

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 8

VURDERING AV NÆRINGSSALTENES KJEMI

av

**Ernst Føyn**

Institutt for Marin Biologi avd. C,

Universitetet i Oslo

OSLOFJORDPROSJEKTET  
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

Redaksjonen avsluttet mars 1967

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side:
FORORD	3
1. INNLEDNING	4
2. JERN	5
3. SILISUM	6
4. NITROGEN OG FOSFOR	6
5. NITROGEN	7
6. FOSFOR	11
7. SAMMENDRAG OG DISKUSJON	17

TABELLFORTEGNELSE:

1. $\text{NO}_3$ - N $\text{mg/m}^3$ i Oslofjorden 1964 - 65	9
2. $\text{PO}_4$ - P $\text{mg/m}^3$ i Oslofjorden 1962 - 65	13
3. O - P, $\text{NO}_3$ - N og $\text{O}_2$ -konsentrasjonene på st. Bn 1 i Oslofjorden sommermånedene 1965	16

FIGURFORTEGNELSE:

1. Målestasjonenes beliggenhet
2. Eksempel på isopletdiagram
3. Nitratverdier som funksjon av årstid, stasjon og dyp basert på observasjoner i 1965
- 4 a, b, c. Gjennomsnittsverdier på forskjellige stasjoner for nitrat - nitrogen, totalfosfat - fosfor og oksygen i undersøkelsesperioden
5. Ortofosfat som gjennomsnitt av dypene 1, 4 og 8 m over alle år for stasjonene: Dp 99, Bn 1, Fl 1 og Im 99
6. Ortofosfatverdier som funksjon av årstid, stasjon og dyp basert på observasjoner i 1965
7. Sammenhengen mellom ortofosfat og den inverse turbiditet. Basert på stasjon Bn 1 1965
8. Ortofosfat- og totalfosfat-verdier i dyplagene som funksjon av årstid. Basert på stasjon Bn 1
9. Ortofosfat- og totalfosfat-verdier i dyplagene som funksjon av årstid. Basert på stasjon Fl 1
10. Variasjoner i partikulært fosfat på stasjon Bn 1 gjennom året 1965
11. Variasjoner i partikulært fosfat på stasjon Fl 1 gjennom året 1965

F O R O R D

Denne artikkelen er skrevet som et bidrag til beretningen om den undersøkelse av Oslofjordens forurensning som i årene 1962-65 er gjennomført i Norsk institutt for vannforsknings regi, og som er finansiert av kommunene som støtter til indre Oslofjord.

Rapporten behandler resultater for kjemiske analyser av vannprøver fra forskjellige stasjoner i Oslofjorden gjennom perioden 1962 - 65.

De kjemiske analyser er utført ved Norsk institutt for vannforskning, og prøveprogrammet ble satt opp under hensyntagen til de tekniske og praktiske muligheter som forelå til enhver tid, og med bakgrunn i undersøkelser som tidligere er foretatt ved Institutt for marin biologi.

Oslo, februar 1967.

Ernst Føyn

## 1. INNLEDNING

Kloakkvann som føres ut i en resipient forurenses vannet på forskjellige måter. Ved at innholdet av oppløst og uoppløst materiale blir spredt ut i resipientens vannmasser gjøres disse uestetiske og uhygieniske. Kloakkvannets innhold av organisk materiale, som også er spredt ut i vannmassene, er utsatt for biokjemiske nedbrytningsprosesser, og forbruker oksygen under nedbrytningen. Dette kan føre til annoxiske tilstander i resipientvannet. Denne primære forurensning kan følges av en sekundær som skyldes kloakkvannets innhold av plantegjødningsstoffer. Når forholdene ligger til rette for det, induserer disse stoffer en unormal plantevekst i resipienten og dermed en ekstra tilførsel av organisk stoff, og øker oksygenforbruket i de vannlag der fotosyntesen ikke pågår. Ofte kan denne sekundære forurensningsform være dominerende. Arten av de gjødningsstoffer som kan påvirke planteveksten, er avhengig av hvilke stoffer som allerede finnes i resipienten.

I en sjøvannsresipient vil en rekke av de stoffer som planter trenger for oppbygningen av sitt cellemateriale allerede rikelig være til stede som bestanddeler av sjøvannssaltet. Dette gjelder forbindelser og ioner av natrium, kalium, magnesium, kalsium og svovel foruten hovedelementet i fotosyntesen, karbondioksyd. Andre stoffer kan imidlertid finnes i så små mengder at de godt kan tenkes å være minimumsfaktorer som regulerer planteveksten der.

Det er først og fremst forbindelser av nitrogen og fosfor, dernest av silisium og jern. Hormoner og vitaminer kan sikkert i enkelte tilfeller være aktive og føre til øket plantevekst i en resipient, likesom giftstoffer kan bidra til å hindre den. Men disse faktorer antas å være av underordnet betydning i en sjøvannsresipient som vesentlig tilføres husholdningskloakk. De har derfor ikke vært tatt med i Oslofjordundersøkelsen.

Det kjemiske arbeidet har her først og fremst konsentrert seg om å studere variasjonene av vannets innhold av ortofosfat, senere også av total fosfor, av forskjellige nitrogenforbindelser, såvel som jern og silisium. De kjemiske analyser er både tidkrevende og kostbare. Man har måttet avstå fra å gjennomføre analyser av prøver fra hele det stasjonsnett som ble lagt opp i Oslofjordprosjektet. Men det er ment at analyser fra hovedstasjonen langs midten av fjorden, samt stasjoner i Bekkelagsbassenget, Oslo havn og Bærumsbassenget, vil gi et tilstrekkelig korrekt bilde av forholdene og et riktig grunnlag for vurdering av de kjemiske stoffers betydning for fjordens planteproduksjon. Stasjonenes beliggenhet er vist på fig. 1.

Analysene som er gjennomført, fordeler seg da på følgende måte: Ortofosfat - hele perioden fra 1962 til 1965, totalfosfat - fra mars 1965 og ut året, nitrat-nitrogen - fra mars 1964 og ut året 1965, silisium - mars-desember 1965, totaljern - fra høsten 1964 og ut 1965. I denne delrapporten vil analyseresultatene bli gjengitt, og det vil bli forsøkt foretatt en vurdering av de forskjellige resultater og deres betydning for forståelsen av planteveksten i fjorden.

## 2. JERN

Jern er et av de grunnstoffer som er nødvendig for oppbygning av levende celler. En økning av jerninnholdet i vann kan under visse omstendigheter føre til øket vekst. Dette er blant annet vist av Harvey. Ved tilsetning av nyutfelt jernhydroksyd til jernfattig vann kunne han vise en øket vekst hos forskjellig diatomé-kultur (se også delrapport 10). Jern i friskt sjøvann må på grunn av hydrolyse vesentlig forekomme som partikulært jernhydroksyd, og der det er fosfat, også som jernfosfat.

Senere års undersøkelser tyder imidlertid på at betydelige mengder jern kan holdes oppløst som komplekser av organiske molekyler. Jern forekommer i vann i to oksydasjonstrinn som tre- og toverdige jernforbindelser. Tre-verdige jernsalter vil, når de løses i vann som ikke er særlig surt, hydrolysere og felles ut som hydroksyd eller tre-verdig jernfosfat. Blir vannet annoxisk, vil det tre-verdige jern overføres i to-verdig form og igjen gå i oppløsning og ha muligheten for å komme inn i den produktive del av vannmassene igjen.

Det foreligger hittil bare spredte observasjoner over jerninnholdet i vann i Oslofjorden, og de undersøkelser som nå er utført, er de eneste som kan gi et bilde av jerninnholdets variasjoner i fjorden. Resultatene er ført opp i hovedtabellen og dessuten gjengitt i års-isopletdiagrammene for de enkelte stasjoner (delrapport 17). Jerninnholdet er gitt som totaljern, og varierer stort sett mellom 10 og 100 mikrogram pr. liter.

Sammenliknes disse verdier med jerninnholdet i oseaniske vann, er det tydelig at det må finne sted en betydelig tilførsel av jern og jernforbindelser til fjordvannet, enten det kommer med elvevannet, kloakk eller som avfallsprodukter fra skipstrafikken. Det synes imidlertid ikke å eksistere noen systematisk variasjon i jernkonsentrasjonen hverken med dypet eller tiden, men det kan generelt vises at konsentrasjonen avtar med avstanden fra byens havn. De høyeste konsentrasjoner finnes i bunnvannet i de indre stasjoner, de minste konsentrasjoner vanligvis i mellomdypene utover i fjorden. Selv i de mest produktive perioder av året er jerninnholdet i den fotiske sone så høyt at det vanskelig kan tenkes at

jern på noe tidspunkt kan ha vært en begrensende faktor for planteproduksjonen i Oslofjorden. Tilgjengeligheten av det jern som kan påvises analytisk er ikke så enkel å avgjøre, men jernbehovet er lite i forhold til behovet av andre plantenæringsstoffer.

### 3. SILISIUM

Silisium forekommer i sjøvannet vesentlig som suspendert silikat og kvartsmateriale eller som oppløst kiseltsyre. Konsentrasjonen i oseanisk vann angis til omkring 300 milligram silisium pr. m<sup>3</sup>. Silisium er en hovedbestanddel i kiselalger med et silisiuminnhold opptil 25 %. Silisiuminnholdet i de forskjellige organismer varierer imidlertid meget sterkt, og variasjonen er avhengig av silisiumkonsentrasjonen i vannet.

Undersøkelsen over silisiuminnholdet i Oslofjorden er utført for perioden 1963 - 1965. Resultatene er angitt i tabellene og i isopletdiagrammene (se delrapport 17) for de enkelte stasjoner. Silisiuminnholdet ligger stort sett mellom 100 og 1 000 milligram pr. m<sup>3</sup>. Konsentrasjonene øker nedover i dypet. Det er ingen bestemt gradient i forhold til avstanden fra byens havn, det er uregelmessige variasjoner med årstiden, og det er vanskelig å påvise noen korrelasjon mellom silisiuminnholdet og andre kjemiske parametere. Fordi variasjonene i silisiuminnholdet i det vesentlige har betydning for plantesamfunnets sammensetning og ikke for den totale plantevekst, vil vannets silisiuminnhold ikke ha avgjørende betydning for den totale planteproduksjon og for produksjonen av organisk stoff i fjorden som er den sekundære forurensnings viktigste konsekvens. Men resultatene kan ha spesiell verdi for vurdering av marin-botaniske forhold.

### 4. NITROGEN OG FOSFOR

Nitrogen- og fosforforbindelser er stoffer som har spesiell betydning som plantegjødningsstoffer på land, og det er å vente at de vil ha en tilsvarende effekt om de distribueres i vannmassene i en resipient. En rekke undersøkelser såvel av norske som utenlandske forskere har vist at det er grunn til å søke en sammenheng mellom den høye planteproduksjon som ofte opptrer i en resipient forurenset med kloakkvann og kloakkvannets innhold av disse kjemiske forbindelser. Nitrogen og fosfor deltar i oppbygningen av alle levende celler. Det innbyrdes konsentrasjonsforhold i plantene varierer, men mange undersøkelser har vist at det som regel er slik at det for hvert gram fosfor i plantematerialet vil finnes mellom 5 og 10 gram nitrogen og 40 gram karbon.

Bortsett fra rene fett- og kullhydrater vil fosfor og nitrogen inngå i nesten alle de fødemidler som brukes av en befolkning. Disse stoffer akkumuleres ikke av en organisme i likevekt, men utskilles i samme mengde som de blir fortært. Derfor vil husholdningskloakkvann alltid ha et betydelig innhold både av fosfor- og nitrogenforbindelser. I resipienten vil de delta i den oppbygning av plantecellene som finner sted, og da fjernes de fra vannet. En kan derfor som regel observere store svingninger i mengden av disse stoffer med årstiden. Ofte er konsentrasjonene av det ene eller det andre av disse stoffer så lave at det kan virke som en minimumsfaktor for planteproduksjonen på stedet. For Oslofjordens vedkommende er disse forhold først påpekt av Braarud og senere av andre medarbeidere for universitetets Institutter for Marin Biologi. Når plantene dør og celled materialet nedbrytes, blir fosfor- og nitrogenkomponentene igjen frigjort, og hvis frigjøringen finner sted i den fotiske sone, vil stoffene igjen kunne komme direkte inn i produksjonssyklusen.

Det er kjent at først og fremst fosfor-, men også nitrogenforbindelser, frigjøres raskere enn oksydasjonen av rent karbonholdig materiale i cellene. Dette fører med seg en konsentrasjonsforskyvning av disse stoffer i vannlagene etter hvert som dødt celledmateriale synker. En del av plantegjødningsstoffene frigjøres i de øvre vannlag, men noe følger det karbonholdige materiale som synker nedover i dypet. Det vil nesten alltid kunne observeres en økning av både fosfor og nitrogen med dypet i resipienter der vannet har en tendens til å stagnere. Konsentrasjonen av nitrogen og fosfor kan da bli en indikator på utskiftning av slikt stagnerende vann.

## 5. NITROGEN

Nitrogenforbindelser forekommer i naturlig vann dels oppløst som uorganiske ioner, dels bundet i organiske molekyler som bestanddeler av eggehvitestoffer eller aminosyrer, dels som partikulært bundet nitrogen i levende celler eller døde organismer. Nitrogen kan opptre i naturen i ni forskjellige oksydasjonstrinn fra + 3 hos ammoniakk til + 5 i nitrater. Oksygenforholdene i vannet har relasjon til oksydasjonsgraden av nitrogen. En overgang fra det laveste til det høyeste oksydasjonstrinn betyr en akkumulering av betydelige mengder oksygen som igjen blir frigjort før vannet blir annoxisk. I områder hvor nitrogenkonsentrasjonen er stor, kan dette virke som et slags utjevningssystem i vannets oksygenbalanse. Gassformig nitrogen er hovedbestanddelen av jordens atmosfære, og denne gass løses i vann i en mengde avhengig av såvel temperatur som saltholdighet og partialtrykk. I vann vil molekylært kvelstoff finnes i konsentrasjoner i størrelsesorden omkring 10 milligram pr. liter, dvs. minst 20 ganger maksimal konsentrasjon av nitrogens forbindelser i vann. Det molekylære kvelstoff er kjemisk

inaktivt stoff. Enkelte bakterier og planter har allikevel evnen til å overføre molekylært nitrogen i mer reaktiv form. Dette gjelder bl.a. enkelte former av blågrønne alger som lever i sjøvann. Disse alger kan da dekke en del av sitt nitrogenbehov fra atmosfærisk nitrogen. Inaktivt nitrogen overføres derved i forbindelser som senere er tilgjengelig også for andre organismer i vannet. Dette forhold kan ha betydning for vurderingen av nitrogenforbindelsenes rolle som minimumsfaktor i en planteproduksjon.

På den annen side kan spesielle kjemiske og biokjemiske prosesser i naturen overføre nitrogenforbindelser igjen til det molekylære nitrogen og dermed til nitrogen som ikke er nyttbar for planteproduksjonen. Mengden av oppløste nitrogenforbindelser i oseanisk vann varierer innen vide grenser, gjennomsnittlig mellom 0 og 300 milligram N pr. m<sup>3</sup>. Bortsett fra nitrit er analysemetodikken for nitrogenforbindelsen vanskelig. Det foreligger derfor fremdeles bare sparsomt materiale som beskriver undersøkelser hvor alle nitrogenkomponenter er studert.

I Oslofjorden har slike undersøkelser bare vært foretatt sporadisk i forbindelse med kursaktiviteten ved Institutt for Marin Biologi, pluss at det gjennom et år, 1949 - 50, ble utført regelmessige undersøkelser i Bunnfjorden. Vannprøvene fra denne stasjon ble da analysert både på ammonium-, nitrit- og nitrat-nitrogen. Arbeidet er ikke beskrevet i noen publikasjon, men resultatene blir meddelt i vedlagte særreport. Se delreport 12. Tilsvarende undersøkelser ble utført i 1956 - 57 med Drammensfjord-vann og er bare delvis bearbeidet.

I den kjemiske undersøkelse som har vært foretatt under Oslofjordprosjektet, har det av økonomiske og tekniske grunner ikke vært mulig å gjennomføre totalanalyser av nitrogenforbindelsene i fjorden. I de øverste vannlag, der hvor planteproduksjonen foregår, og ellers i de vannlag der oksygenkonsentrasjonen er tilstrekkelig, vil imidlertid den aller vesentligste del av de uorganiske nitrogenforbindelser bli overført til nitratformer nokså raskt. Derfor har hovedvekten av undersøkelsen tatt sikte på å bestemme mengden av nitrat-nitrogen i vannet. Undersøkelsen strekker seg fra mars 1964 til desember 1965 med månedlige tokter over hele perioden.

Resultatene er vist i diagrammer hvor års-isopleter (delreport 17) for de enkelte stasjoner er inntegnet. Som eksempel er det gjengitt isopletdiagram for st. Bn 1 1964 - 65 (fig. 2). Tabell 1 viser gjennomsnittsverdier samt maksimums- og minimumsverdier for de forskjellige stasjoner. Resultatene viser at stasjonene stort sett faller i tre grupper, først Oslo havn, så Bærumsbassenget og Bekkelagsbassenget og til slutt den tredje gruppen som består av stasjonene



TABELL 1. NO<sub>3</sub> - N mg/m<sup>3</sup> i Oslofjorden 1964 - 65.

Meter dyp	Ap 99			Bl 1			Bn 1			Cq 1			Dp 99			Fl 1			Im 99			Im
	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	
1	6	329	108	4	267	90	5	273	76	5	292	86,4	10	285	76	8	208	77	5	189	59	51
4	15	290	98	4	265	68	5	280	69	4	279	77,3	6	283	71	8	223	62	4	172	57	45
8	15	280	114	6	223	82	5	249	77	6	283	99,5	11	243	86	8	215	69	5	162	54	44
12	30	278	149	9	233	125	5	260	117	17,5	274	139	13	110	138	10	185	82	10	142	58	54
16	33	320	171	10	337	134				19	280	178										
20	10	190	87	5	193	79	80	253	167	62	280	178	55	285	187	26	180	120	52	128	90	79
25				10	148	40																
40							163	248	200	184	258	216	168	300	220	115	245	168	72	185	107	91
60							140	250	201	10	277	85	150	248	210	110	215	170	83	165	120	109
80							143	245	196				158	255	217	107	258	171	110	200	132	122
120										206	265	239	206	265	239	110	265	173				135
145										215	315	244	215	315	244							
160										128	258	171										140
200																						144

Dp 99, Bn 1, Fl 1, Im 2 og Lm, dvs. midtfjordsstasjonene fra Bunnefjorden og ut til Filtvet. I Oslo havn er konsentrasjonen av nitrat-nitrogen høyest. Tallene for gjennomsnittskonsentrasjonen og maksimumskonsentrasjonen ligger ikke så meget over verdiene i de andre områder, men det er bemerkelsesverdig at minimumskonsentrasjonen i de øvre vannlag, spesielt 4 meters dyp, er meget større enn det som finnes andre steder i fjorden. Gjennomsnittskonsentrasjonen for denne stasjon øker jevnt nedover mot dypet, men avtar igjen mot bunnen. Det siste er et forhold som også gjentar seg i Bærumsbassenget og Bekkelagsbassenget, og skyldes at oksygenforbruket i disse dyp er så stort at forholdene tenderer mot annoksiske tilstander. På de andre stasjoner øker konsentrasjonen nedover med dypet, men tenderer mot en konstant høy verdi i dyplaget. Minimumsverdiene i 1, 4 og 8 meter er for alle stasjoner, unntatt havnen, så lave at nitratkonsentrasjonen godt kan tenkes å ha vært begrensingsfaktor for planteproduksjonen til enkelte tider av året. Såvel Bærumsbassenget som Bekkelagsbassenget er under et visst dyp adskilt fra den øvrige fjord med et system av terskler.

Det er tenkelig at det over lengre perioder kunne akkumuleres så store mengder av plantenæringsstoffer i disse vannvolumer at det, når det så fant sted en vannutskiftning, kunne influere vesentlig på forholdene i fjorden forøvrig. Fordi maksimumsverdiene for nitrat-nitrogen i disse forholdsvis små vannvolum ikke er nevneverdig større enn verdiene i fjorden ellers, kan en slik akkumulering bare få begrenset betydning. Det samme kan sies om dyplagene for Bunnefjorden som er isolert på grunn av terskelen mellom Bygdøy og Nesodden. Når forholdene i Oslofjorden som helhet skal vurderes, blir det ikke nevneverdig feil om disse stasjoner settes ut av betraktning. Observasjoner av stasjonene langs fjordens midtakse er da et tilstrekkelig grunnlag for vurderingen. I fig. 3 er det tegnet stasjonskurver for forskjellige tokter i 1965. I dyplagene er det gjennom hele året en avgjort tiltagende verdi fra Drøbakstasjonen og innover i fjorden, med høyeste verdi i Bunnefjorden og Lysakerfjorden. Store perioder viser disse to stasjoner nesten helt sammenfallende kurver. I vinterhalvåret er konsentrasjonen i overflatelaget høyest, men avtar raskt utover våren. Det kan ellers påvises en økning med dypet, særlig i dyp under spranlaget og ned til 20 meter.

I fig. 4a er gjennomsnittsverdiene for alle observasjoner tegnet opp med dypet som ordinat. En kan danne seg følgende bilde av nitrat-nitrogenforholdet i fjorden:

Nitrogenforbindelsene tilføres med kloakkvann i bundet og oppløst form. Hvor kloakkvannet tilføres direkte uten luftning, finnes nitrogenet vesentlig i reduserte former. I fjorden blir så disse forbindelser litt etter litt oksydert, fordi kloakkvannet som inneholder nitrogenforbindelser, er lettere enn sjøvannet

og vil fordele seg i overflatelaget hvor det er oksygen nok. I den del av året hvor det pågår plantevekst, blir en vesentlig del av nitrat-nitrogenet i de øvre vannlag igjen bundet i plantecellenes organiske materiale. Stasjonskurvene for de forskjellige måneder viser at det ikke kan påvises noen vesentlig forandring av nitratkonsentrasjonen i dypvannslagene med årstiden eller med månedene i den periode undersøkelsen har pågått. Dette betyr at enten har skiftningene av dypvannslagene i perioden vært så regelmessige at det ikke har kunnet finne sted noen akkumulasjon med tiden, eller at hovedparten av nitrogenmengdene som er ført inn i overflatelagene har forblitt der og blir ført ut av systemet med de utskiftninger av overflatevannet som regelmessig finner sted, særlig på grunn av tidevannsstrømmingen. Den måte vannskiftningen foregår på og de konsekvenser det vil ha for plantegjødningsstoffene i fjorden, vil bli diskutert nærmere under omtalen av fosfat, idet variasjoner av nitrat-nitrogen og fosfat-fosfor i en resipient stort sett følger samme mønster.

## 6. FOSFOR

Fosfor finnes i sjøen dels som oppløst ortofosfat, dels som partikulært fosfat, i forbindelser som uoppløste salter, eller bundet til levende eller døde cellers organiske materiale. Når de organiske forbindelser nedbrytes, overføres fosfatet igjen i den oppløselige ortofosfatform. Mengden av fosfat-fosfor i sjøvann oppgis vanligvis til mellom 0 og 100 milligram pr. m<sup>3</sup> vann. Det er minst i overflaten og økende mengder mot dypet. Kystfarvannene er som regel rikere på fosfat-fosfor enn vannet lengre ut. Dette skyldes bl.a. dreneringsvann fra gjødslede områder på land og tilførsel av fosfat med kloakkvannet. Mengden av fosfat-fosfor som tilføres vannet i indre Oslofjord med ellevann og kloakkvann, er behandlet i delrapport 11, og anslått til ca. 1 600 kg pr. dag.

For å få et mest mulig komplett bilde av fosfatforholdene i en resipient, må såvel ortofosfatinnholdet som det partikulære fosfat analyseres. Til sammen utgjør de en mengde som vi kan kalle for totalfosfatet. Helt komplett kan bildet allikevel ikke bli, fordi det alltid vil finnes organismer som inneholder fosfat og som er så lett bevegelige at de unndrar seg prøveinnsamlingen. Systematiske analyser av ortofosfat-konsentrasjonen i vannet i Oslofjorden er tidligere utført av Braarud og Ruud for perioden 1933 - 34, og på de tokter som er utført av Institutt for Marin Biologi i året 1946 - 47. For Bunnefjordens vedkommende også i 1949 - 50. Disse resultater vil finnes i delrapport 12.

Totalfosfat er ikke bestemt tidligere. Analyser av totalfosfat er vanskelige og tidkrevende, og de kunne derfor bare tas opp som siste del av Oslofjordprosjektets program og foreligger bare for året 1965. Ortofosfat-analyser ble derimot

gjennomført for de forskjellige stasjoner allerede fra prosjektets start i 1962 og foreligger således i alle år opp til 1965. Resultatene av disse analyser fremgår av hovedtabellene og års-isopletdiagrammene fra de forskjellige stasjonene. I tabell 2 er gitt et utdrag av disse analyser. Tabellen viser gjennomsnittsverdier samt maksimums- og minimumsverdier for stasjonenes forskjellige dyp. Det fremgår av tabellen at det er naturlig å inndeले alle stasjonene i 2 grupper, en som omfatter Bekkelagsbassenget, havnen og Bærumsbassenget, den annen gruppe er stasjonene i midtfjorden fra Bunnefjorden og til Filtvet. Den første gruppen adskiller seg fra den andre ved de til dels meget høye fosfatkonsentrasjoner som vises i bunnvannet. På alle stasjoner øker såvel gjennomsnitts- som maksimums- og minimumsverdiene nedover med dypet, men minimumsverdiene viser et markert sprang, som for de indre stasjoners vedkommende ligger i omkring 12 meters dyp og for de ytre i omkring 20 meters dyp.

Variasjonene gjennom året av ortofosfatkonsentrasjonen i overflateskiktet er illustrert i fig. 5. Gjennomsnittet av verdiene for 1, 4 og 8 meter-dypet er tegnet inn for de forskjellige stasjoner til de forskjellige måneder.

Fra januar til begynnelsen av mars er det på alle stasjoner meget høye ortofosfatkonsentrasjoner. De avtar så raskt utover våren, har en lav verdi gjennom hele sommerhalvåret, for så å øke igjen senhøstes. De høyeste verdier finnes inne i fjorden og avtar gradvis utover mot Drøbak (se fig. 6). I dypvannslagene er variasjonene i ortofosfat ikke så markerte som de er i overflatelaget, men det kan som regel påvises en jevn økning av ortofosfatkonsentrasjonen med tiden utover gjennom sommeren mot høsten. Variasjonene i ortofosfatinnholdet i overflaten vannet er således meget likt det som ble funnet for nitrat-nitrogen. I de perioder av året da planteveksten foregår, akkumuleres fosfat i de levende celler. Derfor avtar ortofosfatkonsentrasjonen i vannet. Ofte kan konsentrasjonen være så lav at det er grunn til å tro at fosfat kan være en begrensende faktor for planteproduksjonen i disse dyp. I tillegg til den fjernelse av fosfat som finner sted når det bygges inn i de levende celler, kan ortofosfat også fjernes fra vannmassene ved at det direkte absorberes til plantematerialet uten å gå inn i selve oppbygningen av cellene. Dette gjør sitt til at fosfatkonsentrasjonen kan avta så drastisk i de første vekstmånedene, men det betyr i virkeligheten en slags form for hamstring som plantecellene foretar seg, og som gjør det mulig for dem å vokse og dele seg også etter at ortofosfatinnholdet i vannet har sunket til lave verdier. En stagning i planteveksten på grunn av fosfatmangel blir derved skjøvet ut i tid.

Når det levende celled materiale dør og cellene nedbrytes, blir fosfatet igjen frigjort. Noe går i oppløsning allerede i de øvre vannlag, annet følger med ned i

TABELL 2.  $PO_4$  - P mg/m<sup>3</sup> i Oslofjorden 1962 - 65.

m dyp	A1 99		B1 1		Cq 1		Dp 99		Fl 1		Im 99		Im										
	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.	Min.	Maks.	Gj. sn.								
1	11	171	40	3	98	28	2,5	40	16	85	17	3	48	19	2	39	12	1,3	35	11	1	19,5	< 14
4	3	113	32	3	72	22	2	53	17	94	18	2,5	48	17	1,5	36	10	1,2	31	9,7	1,2	18,5	< 9,8
8	3	67	43	1,5	85	24	1	53	19	91	20	1,3	58	20	1,3	48	12,5	1,0	25	9,1	2	17,0	< 8
12	3	55	41	3	80	38	1,3	64	24	91	29	1,3	78	30	2,6	57	16	2,5	52	10	2	47	10,5
20	49	160	98	58	391	142	10	60	42	91	46	10	96	41	8	64	27	5	60	16	2,5	53	15
40							22	77	55	157	72	43	79	59	21	71	39	3	66	19,5	4	60	18
60							32	82	61	705	229	37	73	61	21	62	42	8	79	25,5	13	65	23
80							26	84	63			32	109	64	19	72	43	18	83	27	13	70	25
120												33	176	80	20	67	45				20	66	30
145												44	176	94							17	63	30
160												21			70	46					11	73	32

dypet hvor celleresten synker, og dette fosfatet vil kunne bidra til å øke fosfatkonsentrasjonen i dypsonene. Sammenhengen mellom ortofosfatkonsentrasjonen og planteveksten i de øvre vannlag må vise utslag også i vannets gjennomsiktighet eller turbiditet. Jo større plantevekst, dess større turbiditet og mindre fosfat. Fig. 7 er et diagram som viser dette forhold. Her er ortofosfatverdiene som gjennomsnitt av analysene for 1, 4 og 8 meter (st. B) gitt for de forskjellige måneder ved den opptrukne linje, og den inverse verdi for turbiditeten i tilsvarende måneder ved den prikkede. Kurvene følger hverandre meget nøye. En korrelasjonsanalyse, utført av Norsk Regnesentral, viser det samme bilde, idet vi alltid finner en negativ korrelasjon  $PO_4$ -turbiditet. Totalfosfat-analyser er bare utført for den siste del av perioden for Oslofjordprosjektet fra mars til desember 1965. Resultatene av undersøkelsen er illustrert i fig. 4b som gir gjennomsnitt av analyseverdiene i hvert enkelt dyp på stasjoner langs fjordens midtakse. Under terskeldypet, dvs. 20 meter, er forholdene for totalfosfatfordelingen nokså regelmessig, en jevn økning mot dypet og med avstanden innover fra Drøbak-terskelen mot byens havn. Det er ingen stor variasjon med årstiden. De totalfosfat-verdier som er funnet over terskeldypet innover i fjorden, viser stort sett et nokså usammenhengende bilde.

Sannsynligvis er de avhengige av de hydrografiske forhold, men analysemetodikken for totalfosfat er ennå i forhold til andre hydrografiske metoder så vidt usikker at man vanskelig kan tillegge den for stor vekt. Sammenhengen mellom ortofosfat og totalfosfat er vist i fig. 8 og 9. Her er verdiene for stasjon Fl 1 og Bn 1 i månedene mars, mai, august og desember 1965 tegnet inn. Bortsett fra stasjon Fl 1, 9/12, følger kurvene for ortofosfat og totalfosfat hverandre nokså nøye. I dypvannslagene kan det observeres en svak økning i totalfosfatkonsentrasjonen utover året. Et maksimum på over 100 milligram pr.  $m^3$  ble observert i bunnlaget på stasjon Bn 1 i desember. I sommerhalvåret er forskjellen mellom ortofosfat og totalfosfat liten og til dels null i mellomdypene. Det må antas at ortofosfatkonsentrasjonen i dette tilfelle har øket på bekostning av totalfosfatkonsentrasjonen, idet det partikulære fosfat som utgjør differansen mellom disse to verdier, litt etter litt er omdannet til oppløst ortofosfat. Variasjonene av det partikulære fosfat med dypet er fremstillet i fig. 10 og 11 for stasjonene Bn 1 og Fl 1 i mars, mai, august og desember 1965.

For overflatelagenes vedkommende viser kurvene det forhold som allerede tidligere er omtalt, at fosfatkonsentrasjonen i de produktive måneder av året vesentlig vil foreligge i bundet form.

Når det gjelder dypvannslagene, hadde det vært å vente at mengden av totalfosfat skulle øke raskt utover i sommerhalvåret, da vannet i disse dyplag har en mer

stagnerende tendens. Men figurene 8 og 9 viser at ortofosfatkonsentrasjonen øker, men totalfosfatkonsentrasjonen holder seg noenlunde konstant.

Dette kan bare bety at størstedelen av det fosfat som tilføres i fjorden ved elvevann og kloakkvann, holder seg i overflatelagene i hele den produktive perioden av året. Det forhold at såvel ortofosfat- som totalfosfatkonsentrasjonen avtar med avstandene innenfra byen og utover i fjorden, kan skyldes to prosesser. Den ene at fosfatholdig materiale felles ut og fjernes fra vannmassene ved sedimentasjon, slik at de akkumuleres som organisk og uorganisk fosforholdig materiale i bunnen. Dette er en prosess som sikkert finner sted, men det forhold at hovedmengden av fosfat holdes i overflatelagene i en stor del av året, og at det i den tid av året da vannet i dyplagene har sine lengste stagnasjonsperioder ikke kan påvises synderlig økning i totalfosfatkonsentrasjonen, tyder på at sedimentasjonsvirkningen ikke har så stor betydning som vi hadde ventet.

Det er imidlertid sannsynlig at den prosess som bidrer mest til å fjerne fosfatkonsentrasjonen fra fjordvannet, er den stadige fortykning av vannet over terskeldypet som alltid finner sted med tidevannet og de periodiske utskiftninger av dypvannslagene.

De arbeider som er utført ved Institutt for Marin Biologi og som er beskrevet i delrapport 12, har vist at minst en gang i året finner det sted en utskiftning av vannet helt ned til bunnen i Vestfjordbassenget, og ofte til 75 meters dypet i Bunnefjordbassenget. Denne vannutskiftning finner sted når de hydrografiske forhold er slik at det over Drøbak-terskelen står vann som er tyngre enn vannet på bunnen inne i fjorden. Da renner vannet ned i dypet i indre fjord, løfter opp det vann som var der før, og får det til å renne ut i vannet utenfor terskelen.

Under disse forhold er det at vi kan observere meget raske svingninger i dypvannets fosfatinnhold, fordi det som strømmer innover Drøbak-terskelen er forholdsvis fattig på fosfat. Dette er da den viktigste prosess som bidrar til å opprettholde fosfatlikevekten i fjordens indre basseng.

Når ortofosfatkonsentrasjonen øker på bekostning av det bundne fosfat slik det er vist i fig. 8, 9, 10 og 11, må det skyldes at de organiske substanser som fosfatet er bundet til, utsettes for spaltnings- og oksydasjonsprosesser. Foruten ved variasjonene i ortofosfat skulle dette vise seg ved at vannets oksygeninnhold avtar og dets innhold av nitrogenforbindelser øker. Regner vi med det tidligere angitte forholdstall mellom fosfor, nitrogen og karbon i plantecellene,  $P : N : C$  er  $1 : 5 : 40$ , skulle en overføring av bundet fosfat til ortofosfat følges av en økning i nitratinholdet og minskning av oksygeninnholdet i vann

som svarer til forbrenningen av slikt organisk stoff, idet karbon forbrenner til karbondioksyd med et oksygenforbruk av  $\frac{32}{12} 40 \text{ mg} = 109 \text{ mg}$  oksygen pr. mg frigjort fosfor. I tabell 3 er ortofosfat, nitrat-nitrogen og oksygen-konsentrasjonen på st. Bn 1 ført opp for sommermånedene 1965.

TABELL 3

	April	Mai	Juni	Juli	August	September
O - P $\text{mg/m}^3$	49	62	72	71	73	73
NO <sub>3</sub> - N $\text{mg/m}^3$	151	172	159	215	220	225
O <sub>2</sub> $\text{mg/m}^3$	5600	2800	3200	2400	2200	2100

Tallene i tabellen viser at hverken økningen i nitrat, nitrogen eller minskningen i vannets oksygenkonsentrasjon følger forholdstallene slik de ville finnes ved en total forbrenning av plantemateriale. Dette viser at fosfat og nitrogenforbindelser delvis er blitt frigjort før det organiske stoff har nådd ned i dypvannslagene. Det vil allikevel alltid finne sted en transport av fosfor og nitrogen som er bundet til levende eller dødt cellemateriale fra overflaten og nedover i dypet. Denne transport er avhengig av materialets spesifikke vekt og foregår sideordnet med de diffusjons- og strømningsprosesser som finnes i vannmassene forøvrig.

Hydrografiske undersøkelser har vist at det under utstrømmende overflatevann som regel finnes en strøm av vann innover. En del av det organiske materiale som opprinnelig er produsert i overflaten og blitt transportert ut, må når det synker, igjen bli fanget opp og transportert innover.

Dette er en sirkelprosess som ikke bare er avhengig av strømningsforholdene. Den hastighet materialet synker med, likesom hastigheten av de biokjemiske nedbrytningsprosesser, må her tas med i beregningen.

Tilførslene av fosfat og nitrogen til fjorden er, som før nevnt, i sterk grad avhengig av tilførsel av Oslo bys kloakkvann. Det er derfor å vente at konsentrasjonen av disse stoffer i fjorden skulle vise seg å ha øket med tiden. Vi har observasjoner fra 1933/34 og 1946/47, foruten fra 1962/65. Sammenlikning av resultatene er imidlertid ikke så lett, fordi de hydrografiske forhold, og dermed utskiftninger av vann, enkelte år kan variere sterkt.

Det kan bare sies at verdier for 1933/34 i alle dyp ligger avgjort lavere enn det som er observert ved senere undersøkelser. Dette kan tyde på at det siden



1933 har funnet sted en netto tilførsel av fosfat til fjorden som har øket med årene. På den annen side ligger fosfatverdien for året 1946/47 betydelig høyere enn de verdier som er funnet ved undersøkelsene i 1962/65.

Da det må forutsettes at tilførselen av kloakkvann-fosfat også er øket i den siste periode, kan dette bare forklares ved at de hydrografiske forhold under hele den siste undersøkelsen har vært svært forskjellige fra forholdet i 1946/47, slik at vannskiftninger har pågått hyppigere og sterkere.

Hydrografisk sett synes årene 1933/34 og 1946/47 å være mer lik hverandre, slik at variasjonen i denne periode ville gi det riktigste bilde av utviklingen. At fosfatkonsentrasjonen i fjorden må øke når tilførselen øker er innlysende. Spørsmålet er om videre økning av fosfat-tilførselen vil føre til ytterligere økning av produsert organisk stoff, altså økning av den sekundære forurensning. På det må svaret være at så lenge fosfatkonsentrasjonen på noe sted i fjorden går ned til så små verdier at fosfor kan være den begrensende faktor, vil økning i fosfat-tilførsel også øke den sekundære forurensning. Det samme kan sies om nitrogenforbindelser. Fordi tilførselen av fosfor og nitrogen har betydning for produksjon av organisk materiale har den i siste instans en avgjørende innflytelse også på fjordens oksygenhusholdning. Variasjonene i oksygen har både betydning for de biologiske prosesser som foregår i fjorden, og er influert av dem. Derfor blir oksygenanalyser et viktig hjelpemiddel til å studere fjordens forurensning, samtidig som de er nyttige indikatorer ved studiet av de hydrografiske forhold.

I fig. 4c er oksygenverdiene på tre stasjoner utover fjorden tegnet opp med gjennomsnittsverdiene for 1962 - 65. Figuren viser at oksygenverdiene under sprangsjiktet avtar jevnt med dypet, og likeledes at det eksisterer en jevn økning med avstanden fra Oslo havn. Betydningen av disse forhold er utførlig behandlet i delrapport 12, som bygger på det materiale av kontinuerlige oksygenregistreringer som i tidens løp er utført ved Institutt for marin biologi.

## 7. SAMMENDRAG OG DISKUSJON

I Oslofjordundersøkelsen 1962/65 er det utført kjemiske analyser av jern, silisium, nitrat-nitrogen og fosfat-fosfor i følgende tidsrom:

Totaljern	Oktober 1964 - Desember 1965
Silisium	Mars 1965 - Desember 1965
Nitrat	Mars 1964 - Desember 1965
Ortofosfat	fra 1962 - Desember 1965
Totalfosfat	Mars 1965 - Desember 1965

Stoffene stammer for en stor del fra kloakkvann, og deres virkning når de spres ut i fjorden er en økning av planteveksten som fører til grumset vann i overflatelagene og et oksygenforbruk i dypvannet.

Såvel jern som silisium, nitrogen og fosfor er nødvendige stoffer for planteproduksjonen. Hvis konsentrasjonen for et av dem er for lav i forhold til de andre, vil dette stoff være den begrensende faktor for produksjonen.

Oslofjorden er en sjøvannsresipient, og det utelukker at andre stoffer kan opp-  
tre som minimumsfaktorer. Analysene har vist at såvel jern som silisium fore-  
kommer i Oslofjorden i så store mengder at stoffene ikke kan ha vært en begren-  
sende faktor for planteproduksjonen på noe sted eller til noen tid i den under-  
søkte periode. Og det er lite sannsynlig at de noensinne vil bli det i Oslo-  
fjorden.

Variasjonen med årstiden av ortofosfat- og nitratkonsentrasjonen i vannet var  
stor. Det ble i den produktive perioden av året funnet så små mengder av disse  
stoffer i overflatelagene at det ene eller andre sannsynligvis har vært den  
begrensende faktor for planteproduksjonen.

En tendens til full mineralisering av bundet fosfat ble påvist i sommerhalvåret  
i de mellomste vann-nivåer 40 - 60 - 80 m. En direkte sammenheng mellom orto-  
fosfatkonsentrasjonen i de øvre vannlag og klarheten av vannet (turbiditet) ble  
demonstrert.

Det er pekt på at levende plantemateriale med sitt innhold av plantegjødnings-  
stoffer i vesentlig grad holder seg i overflatelagene så lenge planteproduksjo-  
nen pågår, men at dødt organisk materiale som også inneholder fosfor og nitrogen  
foruten oksyderbar karbon, alltid synker mot bunnen.

Denne synkestrøm er uavhengig av hydrografiske strømsystemer, men mens materia-  
let synker, kan det transporteres av de strømmende vannmasser som det trenger  
igjennom.

Da både nitrogen og fosforforbindelsen er vanlige bestanddeler av kloakkvann, vil  
konsentrasjonen av dem i fjorden måtte øke med økende tilførsel av urensset vann,  
dvs. vann som ikke er rensset for fosfor og nitrogenforbindelser.

Da det fremdeles er slike forhold i fjorden at fosfor og nitrogen er minimums-  
faktorer for planteveksten, vil en økning av disse stoffer føre til øket plante-  
vekst, dvs. øket forurensning.

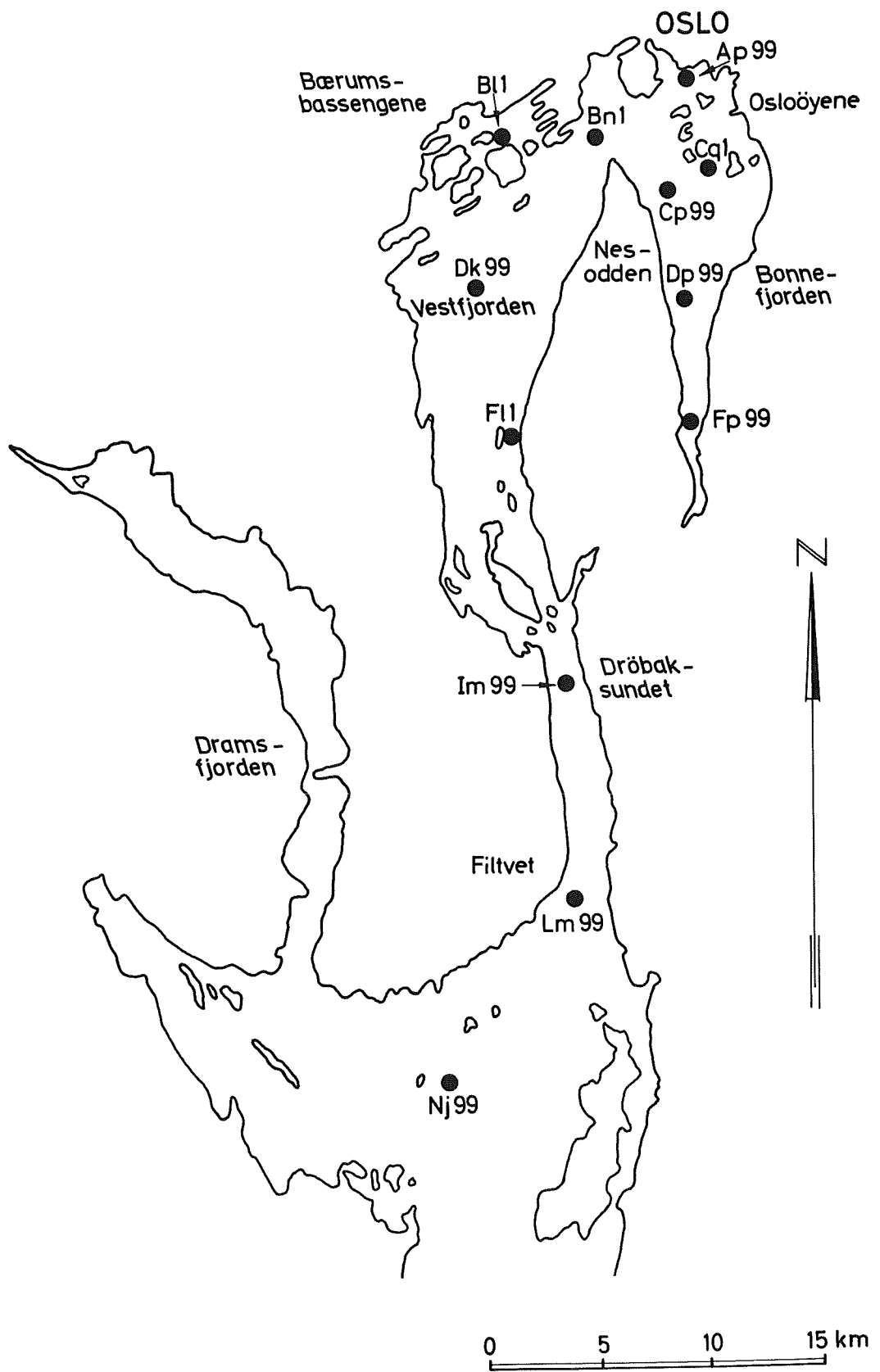


Fig. 1 Indre Oslofjord.  
Stasjonene i snittet Filtvet - Bonnefjord

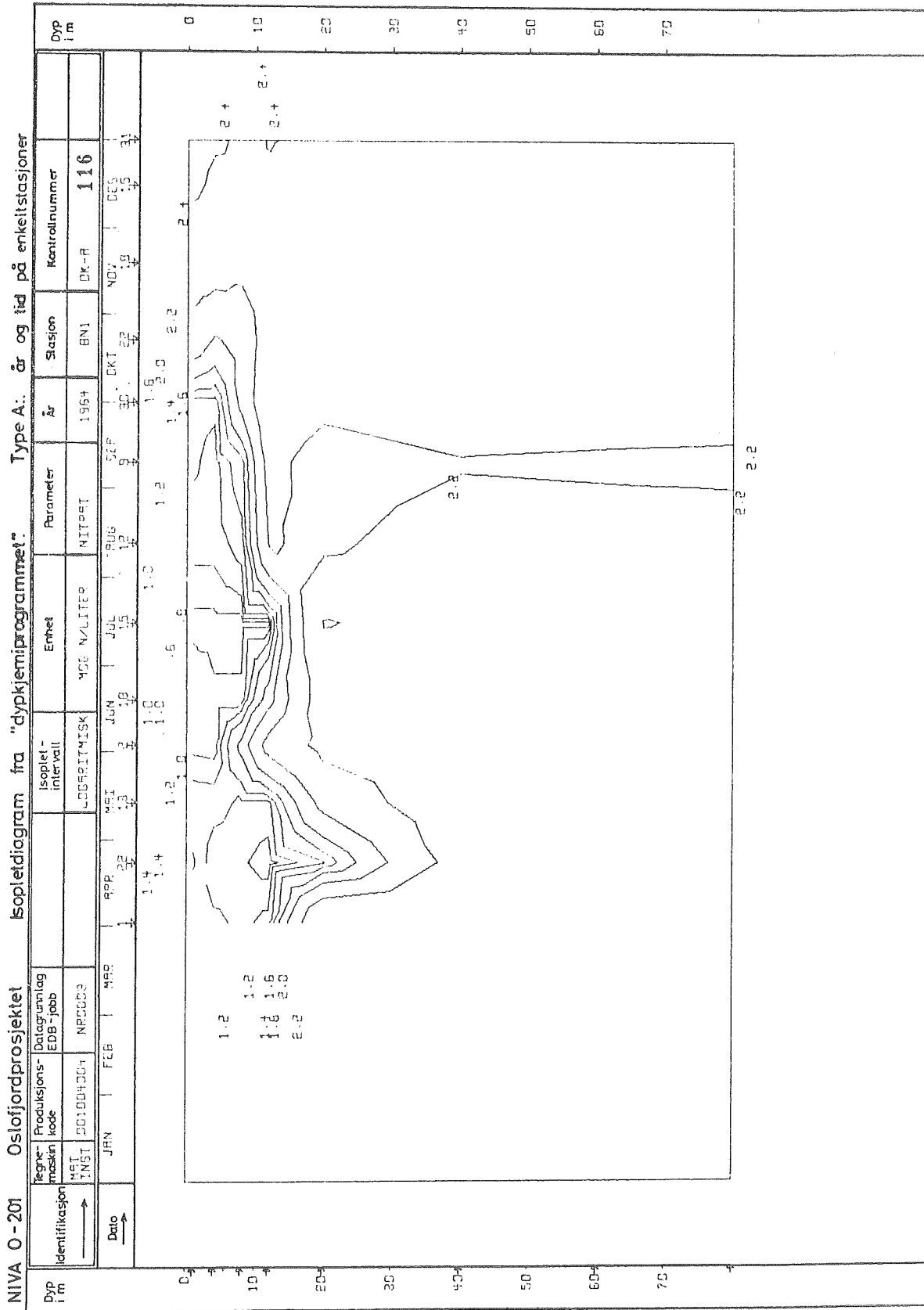


Fig. 2a

NIVA O-201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner

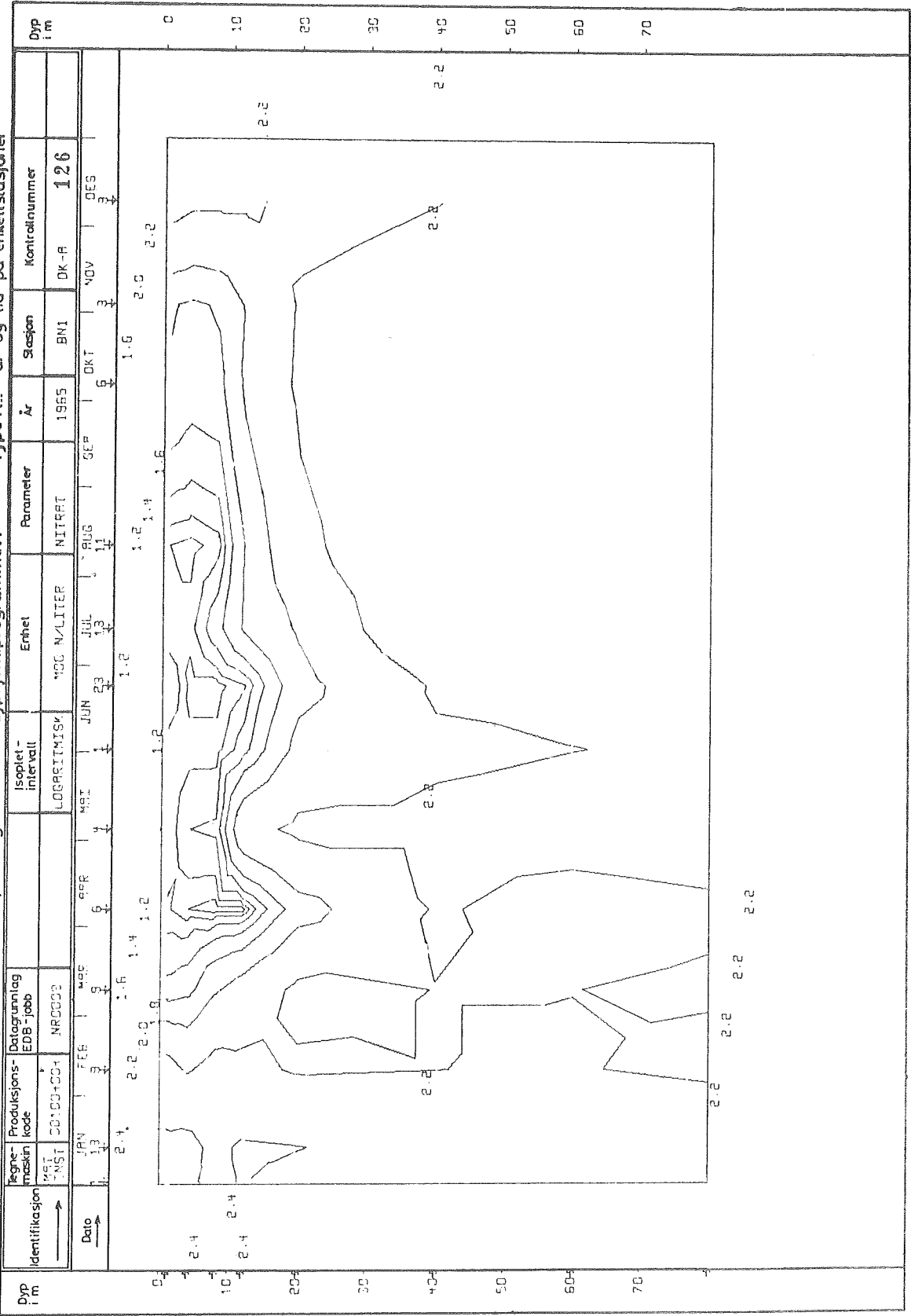


Fig. 2b

Fig. 3 Nitratverdier som funksjon av årstid, stasjon og dyp  
 Basert på observasjoner i 1965

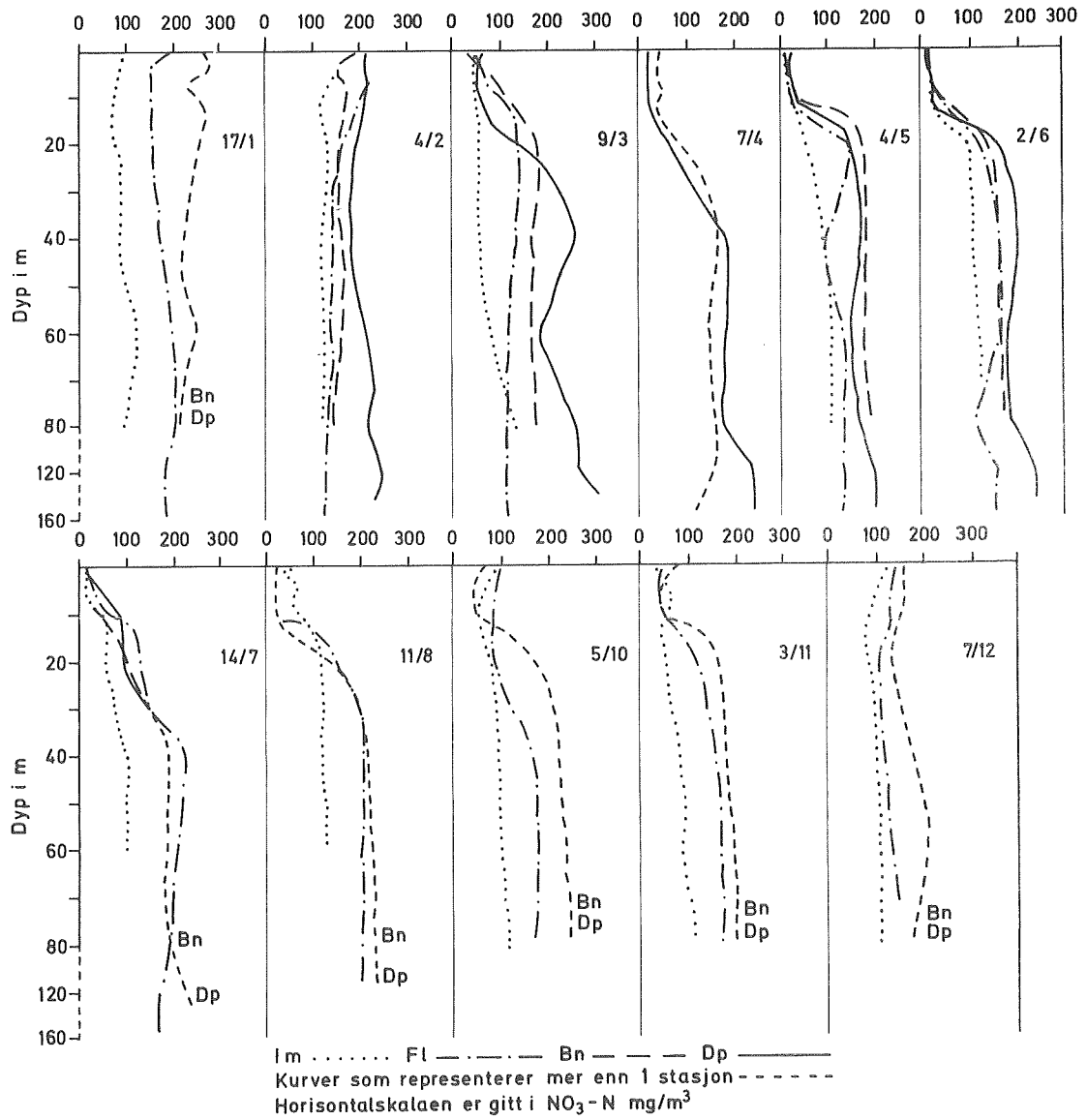
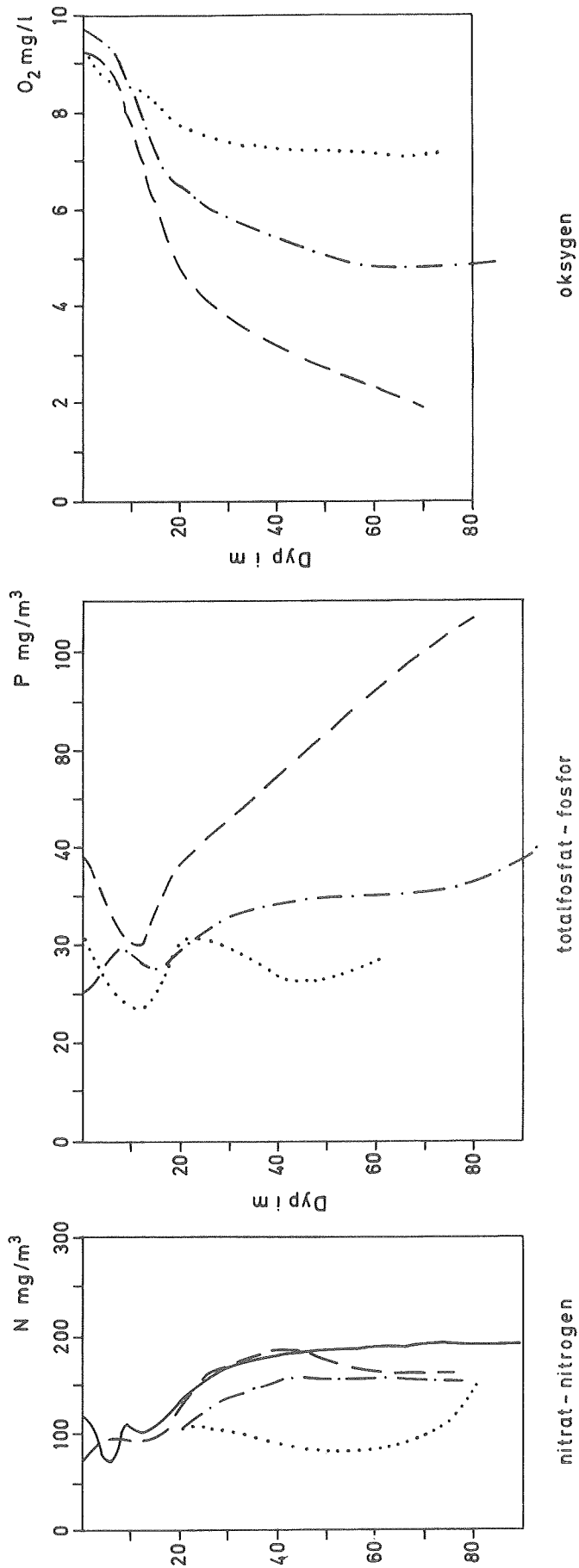


Fig. 4.a, b, c Gjennomsnittsverdier på forskjellige stasjoner for nitrat-nitrogen totalfosfat-fosfor og oksygen i undersøkelsesperioden



Im 2 ..... F1 — ..... Bn1 — — — Dp 99 —————

Fig.5 Ortofosfat som gjennomsnitt av dypene 1, 4 og 8 m over alle år for stasjonene: Dp99, Bn1, Fl1 og Im 99

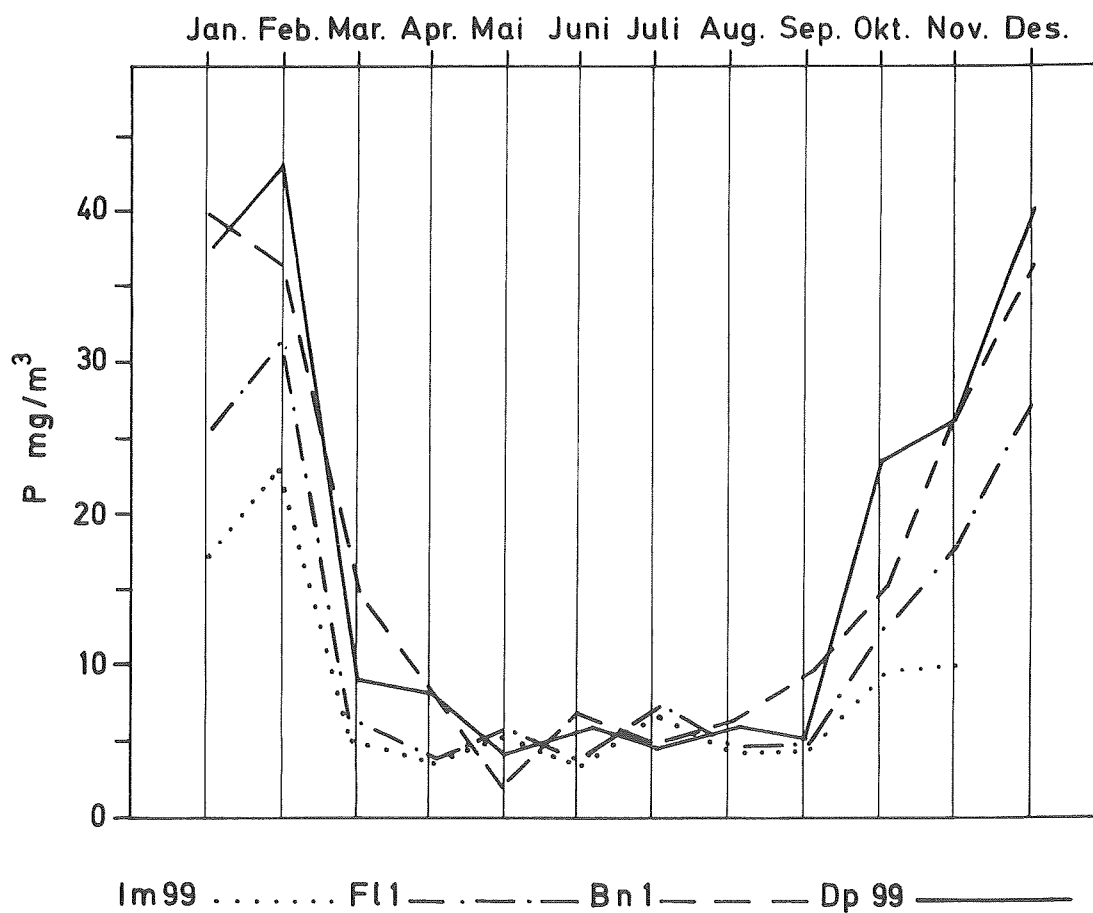
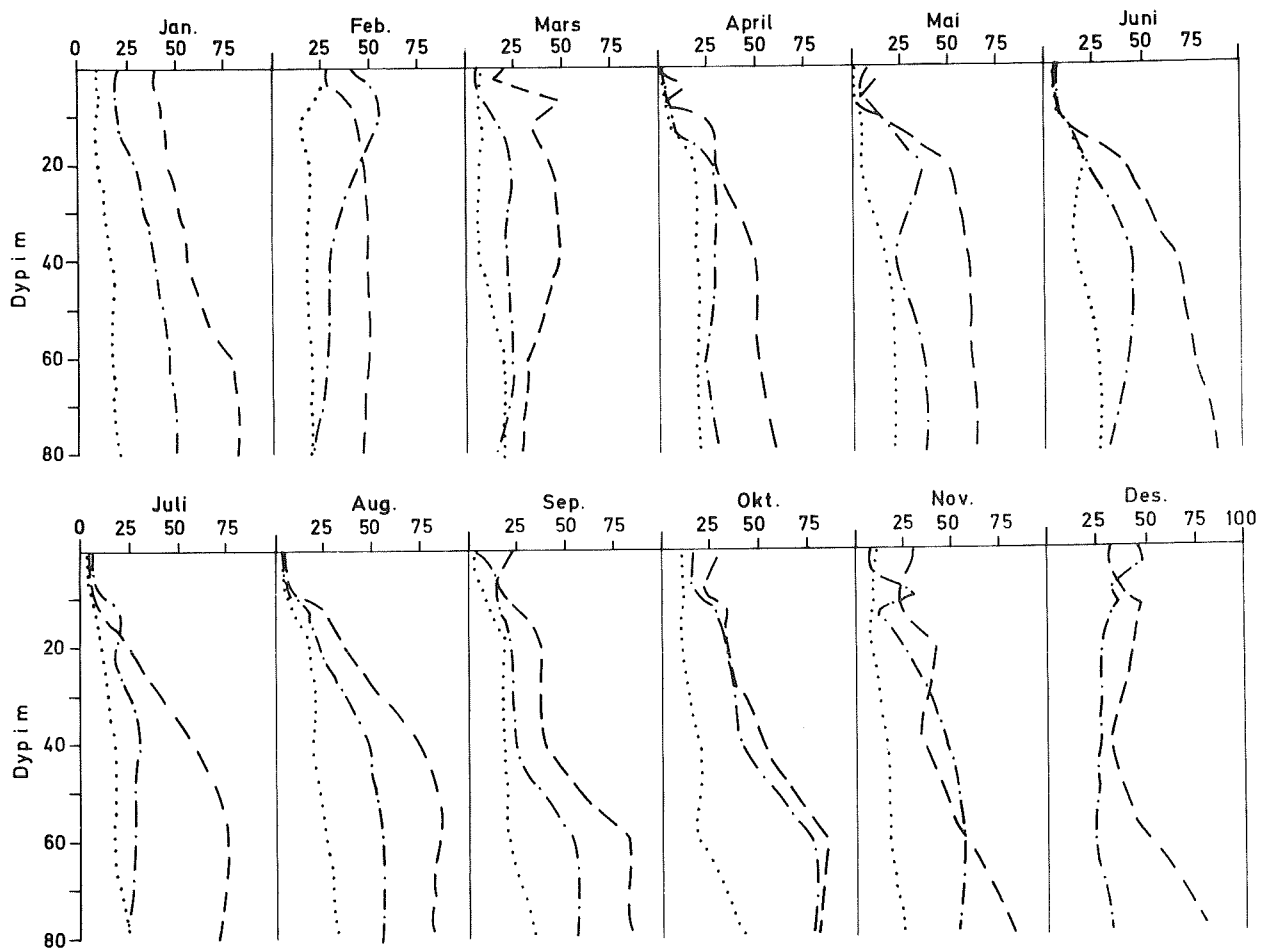




Fig.6 Ortofosfatverdier som funksjon av årstid, stasjon og dyp  
 Basert på observasjoner i 1965



Im ..... Fl - . - . Bn - - - -

Horizontalskalaen er gitt i P mg/m<sup>3</sup>

Fig.7 Sammenhengen mellom ortofosfat og den inverse turbiditet

Basert på stasjon Bn1 1965  
Gjennomsnitt 1,4 og 8 meter

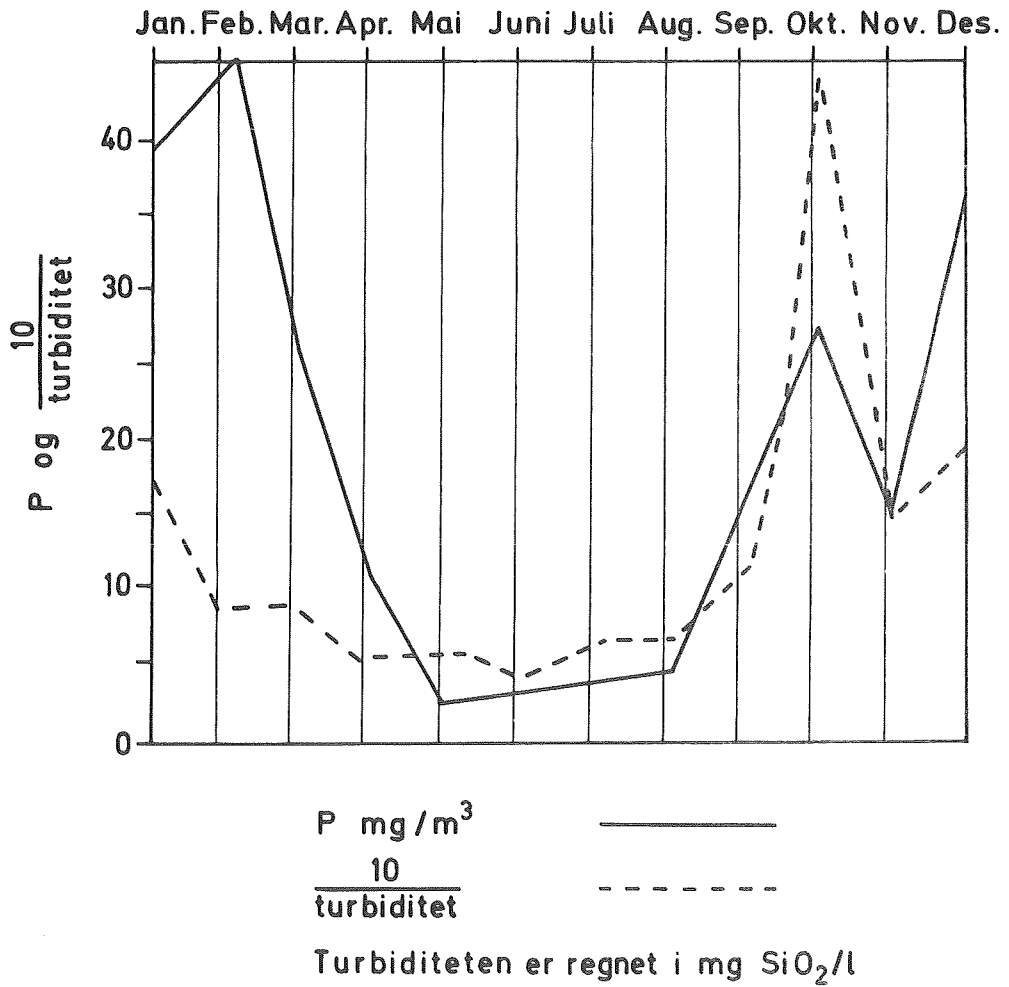


Fig.8 Ortofosfat-og totalfosfat-verdier i dyplagene som funksjon av årstid  
Basert på stasjon Bn 1

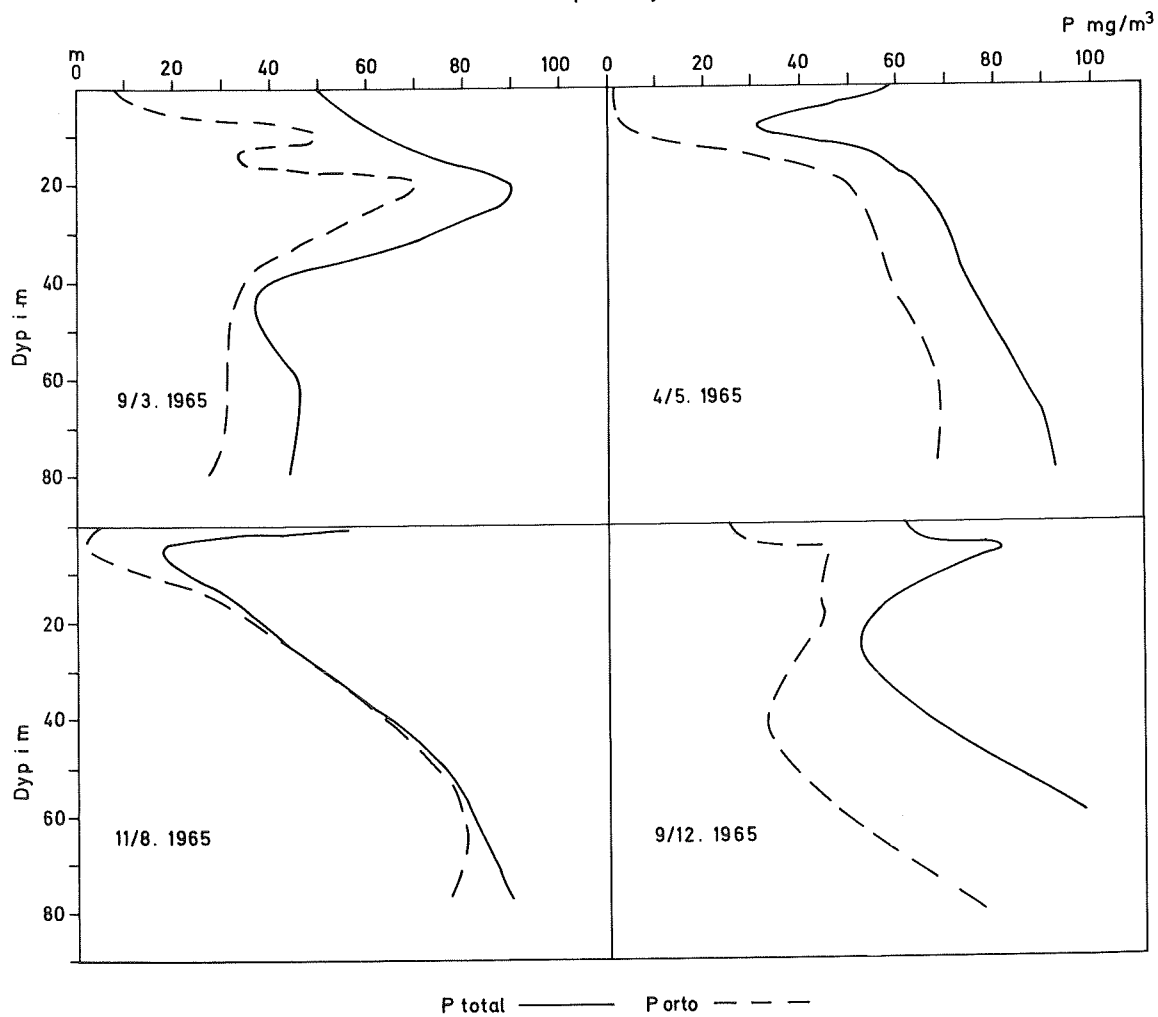


Fig.9 Ortofosfat-og totalfosfat-verdier i dyplagene som funksjon av årstid  
Basert på stasjon F11

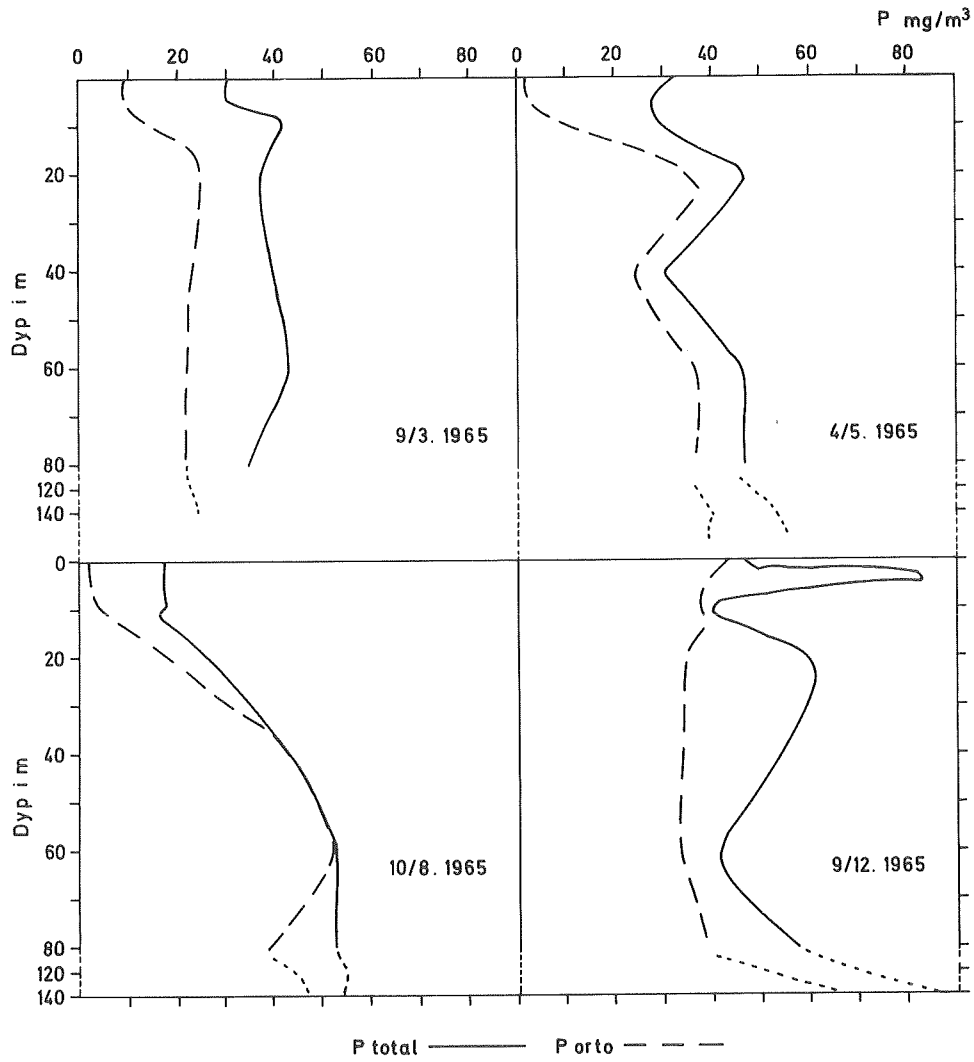


Fig.10 Variasjoner i partikulært fosfat på stasjon Bn1 gjennom året 1965

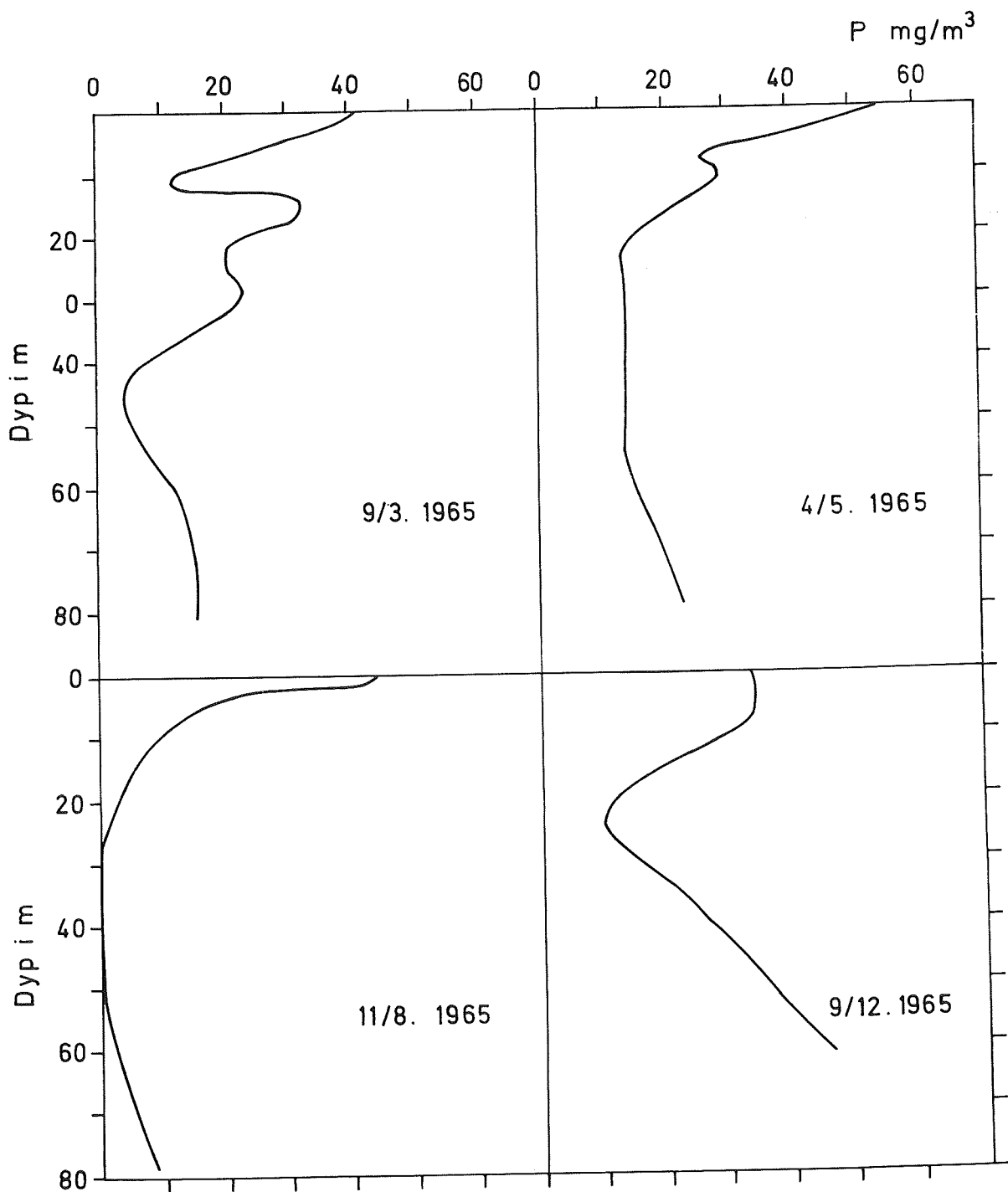


Fig.11 Variasjoner i partikulært fosfat på stasjon F11 gjennom året 1965

