens tilsvarende forandringer ikke kan observeres i Vestfjorden. Derimot har

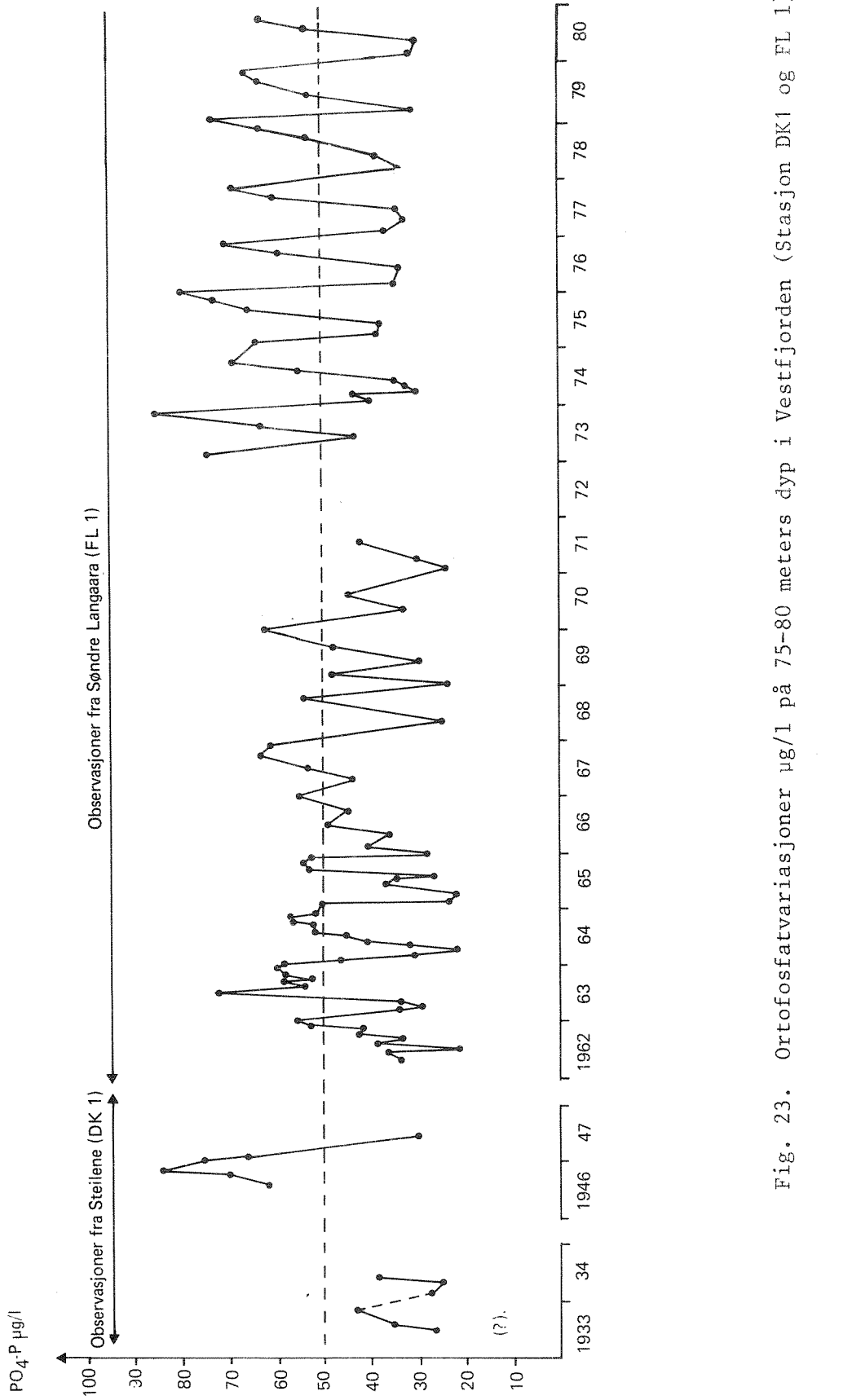


Fig. 23. Ortofosfatvariasjoner  $\mu\text{g/l}$  på 75-80 meters dyp i Vestfjorden (Stasjon DK1 og FL 1)

stabiliteten i Vestfjordens 20-meters-nivå avtatt noe, dvs. sjiktningen er mer homogen fra 20 meters dyp og dypere.

Økt ferskvanntilførsel via et kloakkutslipp på 28 meters dyp vil gi et avgrenset lag på innlagringsdyp mot øvrige vannmasser, dvs. store vertikale gradienter i egenvekten mot omliggende vannmasser og mindre gradienter i selve innlagringsdypet. I Lysakerfjorden er det den store vertikale endring i sjiktningen fra 16 meters dyp og oppover nesten sammenfallende med øvre grense for det lokale oksygenminimumet og de lokale maksimalkonsentrasjoner av fosfor og nitrogen. Den nedre grensen av dette lag er derimot diffus, hvilket er en effekt av innblandingmekanismer og muligens også av prøvetakingsmetoden, dvs. at avstanden mellom de vertikale prøvetakingene innvirker på beregningene (se ligningen). Imidlertid har grenseflaten mellom overflatevann og vann som ligger under 10-20 meters dyp blitt stabilere etter utslippstart i Lysakerfjorden, mens det ikke er skjedd noen tilsvarende forandring i Vestfjorden. Den lavere stabiliteten i Vestfjorden kring 20 meter skyldes nok naturlige variasjoner i vannutskiftningen.

I Lysakerfjorden er reduksjonen i oksygeninnhold på innlagringsnivå alvorlig når den midlere oksygenkonsentrasjonen tidvis ligger nær 1.5 ml/l på sensommeren og høsten. En oksygenkonsentrasjon lavere enn 2 ml/l vil negativt påvirke zooplankton og fisk og ytterligere negative effekter på dyrebestanden vil inntreffe omkring 1 ml/l (Kirkerud 1977). For Vestfjordens del er oksygenminkningen meget moderat og fortsatt ligger nivået omkring 3 ml/l.

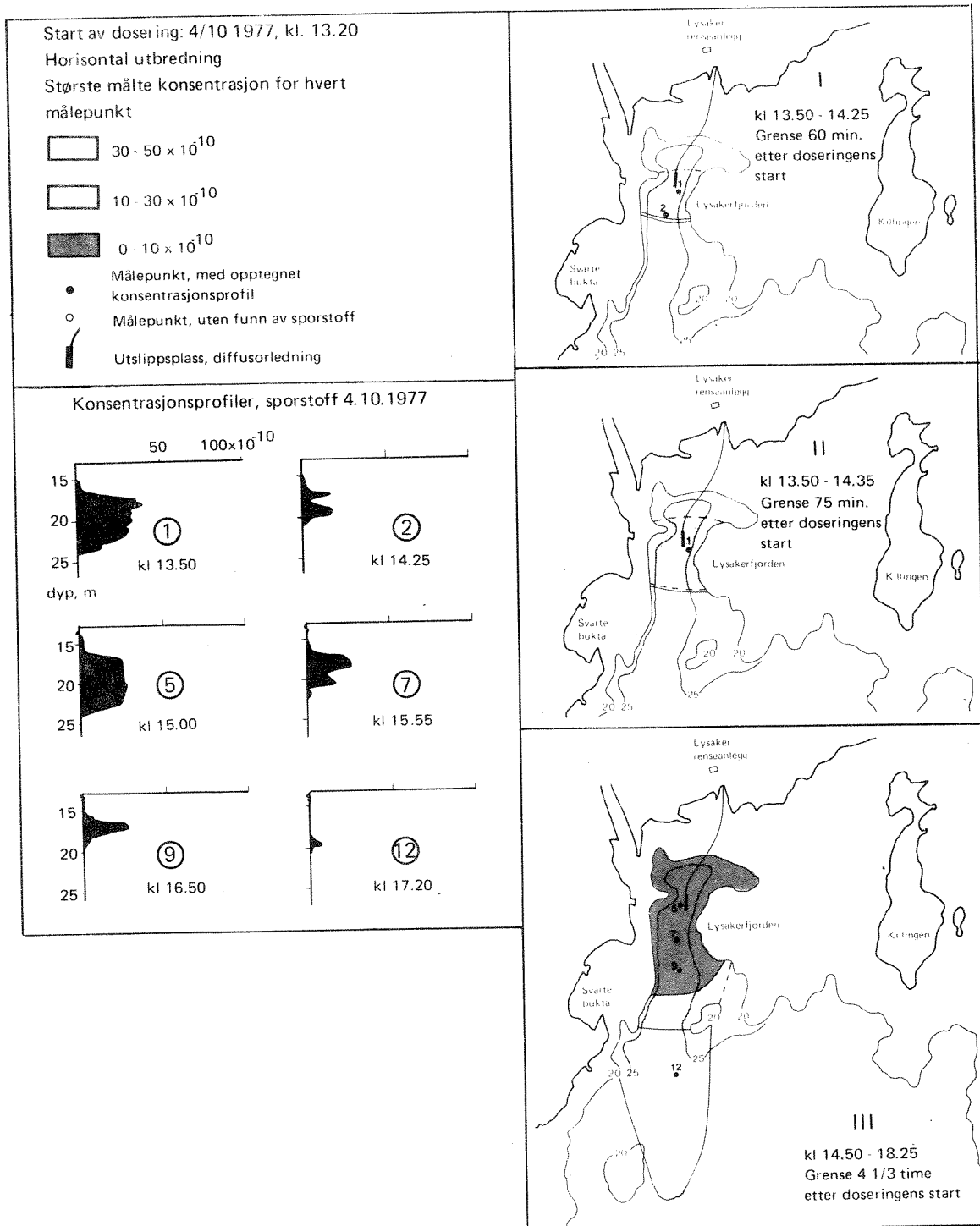
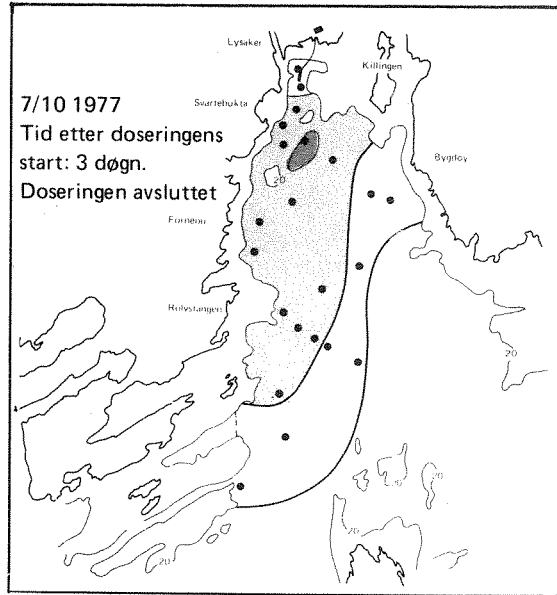
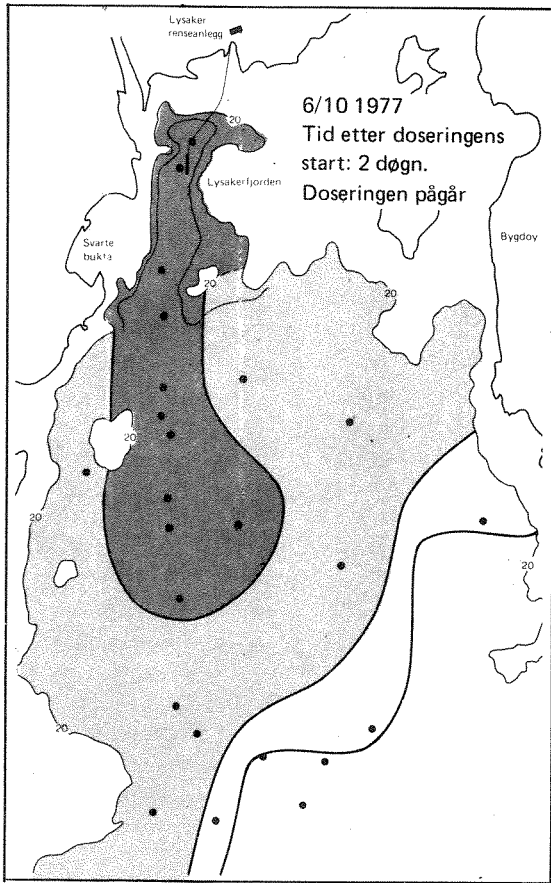


Fig. 24. Spredning av sporstoffmerket avløpsvann fra Lysaker Renseanlegg i Lysakerfjorden.



Diffusorposisjon i Lysakerfjorden (Dybdekoter i meter).

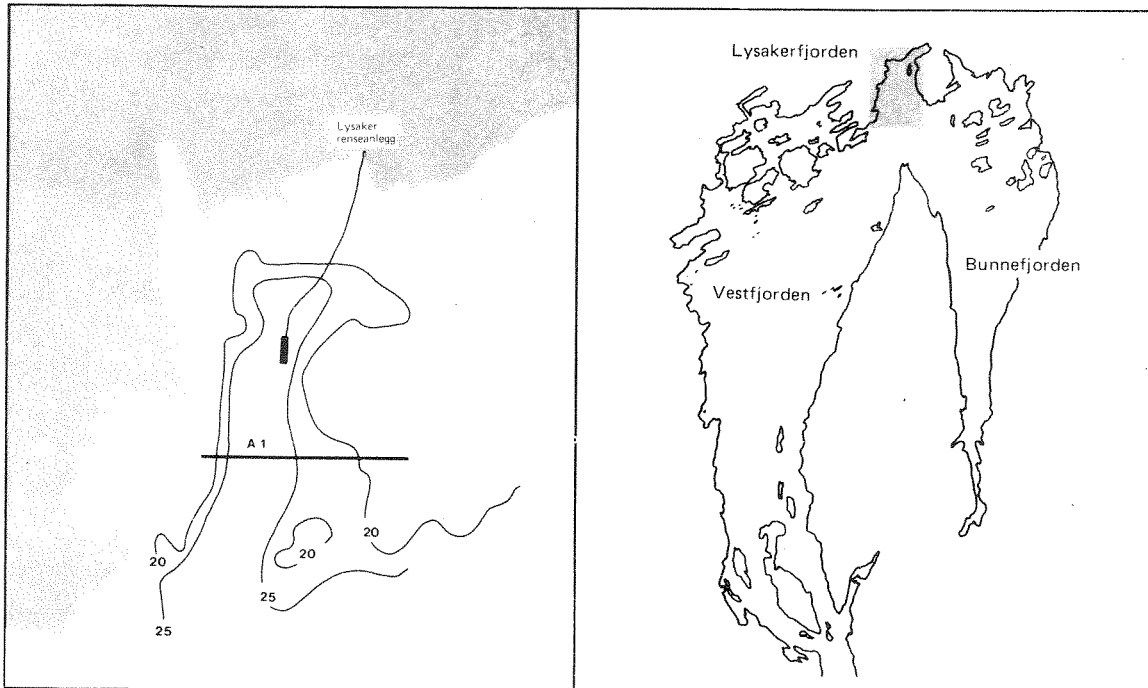


Fig. 24 forts ...

Lysakerfjorden (BN 1)

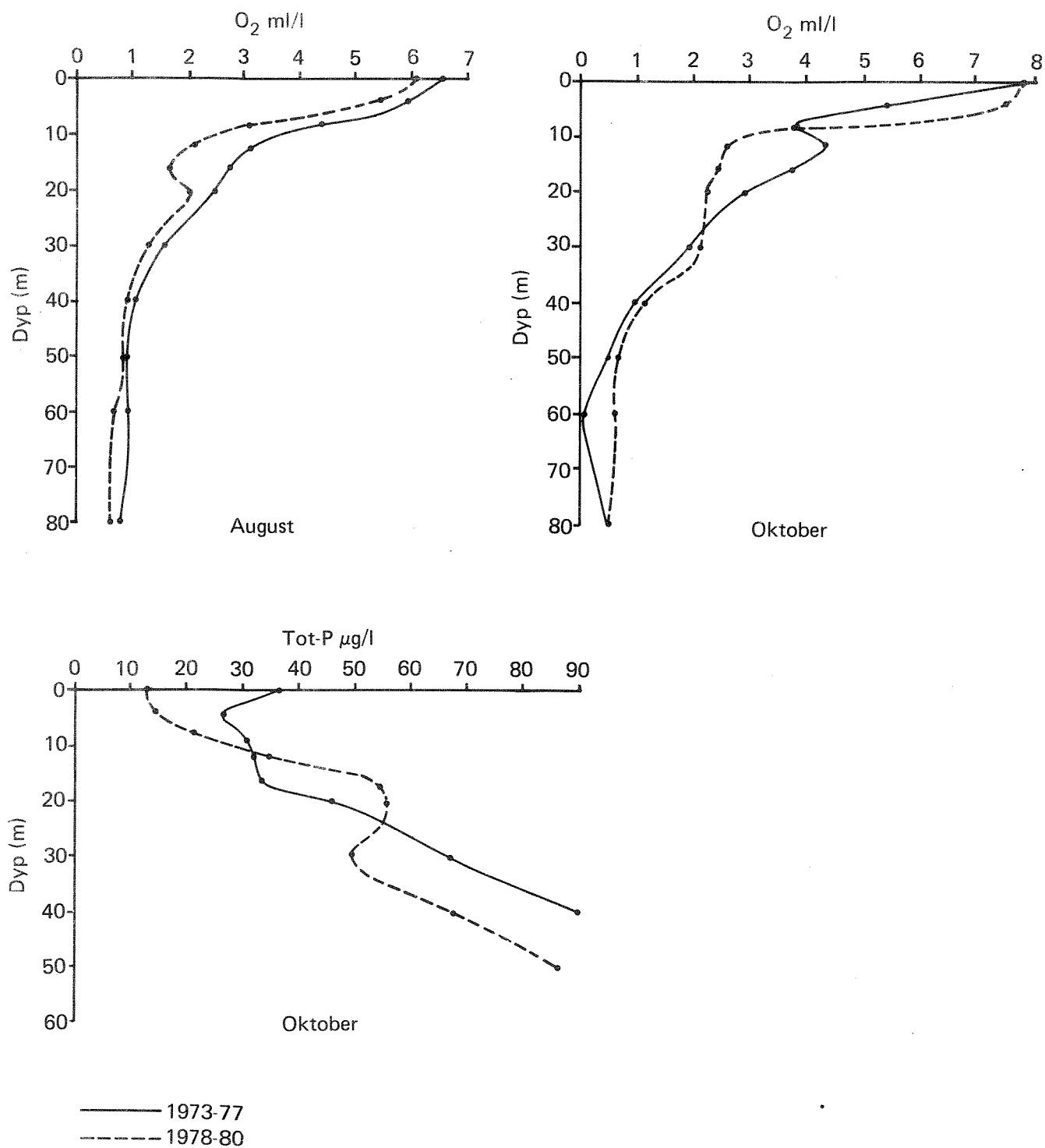


Fig. 25. Middelerdi av oksygen- og totalfosforkonsentrasjon i Lysakerfjorden (BN1) 1973-77 og 1978-80 i august (oksygen) og oktober (oksygen og totalfosfor).

Lysakerfjorden (BN 1)

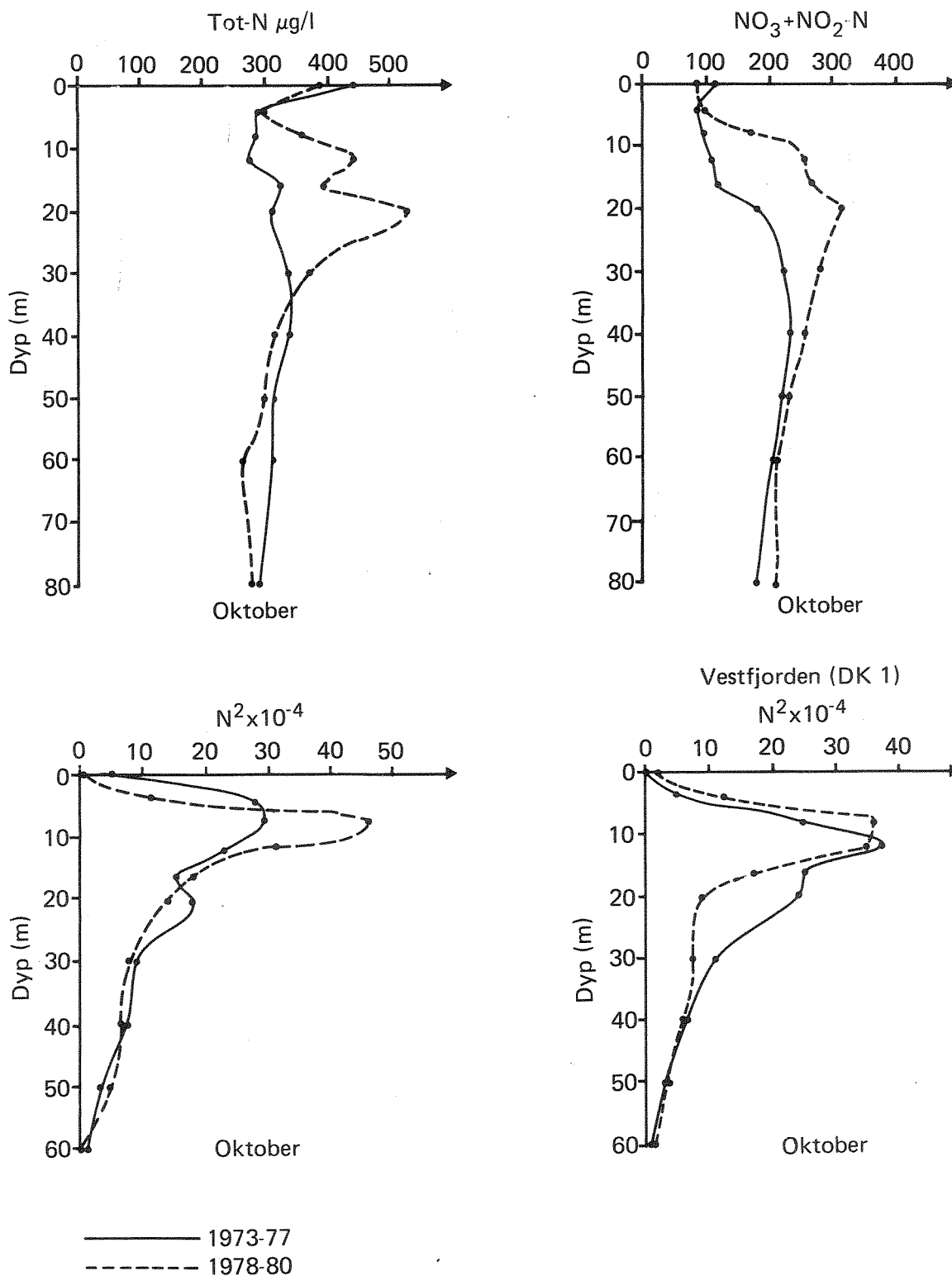


Fig. 26. Middelerdi av total-nitrogen, nitritt og nitrat, samt vannets stabilitet ved Vasilää-Brunt frekvensen i Lysakerfjorden (BN1) 1973-77 og 78-80, samt for Vestfjorden i oktober måned.

## OVERFLATEVANNETS KVALITET, BEDØMT VED SIKTEDYP OG KLOROFYLL

### 3.1 Utviklingen i 1980

Figurene 27, 28, 29 og 30 viser konsentrasjonen av klorofyll a i Bunnefjorden (EP1), Vestfjorden ved Steilene (DK1), ytre del av Lysakerfjorden (BN1) og Havnebassenget (AP2). Utviklingen av overflatevannets klorofyllinnhold gjennom året i et lengdesnitt fra Vestfjorden til Bunnefjorden er fremstilt i figur 31. Siktedypsobservasjonene på de samme stasjonene er vist i figurene 32, 33, 29 og 30.

Ved årets første prøvetaking, 17. januar var siktedypet i Vestfjorden høyt (9,5 m ved Steilene) men minket innover i fjorden til 5 m utenfor Lysakerfjorden (BN1) og 3 m i havnebassenget (AP2). De forholdsvis høye klorofyllverdier som ble observert i desember 1979 var redusert til bare 0,5 µg klorofyll a/1 i Vestfjorden, men i den nordligste delen av fjorden var det fortsatt mellom 5 og 10 µg/1. Bunnefjorden var dekket av is og det ble derfor ikke tatt prøver fra stasjon EP1 i januar.

Ved prøvetakingen i midten av mars var våroppblomstringen i full gang. Klorofyllinnholdet i Vestfjorden og utenfor Lysakerfjorden var ca. 25 µg/1 og siktedypet var redusert til 5,3 resp. 3,5 m. Temperaturen i overflatevannet var på dette tidspunkt - 0,9°C. Årsaken til de høye klorofyllverdiene var store bestander av kiselalger. Dominerende var *Skeletonema costatum* ( $9,6 \cdot 10^6$  celler/1 ved stasjon DK1).

Etter våroppblomstringen fulgte en periode med lite alger i hele indre Oslofjord i april. Dette medførte at siktedypet øket noe på stasjonene DK1 og BN1, mens klorofyllinnholdet sank til under 3 µg/1. I løpet av mai øket klorofyllverdiene igjen og nådde en ny topp i begynnelsen av juni. Den høyeste verdien ble registrert i Bunnefjorden (43 µg klorofyll-a/1), samtidig som siktedypet var 1,4 m. En prøve tatt ved Langvikbukta 3. juni inneholdt  $145 \cdot 10^6$  celler/1 av panserflagellaten *Heterocapsa triquetra* og  $123 \cdot 10^6$  celler/1 av



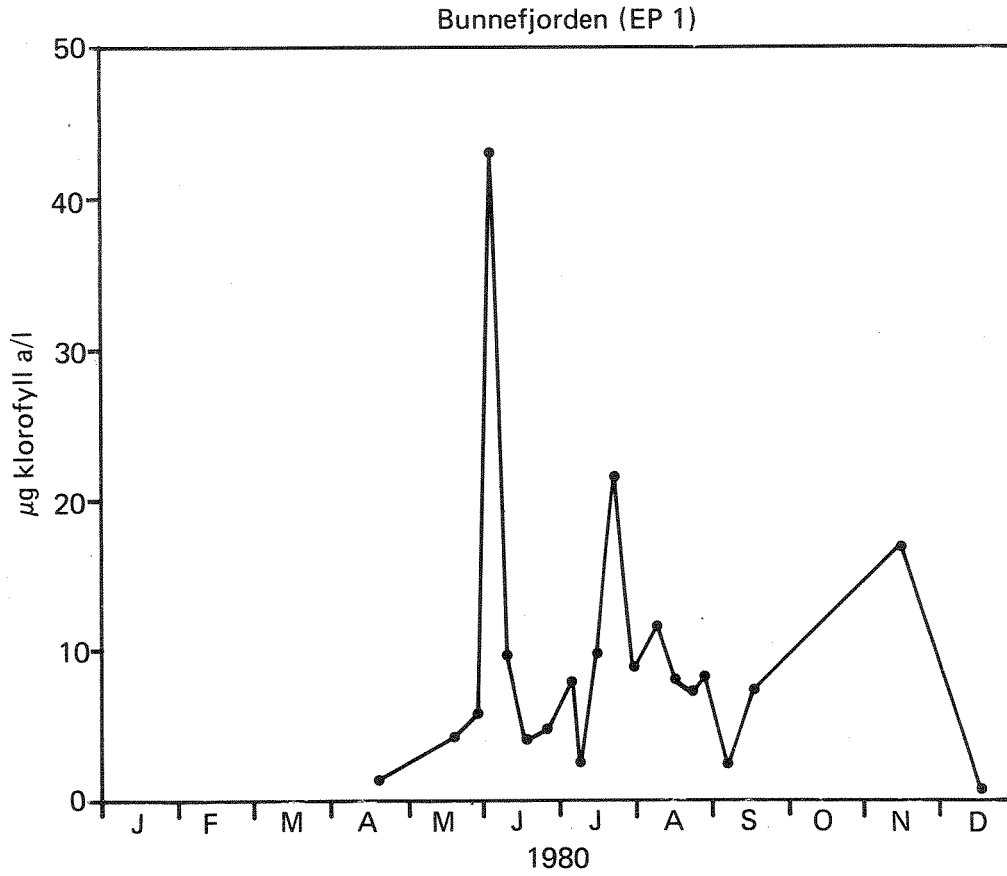


Fig. 27. Klorofyll-a i Bunnefjorden (EP1) 0-2 meters dyp 1980.

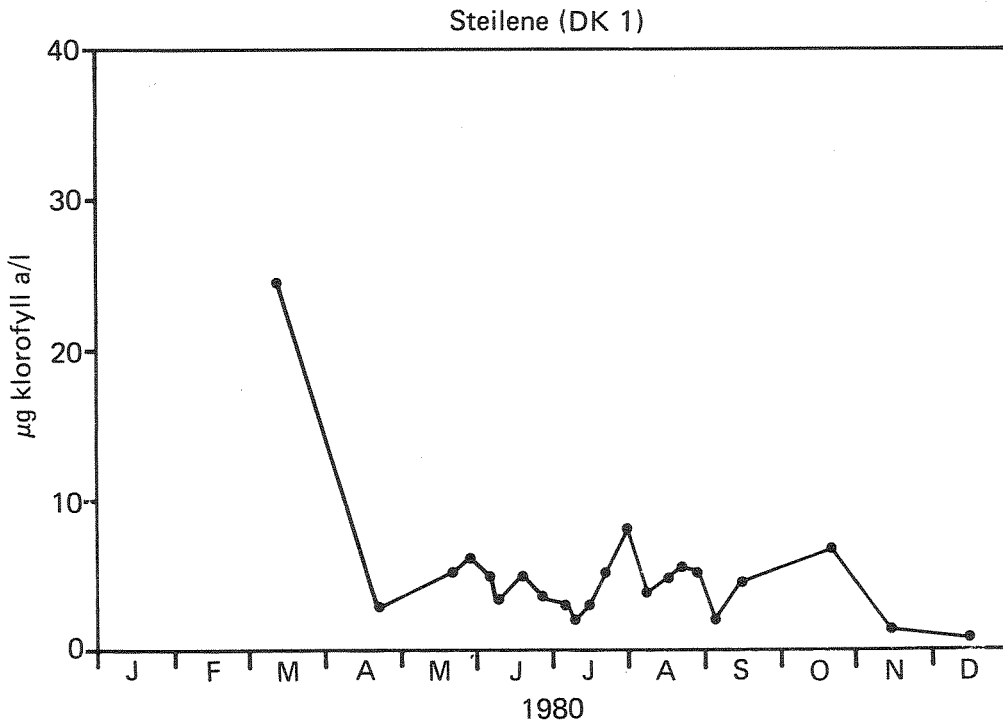


Fig. 28. Klorofyll-a i Vestfjorden (DK1) 0-2 meters dyp 1980.

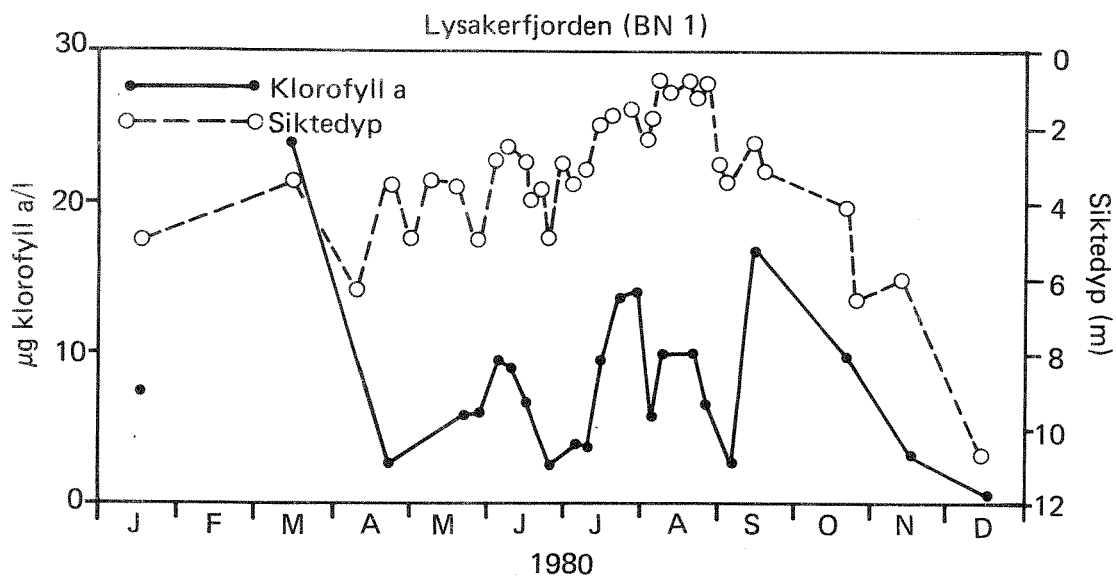


Fig. 29. Klorofyll-a i Lysakerfjorden (BN1) 0-2 meters dyp 1980, samt siktedyb.

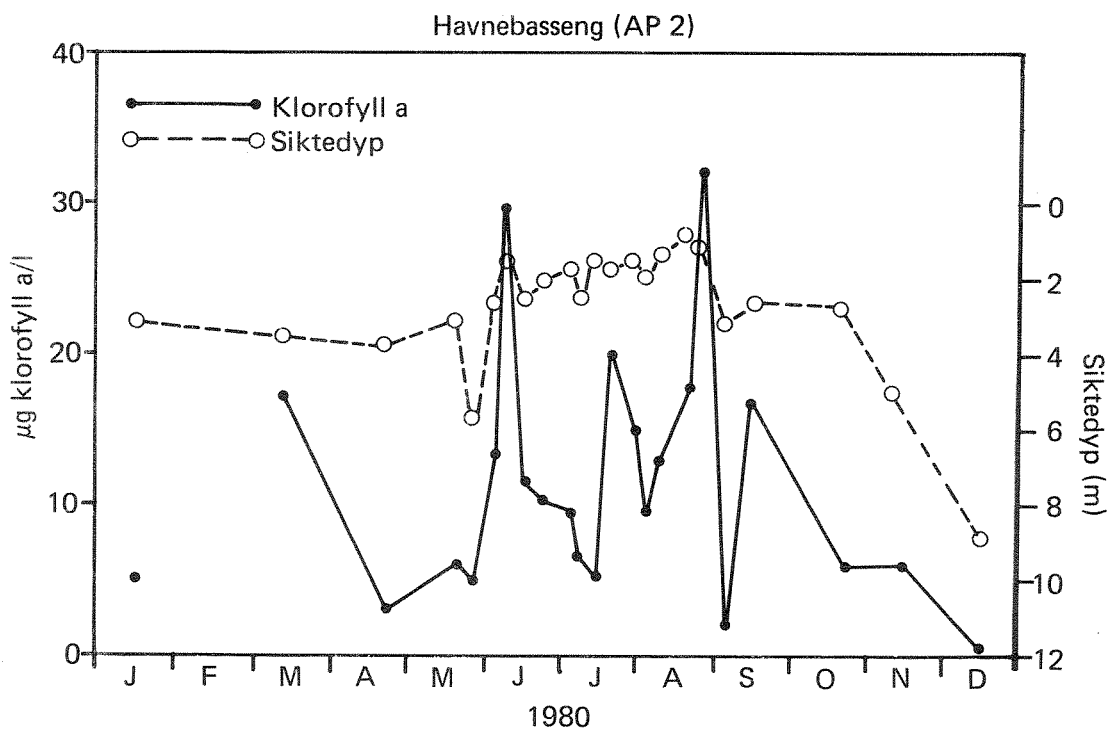


Fig. 30. Klorofyll-a i Havnebassenget (AP2) 0-2 meters dyp 1980, samt siktedyb.

Klorofyll a 1980

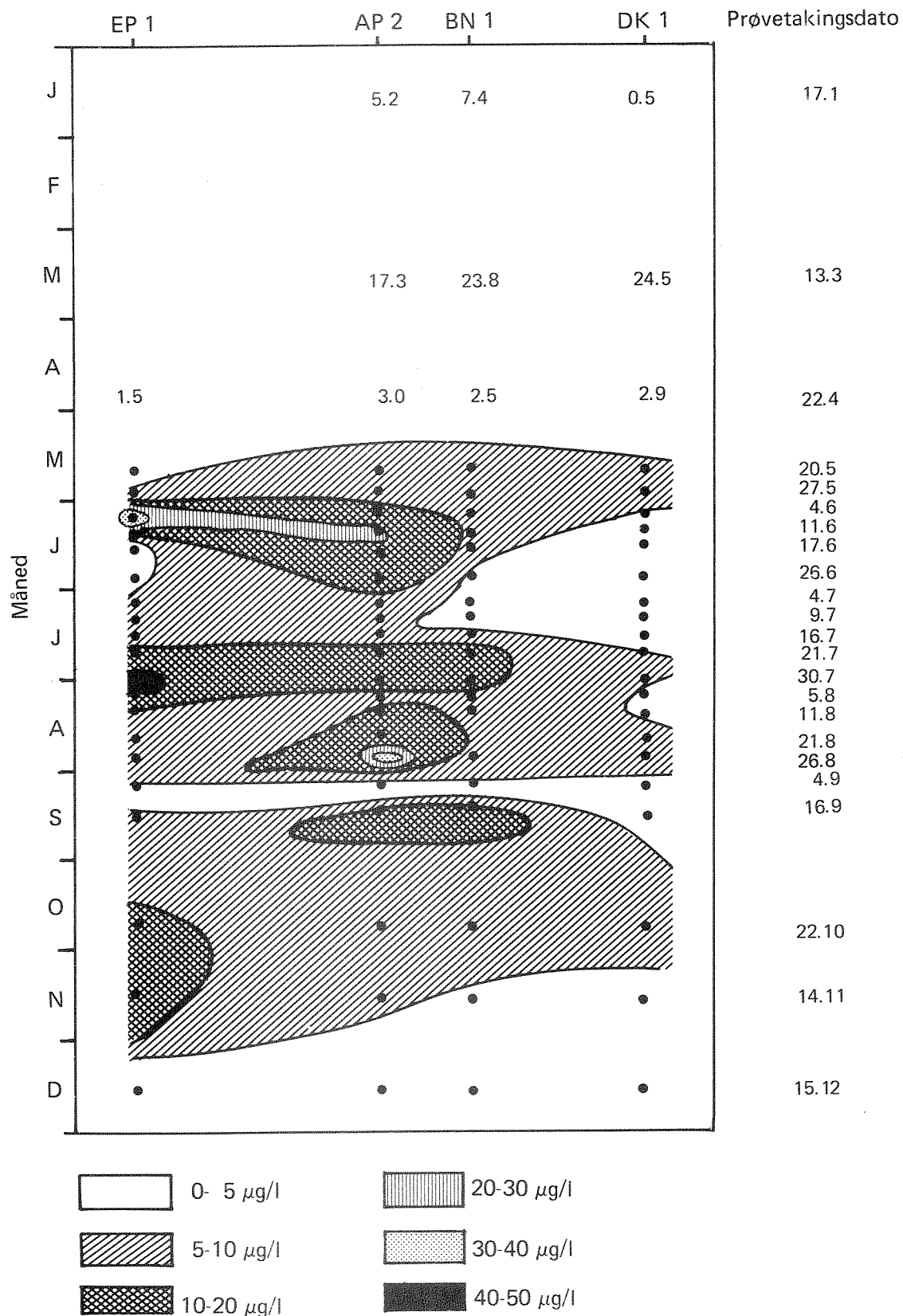


Fig. 31. Klorofyll a i 0-2 meters dyp fremstilt som variasjon over tid for fire stasjoner i indre Oslofjord 1980.

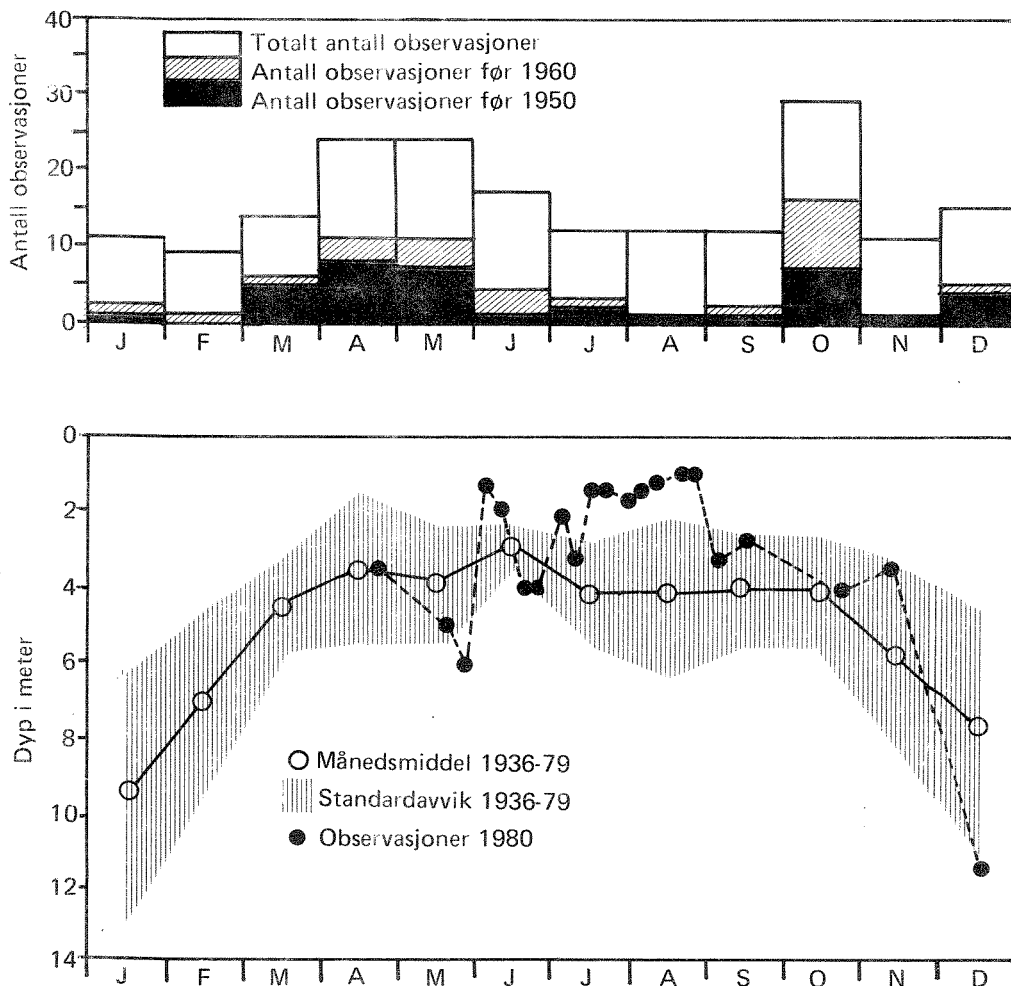


Fig. 32. Siktedyp i Bunnefjorden (EP1) sammenlignet med månedsmiddel og standardavvik av tidligere observasjoner.

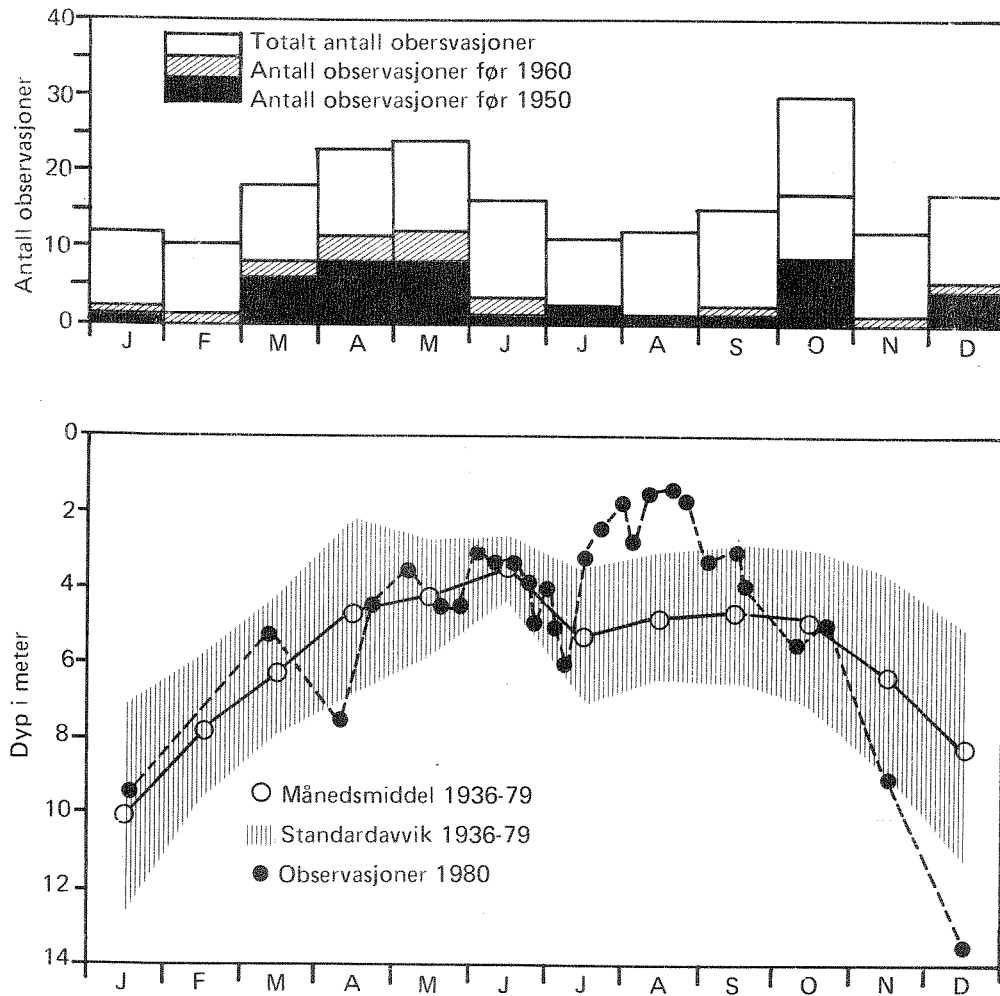


Fig. 33. Siktedyp i Vestfjorden (DK1) sammenlignet med månedsmiddel og standardavvik av tidligere observasjoner.

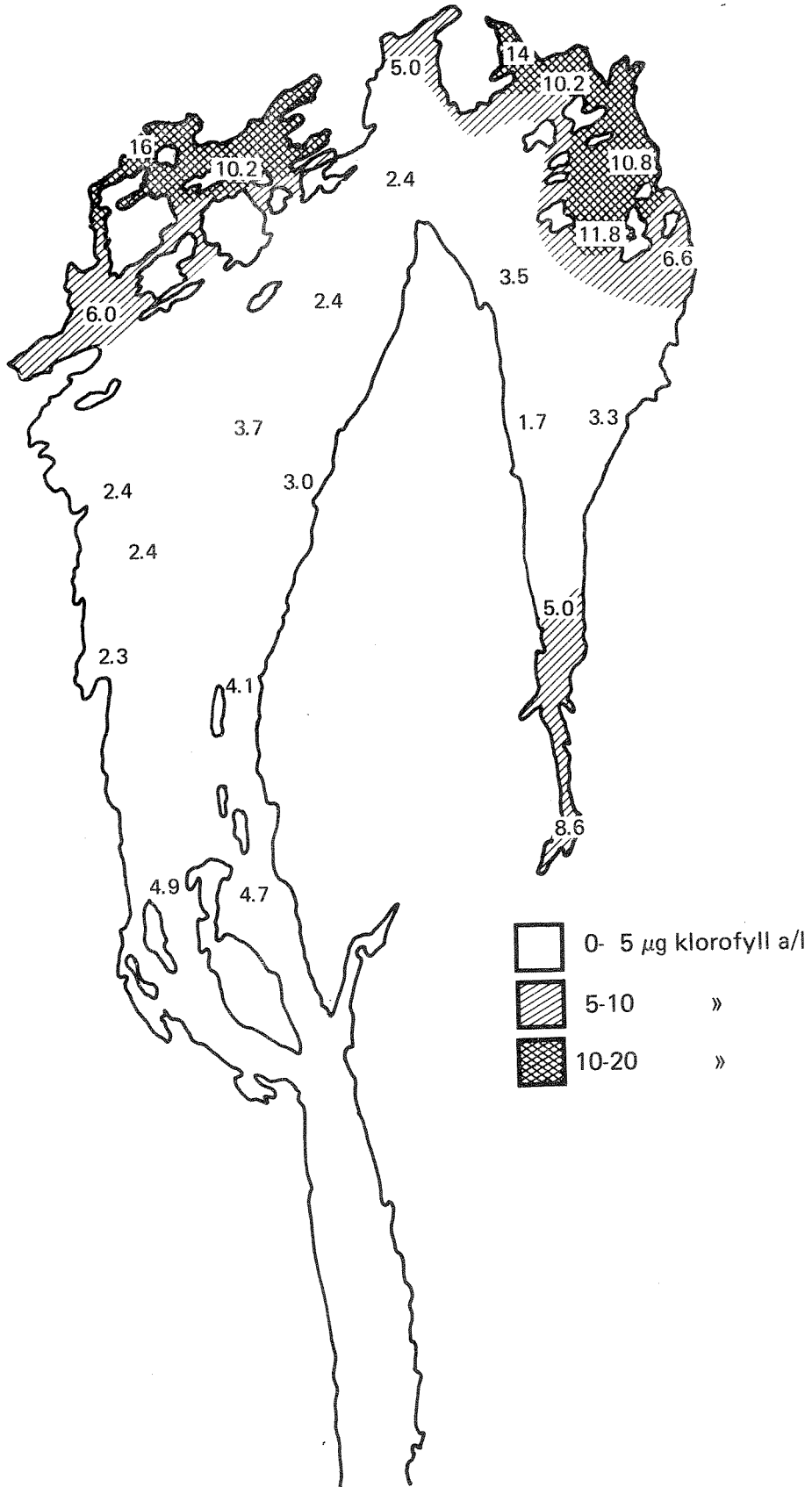


Fig. 34. Klorofyll-a i indre Oslofjord (0-2m) 26.6.1980.

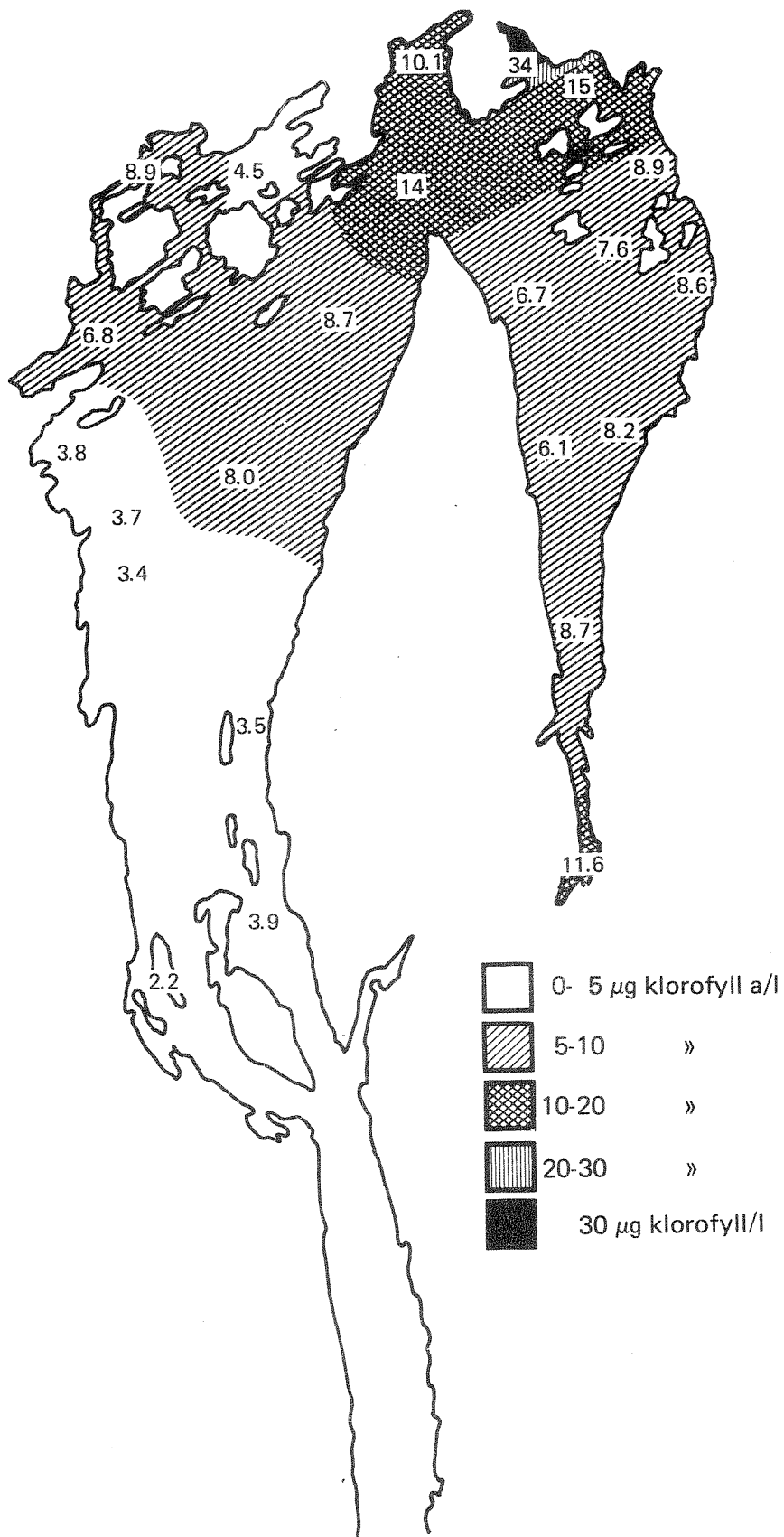


Fig. 35. Klorofylli-a i indre Oslofjord (0-2m) 30.7.1980.

grønnalgen *Fyramimonas* sp. Det var sannsynligvis disse algene som var årsak til de høye klorofyllverdiene i indre delen av fjorden i begynnelsen av juni.

Etter den kortvarige oppblomstringen i begynnelsen av juni i de indre delene av fjorden minket klorofyllinnholdet igjen på samtlige stasjoner til i begynnelsen av juli. Dette sammenfalt med en innstrømming av vann fra ytre Oslofjord. En prøve fra stasjon AP2 i slutten av juni var dominert av meget små alger som til tross for stort antall ikke ga noen høye klorofyllnivåer.

Prøvetakingstoktet 26. juni som omfattet 24 stasjoner viste at klorofyllinnholdet var høyest i området mellom Bygdøy og Bekkelagsbassenget og i Bærumbassenget (se fig. 34). De høyeste verdiene ble registrert i Frognerkilen (14 µg/l) og ved Kalvøya utenfor Sandvika (16 µg/l). I Vestfjorden var det mellom 2,3 og 4,9 µg klorofyll a/l med de høyeste verdiene lengst i sør. Også i Bunnefjorden øket klorofyllinnholdet mot sør.

I begynnelsen av juli øket klorofyllmengdene igjen mot et maksimum i slutten av måneden. Denne gang var det kalk-flagellaten *Emiliana* (*Coccolithus*) *huxleyi* som var hovedkomponenten i algesamfunnet. I havnebassenget, hvor klorofyllinnholdet 21. juli var 20 µg/l var det  $26 \times 10^6$  celler/l av *E. huxleyi*. I en prøve fra ytre Lysakerfjorden 29. juli ble det funnet  $32 \times 10^6$  celler/l av denne algen.

Oppblomstringen av kalkflagellater er en normal foreteelse i kyst- og fjordområder om sommeren og er ikke en indikasjon på spesielt høy forurensningsbelastning.

I midten av juli ble det registrert en lokal oppblomstring ved Neset lengst sør i Bunnefjorden. Vannet var en tid sterkt rødfarget pga. meget høy tetthet av dinoflagellater. En prøve tatt 13. juli inneholdt 11 millioner celler/l av *Ceratium furca* og 9 millioner celler/l av *Ceratium tripos*. Dette er meget høye tall disse artenes størrelse tatt i betraktning.



Den horisontale fordelingen av klorofyll i fjorden viser at algetettheten 30/7 var størst i området nær Oslo (se fig. 35). Den høyeste observasjonen her var 34  $\mu\text{g}$  klorofyll a/l i Frognerkilen. Ut over mot Vestfjorden minket klorofyllinnholdet gradvis til 8  $\mu\text{g}/\text{l}$  på stasjon DK1. Et skille mellom det forholdsvis klorofyllrike vannet i den indre delen av fjorden og overflatevann med lavere klorofyllinnhold gikk mellom Konglungen og Steilene. På stasjonene sør for denne linje var klorofyllkonsentrasjonen 2-4  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

Oppblomstringen av kalkflagellater førte som vanlig til en sterk reduksjon av siktedypet. Dette skyldes den lysspredende virkningen av de små kalkskjell som algene produserer. Perioden med lave siktedyp varte helt frem til slutten av august. I havnebassenget var siktedypet mellom 0,9 og 1,8 m fra slutten av juli til slutten av august, men også i Bunnefjorden og Vestfjorden ble det målt siktedyp på ned til 1 m og 1,4 m respektive. Temperaturen i overflatevannet (0-2 m) var i denne perioden 19-21°C.

I månedsskiftet august-september skjedde en forandring av forholdene i overflatevannet i hele indre Oslofjord. Siktedypet øket til 3 m eller mer på alle de fire hovedstasjonene den 4. september. Samtidig var klorofyllnivåene meget lave (2-2,5  $\mu\text{g}$  klorofyll a/l). Dette henger sammen med en utskiftning av overflatevannet som skjedde i månedsskiftet august/september (kfr. fig. 3/4 og tabell 4). Senere i september økte klorofyllkonsentrasjonene igjen, mest i den indre delen av fjorden og siktedypet sank noe.

Ut over høsten viser klorofyll- og siktedypsobservasjonene en nedgang i algemengdene i Vestfjorden, Lysakerfjorden og Havnebassenget, men kortvarige oppblomstringer kan ha skjedd mellom prøvetakingene. I Vestfjorde- var det ingen nedgang i algemengden før i slutten av oktober og i Bunnefjorden var klorofyllkonsentrasjonen forholdsvis høy til midt i november. Ved prøvetakingen 14. november var det 17  $\mu\text{g}$  klorofyll a på stasjon EP1 i Bunnefjorden mot bare 1,5  $\mu\text{g}$  på DK1 i Vestfjorden.

I midten av desember var det meget lite alger i indre Oslofjord. Klorofyllkonsentrasjonen var ca. 0,5 µg/l på de fire hovedstasjonene, og siktedypet varierte fra 8,5 m på stasjonen i havnebassenget til 13,5 m i Vestfjorden.

Om klimaforhold som kan ventes ha betydning for algeutviklingen kan nevnes at totalinnstrålingen for alle månedene mars-september var høyere enn normalt (se fig. 2). Når det i denne perioden ikke ble registrert spesielt høyt klorofyllinnhold, kan det tyde på at de naturlige variasjoner i lysforhold har liten innvirkning på plankton-tettheten i overflatevannet i vekstsesongen. En høyere innstråling vil imidlertid medføre at den eufotiske sonen (hvor fotosyntese foregår) blir dypere slik at den totale produksjonen kan øke.

Lufttemperaturen i Oslo var lavere enn normalt i februar, mars, oktober og november (se fig. 2). I den mellomliggende perioden var avvikene fra det normale små, men i april-juni var temperaturen 1-2 ° høyere enn normalt. Overflatevannets (0-2 m) temperatur var også lavere enn de foregående år i mars. Klorofyllverdiene i mars viser at våroppblomstringen var begynt til tross for at temperaturen i overflatevannet var under 0 °C.

I sommerperioden var temperaturen høy i midten av juni, men sank sterkt i slutten av måneden pga. innstrømming av kaldere vann fra ytre Oslofjord. I juli og frem til midten av august, dvs. perioden med størst forekomst av *Emiliana huxleyi* var temperaturen i overflate-laget forholdsvis høy (19-22°).

### 3.2 Sammenligning med tidligere år

I figur 32 og 33 er siktedypsobservasjonene i 1980 sammenlignet med tidligere observasjoner fra 1936-1979 i Vestfjorden (Stasjon DK 1) og Bunnefjorden (Stasjon EP 1). Det mest påfallende trekk ved utviklingen i 1980 var den lange perioden med uvanlig lavt siktedyp i juli og august som går igjen på begge stasjoner. Årsaken var den nevnte oppblomstring av kalkflagellaten *Emiliana huxleyi*. Ut over høsten øket siktedypet og ble mot slutten av året større enn normalt i Vestfjorden.

I tabell 6 er gjennomsnittlig klorofyllmengde og siktedyp for de fire hovedstasjonene i perioden 26. juni - 26. august vist. Gjennomsnittverdier er beregnet ved å ta gjennomsnittet av to tokt etter hverandre og multiplisere med antall dager mellom toktene, legge sammen disse tallene for hele perioden og dividere med antall dager i perioden). Klorofyllinnholdet var sommeren 1980 lavere enn i samme periode de to foregående år på stasjonene DK 1, BN 1 og AP 2. På stasjon EP 1 var derimot det gjennomsnittlige klorofyllinnholdet noe høyere i 1980. Imotsetning til de foregående årene var klorofyllinnholdet på stasjon EP 1 også høyere enn på stasjon BN 1. Samtidig som siktedypet var lavere. Dette tyder på at planktontettheten i Bunnefjorden var forholdsvis høy sommeren 1980. Til tross for de forholdsvis lave klorofyllnivåene var de gjennomsnittlige siktedypene sommeren 1980 meget lave på alle stasjonene. Dette har sammenheng med sammensetningen av planteplankton. *Emiliana huxleyi* forårsaker som tidligere nevnt en spredning av lyset som gir vannet et blakket melkeaktig utseende og sterkt redusert siktedyp. Oppblomstringen av *E. huxleyi* er vanlig i Oslofjorden om sommeren. I 1979 skjedde en slik oppblomstring i slutten av august. De høyeste registrerte tetthetene av *E. huxleyi* i 1980 (ca.  $30 \cdot 10^6$  celler/l) var lavere enn i 1979 og ved oppblomstringen i juli-august 1974.

Tabell 6. Gjennomsnittsverdier for klorofyll og siktedyp fra 20. juni til 29. august 1980 sammenlignet med foregående år. Gjennomsnittsverdiene er beregnet ved å ta gjennomsnittet av to tokt etter hverandre og multiplisere med antall dager mellom toktene, legge sammen disse tallene for hele perioden og dividere med antall dager i perioden.

STASJONER	Klorofyll a			Siktedyp		
	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Vestfjorden (DK1)	5.7	6.4	4.5	4.6	4.0	2.9
Bunnefjorden (EP1)	7.9	8.8	9.3	4.1	3.0	1.8
Lysakerfjorden (BN1)	10.9	12.1	8.5	3.5	3.0	2.1
Havnebassenget (AP2)	15.8	16.6	13.1	2.8	2.2	1.6

### 3.3 Giftige planktonalger i 1980

De to giftige dinoflagellatene *Gonyaulax excavata* og *Prorocentrum minimum* ble observert i Oslofjorden også i 1980. Imidlertid var bestandene små, og det ble ikke registrert alarmerende giftmengder i blåskjell og andre matskjell (personlig meddelelse fra Byveterinæren i Oslo).

*Gonyaulax excavata* ble funnet i håvtrekkmateriale både på forsommeren og i august. Denne arten synes å være tilstede i planktonet hvert eneste år i april-mai. Det vil altså være en utgangsbestand tilstede for eventuelle oppblomstringer i denne perioden. Vi vet foreløpig ikke hvor store konsentrasjoner av *Gonyaulax excavata* må være for at matskjellene skal begynne å akkumulere giftstoffene fra algen. *Gonyaulax excavata* finnes imidlertid i kultur ved Avd. marin botanikk, Universitetet i Oslo, slik at det kan igangsettes foringsforsøk med skjell for om mulig å finne ut hvor lave de kritiske konsentrasjonene av algen er.

Oppblomstringen av *Prorocentrum minimum* i 1979 var den første kjente forekomsten av denne arten i våre farvann (Tangen, 1980). Vi kan nå konstatere at *Prorocentrum Minimum* synes å ha etablert seg i Oslofjorden. I 1980 ble arten observert i håvtrekkmateriale fra indre fjord i hele perioden fra mai til senhøstes, men i små mengder.

Det er fortsatt endel usikkerhetsmomenter knyttet til forholdet mellom denne arten og skjellforgiftning. De to giftstoffene (venærupin) som er kjent fra *Prorocentrum minimum* i Japan, er ennå ikke påvist fra denne arten i Europa. Imidlertid kjenner man til en rekke tilfeller av skjellforgiftning i Nederland, Vest-Tyskland og Portugal knyttet til forekomsten av *Prorocentrum minimum*. Også denne arten holdes i kultur ved Avd. marin botanikk, slik at muligheten er tilstede for foringsforsøk og giftstoffanalyser.

*Gyrodinium aureolum* som også er en dinoflagellat, var årsak til endel tilfeller av fiskedød langs kysten av Sør-Norge i 1966 og 1976. Denne arten har vært et regelmessig innslag i planteplanktonet i Oslofjorden siden 1976. Forholdsvis store bestander (inntil 5,5 mill. celler pr. liter) ble observert i indre fjord i 1977. I 1980 ble *Gyrodinium aureolum* funnet i håvtrekkmateriale i hele sommerperioden, men i likhet med de to forannevnte artene bare i små mengder. Inntil utgangen av 1980 har det ikke vært rapportert om fiskedød i Oslofjorden i forbindelse med *Gyrodinium aureolum*.