

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 14

MATERIALBALANSE

av

Hans Munthe-Kaas

OSLOFJORDPROSJEKTET
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
BLINDERN

DELRAPPORTER

- | | | |
|----|---|---|
| 1 | Hans Munthe-Kaas | Overflatelagets rekreasjonskvalitet. |
| 2 | Herman G. Gade | Hydrografi. |
| 3 | Johan T. Ruud og Jon Versvik | Fisket i Oslofjorden. |
| 4 | Trygve Braarud og Ingrid Nygaard | Fytoplankton. |
| 5 | Fredrik Beyer, Ågot Dybwad og Jon Versvik | Zooplankton. |
| 6 | Fredrik Beyer | Bunnsedimenter og bunnfauna i indre og midtre Oslofjord i 1938 og 1962—1966. |
| 7 | Fredrik Beyer og Jon Versvik | Undersøkelse av virvelløse dyr langs med bunnen av indre Oslofjord i 1962—1965. |
| 8 | Ernst Føyn | Vurdering av næringssaltenes kjemi. |
| 9 | Nils Klavestad | Undersøkelser over benthos-algevegetasjonen i indre Oslofjord i 1962—1965. |
| 10 | Jozsef Kotai og Olav Skulberg | En eksperimentell undersøkelse av fjordvannets gjødslingspåvirkning og den resulterende algevekst. |
| 11 | Svein Stene Johansen | Totaltilførsler av forurensningskomponenter via elver, bekker og kloakkledninger til indre Oslofjord. |
| 12 | Ernst Føyn | Eldre kjemiske undersøkelser. |
| 13 | Torstein Oftebro | Paralyserende muslinggift i blåskjell i Oslofjorden. |
| 14 | Hans Munthe-Kaas | Materialbalanse. |
| 15 | Hans Munthe-Kaas | Fjordens topografi. |
| 16 | Hans Munthe-Kaas | Felt- og laboratorieundersøkelser. |
| 17 | Hans Munthe-Kaas | Data og databehandling. |
| 18 | Fredrik Beyer | Representativiteten av undersøkelsesperioden 1962—1966. |
| 19 | Ola M. Johannessen | Strømundersøkelser i Drøbaksundet. Mai—juni 1963. |
| 20 | Ola M. Johannessen | Strømkorsundersøkelser i Vestfjorden. Juni 1963. |
-

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 14

MATERIALBALANSE

av

Hans Munthe-Kaas

OSLOFJORDPROSJEKTET
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
BLINDERN

Redaksjonen avsluttet oktober 1968

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E		Side:
FORORD		4
1.	PRINSIPP	6
1.1	Materialbalanseligningen	6
1.2	De enkelte ledd i ligningen	7
2.	OPPLEGG	14
2.1	Forenkling av oppgaven	14
2.2	Bassenginnndelingen	15
2.3	Vannmassenes horisontalinndeling	16
2.4	Det forenklete materialbalanseopplegg	17
2.5	Beregning av de enkelte kjente variable i materialbalanseligningen	18
2.51	Den variable E (beholdningsendring) og den hjelpevariable Q (seksjonens komponentinnhold)	19
2.52	De kjente variable D_{ϕ} og D_n (øvre og nedre vertikal-diffusjon)	22
2.521	Den hjelpevariable K (diffusjonskoeffisienten)	22
2.522	Den hjelpevariable A (horisontalarealet)	23
2.523	Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$ (komponentgradienten)	23
2.53	Den variable T (tilførsel fra landsiden)	23
2.6	Valg av parametre	24
2.61	Oksygen og organisk stoff	25
2.62	Ortofosfat	27
2.63	Nitrat	28
2.64	Salt	29
3.	DEN INTERNE LIGNING - BEREGNING OG RESULTATER	31
3.1	Første gangs (ugyldige) beregning	32
3.11	Beregning av de hjelpevariable	32
3.111	Den hjelpevariable Q	32
3.112	Den hjelpevariable K	34
3.113	Den hjelpevariable A	34
3.114	Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$	34
3.12	Beregning av de kjente variable	35
3.121	Den variable E	35
3.122	De variable D_{ϕ} og D_n	35

Side:

3.13	Løsning av den interne ligning	35
3.14	Kontroll av resultatene fra 1.gangs beregning	38
3.2	Forsøk med endring av den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$	40
3.3	Forsøk med endring av den hjelpevariable K	41
3.4	Endelig (gyldig) beregning	44
3.5	Kritisk vurdering av den interne lignings resultater	44
3.51	Logiske vurderinger	45
3.511	Forskjellene fra år til år	45
3.512	Forholdstallene N : P : O	45
3.52	Usikkerhetsmomenter og feilkilder	48
3.521	Mindre massivutskiftninger i stagnasjonsperiodene	48
3.522	Observasjonsårenes representativitet	49
3.523	Datamaterialets presisjonsnivå	50
3.524	Svakheter ved metodene for beregning av de hjelpevariable	50
3.5241	Den hjelpevariable Q	50
3.5242	Den hjelpevariable K	51
3.5243	Den hjelpevariable A	52
3.5244	Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$	52
3.525	Regnefeil	52
4.	DEN TOTALE BALANSE	53
4.1	Den variable T	53
4.2	De variable fra den interne ligning beregnet for hele indre fjord	54
4.3	Det generelle flytediagram	55
4.4	Flytediagrammer for P, N og OF	59
5	FORDELINGSMØNSTERET FOR DE OPPLØSTE FARGESTOFFER	61
6	DISKUSJON OM RESULTATENE	65
6.1	Fordelingsmønsteret for tilført P, N og OF	65
6.2	Eutrofieringsmekanismen	67
6.3	Næringsstoff-balanse og organisk produksjon i overflate-laget	70
6.4	Forsøk på å anslå de ukjente ledd i flytediagrammet for parameteren P	74
6.5	Mulighetene for å redusere de næringsstoff-induserte forurensningsulemper ved sanerende tiltak	76

	Side:	
6.6	Usikkerhetsmomenter for den totale balanse	85
6.61	Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meter-flaten i indre fjord	85
6.62	Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meter-flaten i ytre fjord	89
6.63	Omregningen "Bunnefjorden + S/m Vestfjorden/indre fjord" for den interne ligning	90
6.7	Nødvendige fortsatte undersøkelser	91
7	SAMMENFATNING OG KONKLUSJONER	93
8	LITTERATUR	98

TABELLFORTEGNELSE (Tabellene finnes blant tekstsidene)

Rødt skilleark

FIGURFORTEGNELSE

FIGURER

Blått skilleark

BILAG

- 1 Komponentkonsentrasjoner som funksjon av tid og dyp i de enkelte bassenger. (21 sider)
- 2 Metode for beregning av reduksjons-faktoren "r". (2 sider + 3 tabeller).
- 3 Hjelpetabeller til rapportens avsnitt "Kritisk vurdering av den interne lignings resultater". (2 tabeller).
- 4 Feilene i "E"-verdisettet på grunn av unøyaktig "Q"-formel og deres betydning. (2 sider).
- 5 Forsøk på å anslå de ukjente ledd B (sedimentasjon) og U (ikke diffusiv utskiftning) i den totale balanse. (4 sider + 1 tabell).

FORORD

Begrepet "materialbalanse" var ikke med blant prosjektets originale arbeidstema, men kom frem som en aktuell mulighet mot slutten av prosjektperioden, da konturene av de andre delrapporter begynte å vise seg. Materialbalansen hadde fra først av ikke noe fiksert mål, og var nærmest å betrakte som et eksperiment for å bringe på det rene om nye informasjoner kunne trekkes ut av dataene på denne måte. Da det snart viste seg at fosfor, nitrogen og oksygen ga visse forhåpninger, ble arbeidet konsentrert om disse stoffer. Etter en tid ble det så tatt sikte på å belyse tre viktige problemstillinger i prosjektsammenheng - nemlig spørsmålene om forurensningsmaterialenes skjebne i fjorden, om eutrofieringsgraden i fjorden og om mulighetene for å redusere eutrofieringen ved sanerende tiltak.

Beregningene ble utført våren 1967. På grunn av det tidspress som da rådet, var det ikke mulig å gjennomprøve og raffinere metodikken særlig grundig på forhånd, og det anvendte beregningsopplegg vil derfor tildels synes tungvint og mindre konsist enn nødvendig. Heller ikke var det tid til å studere de mange aspekter som problemstilling og beregningsopplegg innbød til, med ønskelig grundighet. Den undersøkelse som her er presentert, må derfor kun betraktes som et foreløpig og ikke avsluttet arbeid. Ved bearbeidelsen av materialet for nærværende rapport (1968) er beregninger og resultater bare kontrollert i hovedtrekkene, og det originale beregningsopplegg er bibeholdt.

Resultatene gir - så langt de er riktige - grunnlag for interessante og betydningsfulle konklusjoner og hypoteser. Mange forhold tyder på at de i grove trekk er riktige, men de bør likevel utnyttas med varsomhet inntil ytterligere verifikasjon foreligger. Slik ytterligere verifikasjon kan delvis søkes gjennom en kontrollberegning med mer eksakte metoder, men først og fremst ved innsamling og bearbeidelse av flere data og ved fortsatt studium og prøvning av de konsekvenser som resultatene gir. I litteraturen er det hittil ikke funnet noen tilsvarende beregningsopplegg eller resultater som kan gi grunnlag for en sammenligning.

Når resultatene i beste fall bare har gyldighet i grove trekk, er det både fordi beregningsmetodene er grove, og fordi datamaterialet i seg selv ikke er fyldig nok til å representere begivenhetene på en statistisk sett helt tilfredsstillende måte.

Beregningsarbeidet er utført under utstrakt bruk av EDB-maskin i samarbeid med Norsk Regnesentral, Oslo. På grunn av den rådende knapphet på programmeringspersonale kunne imidlertid EDB-mulighetene ikke utnyttes fullt ut, og et meget betydelig beregningsarbeid måtte derfor utføres manuelt av prosjektkontoret.

Oslo, november 1968.

Hans Munthe-Kaas

1 PRINSIPP

En materialbalanse for en vannmasse er en analog til et vanlig lagerregnskap. "Lageret" er en eller annen romlig avgrenset vannmasse, og "varene" er de forskjellige komponenter som finnes i vannet. Man kan sette opp regnskapet i form av en ligning hvor:

Venstre side er endringer i selve lagerbeholdningen i løpet av et tidsrom.

Høyre side er summen av alle transporter (regnet med fortegn) inn til og ut fra lageret i samme tidsrom.

I figur 1 er vist et stilisert langsgående vertikalsnitt av en fjord av Oslofjord-type. De vertikale linjer deler fjorden i tre deler - et innerste basseng, et mellom-basseng og havet utenfor. Linjen horisontalt deler vannmassene opp i skiver.

1.1 Materialbalanseligningen

For hver av de avgrensede vannmasser, "seksjoner," som fremstår på denne måte, kan det settes opp en materialbalanseligning for det eller de stoffer som man er interessert i. Ligningen får prinsipielt formen:

$$E = T + A + B + D_{\emptyset} + D_n + D_y + D_i + P_{\emptyset} + P_n + P_y + P_i + U + F$$

hvor

E = endring av beholdning

T = tilførsel

A = atmosfæreutveksling

B = bunnutveksling

D_{\emptyset} = vertikaldiffusjon av oppløste stoffer gjennom øvre flate

D_n = " " " " " nedre "

D_y = horisontaldiffusjon av oppløste stoffer gjennom ytre flate

D_i = " " " " " indre "

P_{\emptyset} = vertikaltransport av partikler gjennom øvre flate

P_n = " " " " " nedre "

P_y = horisontaltransport av partikler gjennom ytre flate

P_i = " " " " " indre "

U = transport ut eller inn av fjorden som følge av massivutskifting av vannmasser

F = forbruk eller frigjøring (dannelse) av de enkelte stofftyper.

I praksis vil ikke alle ledd komme med for hver seksjon. Tabellen i figur 1 illustrerer dette forhold.

Ligningen kan også anvendes for fjorden som helhet, men mister da de interne diffusjons- og partikkeltransportledd og får formen

$$E = T + A + B + \frac{D}{y} + \frac{P}{y} + U + F$$

De enkelte ledd i disse ligninger er nærmere presentert i det følgende avsnitt.

1.2 De enkelte ledd i ligningen

Alle ledd har dimensjon vektmengde pr. tidsenhet. Fortegnet skal være pluss ved økning for endringsleddet og pluss ved tilførsel for de andre ledd.

E. Endring av beholdning

Dette ledd skal angi netto endring for det tidsrom analysen gjelder for og beregnes ganske enkelt som differansen mellom slutt- og startbeholdning.

T. Tilførsler

Her er samlet alle tilførsler fra land samt de fra atmosfæren som ikke inngår i noe likevektssystem med materialtransporter den motsatte vei. De viktigste er boligkloakkvann, industriavfallsvann og overflateavrenningsvann fra by-, jordbruks- og naturområder - tilført direkte eller via vassdragene. Av mindre betydningsfulle tilførsler, kvantummessig sett, kan nevnes utslipp fra båter, støvnedfall fra atmosfæren og med-revne og oppløste stoffer i nedbør på selve fjordflaten.

A. Atmosfæreutveksling

Under denne gruppe kommer slike materialtransporter som inngår i likevektsreaksjoner mellom vannfase og atmosfære. Når vannet er

undermettet med et stoff i forhold til dettes partialgasstrykk i atmosfæren, vil det skje en oppløsning av stoffet i vannet - d.v.s. en transport fra luft til vann. Når vannet er overmettet, går transporten den motsatte vei. Det er mange stoffer som deltar i slike likevektsreaksjoner mellom luft og sjøvann. De som kvantitetsmessig sett er viktigst, (bortsett fra vannet selv) er oksyngengass (O_2), nitrogengass (N_2) og karbondioksydgass (CO_2).

B. Bunntveksling

En betydelig del av det partikulære materiale som til enhver tid svever rundt i vannmassene, vil før eller siden synke ned og legge seg på bunnen. Når så skjer, regner vi for materialbalansen med at dette materiale har forlatt vannmassen. En andel av det sunkne materiale vil som regel komme tilbake til vannmassen igjen. Dette kan skje ad flere veier.¹⁾ Den andel av de sunkne stoffer som ikke innen en viss tid slik bringes tilbake til vannmassen igjen, blir tilslutt så neddyngtet av nyere partikulært materiale at den tilslutt ikke lenger har noen kommunikasjon tilbake til vannet.

Mesteparten av den materialtransport som går fra vannfase til bunn vil slik som nevnt bestå i at partikler synker ned til bunnen. En viss materialoverføring samme vei vil imidlertid finne sted også ved at oppløste stoffer i vannet binder seg direkte til faste partikler på bunnen, ved sorpsjon eller kjemiske reaksjoner.

D. Diffusjonsleddene

Selv i en avstengt partikkelfri vannmasse uten påvirkning av ytre krefter vil det til stadighet foregå små interne forflytninger av vannets egne og av oppløste stoffers molekyler. Disse

-
- 1)
- a. Partikler kan bli revet med av strømminger langs bunnen.
 - b. Materiale kan frigjøres ved desorpsjon eller forandres ved kjemiske eller biologiske prosesser til nye stofftyper som helt eller delvis går over i vannfasen i oppløst form, eller som partikler av ny type.
 - c. Materiale kan fortæres av dyr i eller på bunnen, som igjen fortæres av andre dyr, (fisk) som hører vannfasen til.

bevegelser som kalles molekylærbevegelser, har samlet en utjevneende effekt på alle konsentrasjonsforskjeller i vannmassen - med andre ord den netto effekt at et oppløst stoff alltid vil diffundere fra et høyere mot et lavere konsentrasjonsområde i vannmassen. Denne form for diffusjon i en vannmasse foregår forøvrig alltid, og altså ikke bare når vannmassen er uforstyrret av ytre krefter.

Vannmassene i en fjord som den på fig. 1 er aldri upåvirket av ytre krefter. Vær og vind, tidevann og lufttrykkssendringer, vekslinger i tilførselene og flere andre faktorer fører til at vannmassene er i stadig bevegelse. I den utstrekning slike bevegelser, som kan være tilfeldige eller systematiske, fører til varige vannmasseutskiftninger mellom bassengene eller mellom et basseng og havet, hører de hjemme under ledd U lenger ute i ligningen. De fleste av bevegelsene har imidlertid ingen eller bare mindre forflytninger internt i bassengene som endelig netto resultat, idet de enten bare er lokalt preget eller inngår i oscillerende systemer. Slike forflytninger skal komme inn under D-leddene i ligningen.

Alle disse stadige forflytninger av vannmassene - både de eksterne og de interne - har i tillegg til de nevnte en annen vesentlig effekt. I kontaktflatene mellom vannmasser i relativ bevegelse og mellom vann og bunn genereres det hvirvler (turbulens). Denne turbulens har i sin tur en ny effekt. Den fører til blanding av vannmassene og kan betraktes som en slags diffusjon omtrent på samme måte som molekylærbevegelsene, men den har langt sterkere virkning.

Ned gjennom vannmassene i en fjord vil det som regel foregå en stadig synkning av partikler. Hvis partikkelmengden er stor og/eller synkningen er rask, vil det vann som partiklene trekker med seg nedover utvirke et tillegg til den øvrige diffusjon. Hvorvidt dette tillegg er stort nok til å ha noen praktisk betydning er ikke søkt bragt på det rene i forbindelse med nærværende rapport.

Prosjektets datagrunnlag gir ingen mulighet for å studere virkningen av molekylær diffusjon, turbulent diffusjon, mindre interne vannforflytninger og partikkel-generert diffusjon hver for seg. Til en viss grad lar det seg derimot gjøre å trekke slutninger om deres samlede virkninger, og det er disse som er sammenfattet under betegnelsen D (diffusjon) i ligningen.

De 4 nevnte former for diffusjon foregår over alt i vannmassene. I den utstrekning konsentrasjonsfordelinger av de enkelte stoffer og vannforflytninger fører til at diffusjonen foregår bare internt innen den enkelte seksjon, er den uten betydning for vår ligning. Som regel vil diffusjonen imidlertid også foregå over seksjonsgrensene, og i slike tilfelle skal den være med.

Fordi de valgte grenseflater mellom naboseksjonene i fjorden alltid var horisontale eller vertikale (fig. 1) var det hensiktsmessig ved beregningene å dekomponere diffusjonen i en vertikal og en horisontal komponent. Bare én - og ikke to - horisontale komponenter ble benyttet i vår fjordmodell, fordi prosjektets data bare ga langsgående og ikke tversgående konsentrasjonsgradienter i fjorden som beregningsgrunnlag. Ut fra dette er ligningens diffusjonsdel spaltet i 4 ledd: Øvre og nedre vertikaldiffusjon og ytre og indre horisontaldiffusjon.

P. Partikkeltransportene

Det finnes mange typer og størrelser av partikler i sjøen. I materialbalansesammenheng må prinsipielt enhver svevende eller selvbevegende gjenstand i sjøen regnes som en partikkel - fra den største fisk og drivende tangkvaser ned til den minste leirpartikkel og det minste virus. På grunn av våre målemetoder vil imidlertid de største og minste unndra seg våre beregninger. Partikler med større tverrmål enn 5 mm vil ikke slippe gjennom tappehullene i våre "vannhenter" og også de fleste små dyr mindre enn dette vil unnslippe fordi de skremmes bort av vannhenterene i sjøen. Partikler mindre enn ca. $\frac{1}{1000}$ mm vil feilaktig komme med i analysen som oppløst stoff, og ikke som partikler, fordi de er for små til å fanges opp av de filtre som brukes. Materialer i kolloidal tilstand, som kan betraktes som en mellomting mellom oppløst og fast tilstand, slipper igjennom filtrene og kommer derfor i våre ligninger med i gruppen oppløste materialer.

Man kan blant partiklene skille mellom levende organismer, dødt organisk materiale og uorganisk materiale.

De levende, aktivt selvbevegende organismer "nekton", unndrar seg som nevnt gjerne våre analyser. De levende, eller ikke svakt selvbevegende små-organismer, "plankton", kommer derimot med, og en gruppe av slike, planteplankton (fytoplankton) representerer en stor og kanskje den største partikkelmasse i en fjord av Oslofjordtype. Planteplanktonet - lever i det øvre vannlag - så langt ned som sollyset trenger og driver stort sett passivt omkring med de relativt sterke vannstrømmer som finnes her. (En del av artene foretar imidlertid mindre vertikale vandring for å tilpasse seg dagslysets endringer.)

Dødt, organisk materiale vil synke mer eller mindre raskt - avhengig av sin tetthet, struktur og tilstand. Slikt partikulært materiale kommer delvis fra landsiden (fra kloakker, fra visse industrier, fra landbruks- og naturcmråder). En betydelig del består imidlertid av dødt marint materiale -i første rekke døde planteplanktonorganismer, men også død løsrevet tang og tare og døde marine dyr og fisk.

Det uorganiske partikulære materiale består først og fremst av erosjonsprodukter fra naturen som bringes til fjorden via vassdragene. Mesteparten av dette materiale vil synke raskt, men de lettere partikler (særlig leirpartikler) kan holde seg svevende en tid. Visse typer industriutslipp inneholder også betydelige mengder uorganisk materiale.

I grunne sjøområder kan bunnen selv være kilde til svevende partikkelskyer, idet leire, organisk slam etc. på bunnen kan hvirvles opp av passerende båter, av understrømmer i sjøen og bølgeslag i strandsonen.

Partikler som synker langsomt vil få en lang og krocket tracé på sin vei mot bunnen, fordi de trekkes med i de skiftende vannbevegelser som foregår i de forskjellige lag. Når slike partikler tilfeldigvis kommer inn i oppstrøms-områder, bringes de oppover igjen og får dermed forlenget sin svevetid. Tilsvarende får partikler som

kommer inn i nedstrømsområder forkortet sin vandringstid mot bunnen.

For vår materialbalanseberegning vil bare partikkeltransporter gjennom seksjonsgrensene komme inn i ligningen. Ligningens partikkeltransportledd P er, analogt med diffusjonsleddet, spaltet i fire: Øvre og nedre vertikaltransport og ytre og indre horisontaltransport.

U. Utskiftningstransport

Når en vannmasse forflyttes fra en seksjon til en annen, bringer den med seg sitt innhold av partikler og oppløste stoffer. En slik materialforflytning må registreres i materialbalanseligningen.

Som nevnt under presentasjonen av leddet D foran, blir imidlertid utskiftninger mellom seksjonene innen samme basseng betraktet som en form for diffusjon i våre ligninger. Grunnen til dette var at det ut fra de foreliggende data var vanskelig å skille ut slike lokale utskiftninger fra den egentlige diffusjon. Det er derfor bare utskiftninger mellom bassengene og mellom basseng og hav som er utskilt som et eget ledd (U) i ligningen.

F. Forbruk eller frigjøring

Så å si alle stoffkomponenter som finnes i vannet vil, såfremt de ikke først forsvinner ved de foran nevnte A -, B -, D -, P - eller U -prosesser, før eller siden bli utsatt for endringer med hensyn til kjemisk bindingsform og/eller aggregattilstand. Faste stoffer oppløses direkte eller spaltes/omgjøres til nye stoffkomponenter i partikulære, oppløste og/eller gassøse former, og oppløste stoffer spaltes eller kombineres til nye oppløste eller gassøse former eller til faste partikler, sorberes til faste partikler eller optas av levende organismer.

Materialbalanseligningen kan, når den anvendes for en avgrenset vannmasse, prinsipielt bare benyttes for én stoffkomponent i én komponenttilstand av gangen. Enhver forandring av komponentens kjemiske bindingsforhold eller aggregattilstand må derfor bli registrert av de aktuelle ligninger som tap (forbruk) eller tilvekst (frigjøring).

Som et eksempel på dette kan man tenke seg ligningen satt opp for komponenten fosfor i oppløst tilstand i seksjon I i figur 1. Hvis en del av det oppløste fosfor fortæres av planteplanktonorganismer i seksjonen, vil det som fosfor fremdeles befinne seg i seksjonen. Fordi det nu er i partikulær form må det imidlertid avskrives som tapt (forbrukt) i ligningen for oppløst fosfor. I ligningen for partikulært fosfor for samme seksjon vil den samme mengde derimot måtte føres som tilvekst (frigjort).

2 OPPLÈGG

2.1 Forenkling av oppgaven

Det prinsipielle opplegg til komplett materialbalanse for en fjord av Oslo-fjordtype er beskrevet i kap. 1. Resultatene av en slik komplett beregning for de aktuelle parametre ville utgjøre den best mulige basis for vurdering av en fjords naturlige og potensielle kapasitet som resipient for kloakk og annen forurensningstilførsel. Det vil imidlertid idag ikke være praktisk mulig å skaffe datagrunnlag for et slikt komplett opplegg. Når et slikt opplegg likevel er presentert, er det for det første for å gi en oversikt over hva som mangler for at oppgaven skal kunne løses fullt ut, og for det annet for å gi en bakgrunn for vurdering av de forenklinger i problemstillingen som det har vært nødvendig å foreta.

Oslofjordprosjektets datasamling er av betydelig bredde og størrelse, sett i relasjon til hva som inntil nylig har vært vanlig ved tilsvarende undersøkelser. Dog inkluderer undersøkelsene ikke alle de ønskelige parametre som det teknisk sett hadde latt seg gjøre å få med, og vanligvis heller ikke så hyppige og mange prøver som de statistiske lover egentlig krever. Av den komplette lignings mange variable er det, på grunnlag av det foreliggende datamateriale, faktisk bare noen få som kan bestemmes, mens de fleste er ukjente.

For praktisk bruk av ligningen viste det seg imidlertid mulig å forenkles problemstillingen - og dermed å redusere antall variable - på en slik måte at det likevel lot seg gjøre å gjennomføre visse materialbalanseberegninger av sentral interesse i prosjektsammenheng. Hvordan dette er gjort, er nærmere beskrevet i avsnitt 2.4. nedenfor.

Med de gjennomførte materialbalanseberegninger er det tatt sikte på å belyse visse sentrale problemstillinger i prosjektsammenhengen - nemlig spørsmålene om forurensningsmaterialenes skjebne i sjøen, om eutrofieringsgraden i fjorden og om mulighetene for å redusere eutrofieringen ved sanerende tiltak. Disse spørsmål er søkt belyst først og fremst gjennom utviklingen av kvantitative flytediagrammer ("flow sheets") for de to viktigste næringsstoffer i fjorden (fosfor og nitrogen) og for oksygen. Dessuten er det foretatt noen enklere betraktninger omkring fjordens fargestoffbudsjett. Prosjektets data-samling er gjennom disse beregninger utnyttet på en i og for seg meget grundig måte, men det foreligger dog uutnyttede muligheter både med hensyn til komplettering av utførte beregninger og til uprøvede problemstillinger. Grunnene til denne ufullstendige utnyttelse av potensielle muligheter er først og fremst den generelle at prosjektet ikke skulle gå lenger med data-behandlingen enn de praktiske formål krevet, men i praksis har også prosjektets tids- og økonomiramme spilt en viss rolle. De uutnyttede muligheter som vi har oversikt over, vil bli nevnt i rapporten i de sammenhenger de hører hjemme.

2.2 Bassenginndelingen

For materialbalanseberegninger kan indre Oslofjord, ut fra sin topografi og det foreliggende datagrunnlag, inndeles i fem bassenger med en målestasjon i hvert basseng (fig. 2a og b). Fire av bassengene kan sies å ligge i serie (Søndre og midtre Vestfjorden (S/mV), nordre Vestfjorden (NV), Bunnefjorden (Bf) og Bekkelagsbassenget (Bl), mens det femte Bærumsbassenget (Br) danner en avgrensning ut fra basseng NV. Materialbalanseberegningene er foreløpig utført bare for de to største av bassengene: Bunnefjorden og S/m Vestfjorden¹⁾. På basis av resultatene fra disse to er det dog gitt samletall for hele indre fjord ved forholdstallsberegninger.

1) De tre andre (Bekkelagsbassenget, Bærumsbassenget og N Vestfjorden) er ikke kommet med fordi de hydrografiske beregningsgrunnlag (diffusjonskoeffisienten K) foreløpig ikke er utarbeidet.

Midtre og ytre fjord, altså fjorden fra og med Drøbaksundet og utover, er for denne rapport regnet som en del av havet utenfor. I mange henseende vil dette være en uriktig inndeling - bl.a. fordi vannet (særlig i midtre fjords overflateskikt) i langt høyere grad ligner indre Oslofjords enn havets. For de beregninger som er utført etter det forenklete opplegg har denne inndeling dog ingen misvisende innflytelse på resultatene.

2.3 Vannmassenes horisontalinndeling

Det oseanografiske grunnlag for materialbalanseberegningene - det hydrografiske basisprogram ¹⁾ - omfatter fysiske og kjemiske undersøkelser på de stasjoner som er vist i fig. 2b. På den enkelte stasjon ble målingene utført i (eller laboratorieprøver hentet fra) standarddyp etter skalaen 1, 4, 8, 12, 16, 20, 40, 60, 80, 120, 160, og 200 m. Dypeste prøve var alltid justert til ca. 5 m over bunnen. Figur 3 viser standardmåledypene på de to stasjoner som beregningene foreløpig er bygget på.

Horisontalinndelingen av vannmassene er foretatt slik at seksjonsskillene faller i prøvedypene (figur 3). Da beregningene ikke er utført for seksjoner over 20 m-flaten er detaljinndelingen her ikke tegnet inn. Skilleflatene for prøvedyp under 120 m er sløffet ²⁾.

Tabellen på figur 3 viser hvilke ledd i ligningen som har praktisk aktualitet for de forskjellige seksjoner.

1) Nærmere omtalt i prosjektets delrapporter 16 og 17.

2) Denne plassering av skilleflatene kunne velges. Flatene kunne like godt ha vært plassert annerledes, såfremt de lå slik at hver seksjon hadde en indre analyseverdi-eller som nu to randverdier. Valget spiller ingen vesentlig rolle for resultatene, men det er mulig at plassering av skilleflatene mellom analysedypene hadde gitt noen mindre forskyvninger i resultatene. Skilleflaten i 20 meters dyp var et naturlig valg fordi Drøbakterskelens dyp er 20 m (egentlig 19,5 m). Kfr. dog fotnote 2 side 78.

2.4 Det forenklete materialbalanseopplegg

Den komplette materialbalanseligning fra kapitel 1 hadde formen

$$E = T + A + B + D_{\phi} + D_n + D_y + D_i + P_{\phi} + P_n + P_y + P_i + U + F$$

Av disse 14 variable er bare fire kjent (d.v.s. at måledata finnes) - nemlig

E = endring
 D_φ = øvre diffusjon
 D_n = nedre diffusjon
 T = tilførsler

og blant dem er bare de tre førstnevnte gitt for de enkelte seksjoner, mens den sistnevnte kun er kjent for indre fjord som helhet.

For at ligningen skal kunne løses, må totalantallet av variable bare være én større enn antall kjente variable. Dette innebærer at 9 av de 10 ukjente variable må elimineres fra ligningen.

Det har vært mulig å foreta en så drastisk innkortning av ligningen. Riktig nok har dette gått ut over dens anvendbarhet og gyldighetsområde, men dog ikke i så stor grad at den har mistet sin nytteverdi.

Eliminasjonen har ført til at materialbalansen må beregnes i to trinn. I første trinn benyttes en konsis, men sterkt beskåret ligning hvor også den kjente variable T er blitt borte. Dette trinn benyttes bare for balansen mellom de enkelte seksjoner i hvert basseng og kan passende betegnes som den "interne ligning". I neste trinn betraktes balansen mellom hele indre fjord og dens omgivelser. Denne balanse er betegnet som den "totale balanse". Den bringer T inn igjen, men samtidig også alle de eksterne variable.

Innkortningen av ligningen til intern form bygger på følgende forutsetninger

- a. Seksjonsutvalget begrenses prinsipielt til bare de seksjoner som ligger lavere enn mellomterskelen på ca. 50 m (terskelen mellom Bygdøy og Nesodden). Derved bortfaller horisontaldiffusjonsleddene (D_y og D_i), atmosfæreutvekslingsleddet A og dessuten det kjente ledd T.

- b. Parameterutvalget begrenses til oppløste komponenter. Derved bortfaller alle de 4 P-leddene samt B-leddet.
- c. Beregningstidsrommene begrenses til prinsipielt å omfatte perioder med stagnerende vann under mellomterskelnivået. Derved bortfaller utskiftningsleddet U.

Dette gir følgende innkortede ligning som resultat:

$$E = D_{\phi} + D_n + F$$

med leddet F= frigjøring/forbruk som eneste ukjente variable.

Den totale balanse, som altså gjelder indre fjord som helhet versus dens omgivelser, er ingen konsis ligning, men nærmest en praktisk og nyttig oppstilling av de kjente og ukjente variable som inngår. Både oppløste og partikulære komponenter er med i denne oppstilling. Den har formen

$$T = E + B + U + H + A$$

hvor det nye ledd H er et samleledd for alle typer av materialoverføring mellom indre fjords seksjon I og havet utenfor. Leddet, som bare inkluderer variable som allerede finnes i den komplette ligning, er nærmere definert i avsnitt 4.3.

2.5 Beregning av de enkelte kjente variable i materialbalanseligningen

Begge de nye ligninger (den interne og den totale) har dimensjonen materialmengde pr. tidsenhet. De er gyldige kun for datasett hvor alle variable representerer samme tidspunkt eller tidsintervall, og kan settes opp isolert for hvert tidspunkt eller tidsintervall som har slik datadekning.

Hoveddatagrunnlaget for materialbalansen er originalmålingene fra det hydrografiske basisprogram. De aktuelle stasjoner og måledyp her er allerede vist (fig. 3). Måleprogrammet strakte seg over de 4 årene 1962 - 1965, men ikke alle parametre er representert gjennom hele denne periode. Målefrekvensen var 12 - 15 tokt pr. år med noe varierende tidsavstand mellom de enkelte tokt. Originaltallene foreligger fra EDB-maskin i to tabellversjoner og en grafisk versjon (kfr. Delrapport 17).

De tall som er innsatt for de tre kjente variable E , D_{ϕ} og D_n i den interne ligning er bearbejdede tall basert på disse originaltall. Det meste av bearbejdelsene er utført ved hjelp av EDB. Bearbejdelsene er foregått slik som i korte trekk beskrevet i avsnittene 2.51 og 2.52 nedenfor.

Den eneste del av datagrunnlaget som ikke stammer fra det hydrografiske basisprogram, gjelder tilførslene. Dataene her er hentet i allerede bearbejdet form fra Delrapport 11.

For den interne ligning foreligger det en mulighet til kontroll av at de kjente variable er av riktig størrelsesorden. Denne mulighet er benyttet (avsnitt 3.14).

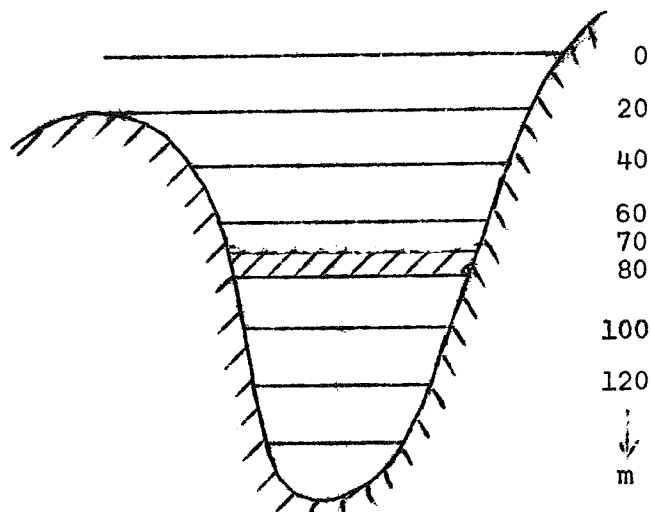
2.51 Den variable E (beholdningsendring) og den hjelpevariable Q (seksjonens komponentinnhold)

Prosjektets originaltall angir - for hver komponent, stasjon og dato - konsentrasjonene i de enkelte standard-dyp. Hver stasjon representerer som tidligere nevnt sitt basseng. Vi har her forutsatt at konsentrasjonene varierer lineært fra det ene måledyp til det neste, og at konsentrasjonene er ens i horisontalplanet i alle dyp. Vannarealet (den våte horisontalflate) i de enkelte bassenger er kjent som funksjon av dypet (Delrapport 15).

På basis av disse opplysninger er innholdet av de enkelte komponenter beregnet for hver seksjon og dato for seg. Beregningene, som originalt er utført for hver 10 meter tykke skikt og deretter for de aktuelle seksjoner ved addisjon av skiktverdiene, er basert på prinsippformelen

$$\text{komponentinnhold} = \text{middelkonsentrasjon} \cdot \text{volum}$$

Som eksempel var beregningsformelen for 10 meter-skiktet mellom 60 og 70 meters dyp i Bunnefjorden



$$Q_{60/70} = \frac{C_{60} + C_{70}}{2} \cdot \frac{(A_{60} + A_{70}) \cdot (70 - 60)}{2} \cdot 10^6$$

hvor

Q = komponentinnholdet i tonn

C_z = komponentkonsentrasjonen i mg/liter vann i dypet z

A_z = bassengets horisontalareal i m^2 i dypet z

10^6 = en dimensjonsfaktor

En feil er introdusert her, idet formelen egentlig burde ha vært

$$Q_{60/70} = 10^6 \cdot \int_{60}^{70} C(z) \cdot A(z) \cdot dz ,$$

men feilene blir med de aktuelle data så små at de ikke får noen praktisk betydning (kfr. avsnitt 3.5241).¹⁾

Som eksempel på resultater av denne beregning viser fig. 4 en tabell-side for parameteren ortofosfat i bassenget Bunnefjorden.²⁾ Et håndtegnet diagram over de samme verdier finnes senere i rapporten (i fig. 7a).

Som nevnt (i avsnitt 2.4) var en av forutsetningene for den forenklaede ligning at vannet under 50 m dyp skulle være stagnerende i angjeldende tidsrom³⁾. Denne forutsetning ga grunnlaget for valg av de tidsperioder som materialbalansen skulle beregnes for. På basis av et par figurer i Delrapport 2 (dens figurer 37 og 40) er det laget en illustrasjon (fig.5) som viser vekslingene mellom stagnasjons- og masseutskiftningsperiodene i indre fjord.

1) Feilen kom inn i EDB-programmet ved en misforståelse. Den ble oppdaget først etter at meget av det manuelle etterarbeide var gjennomført, slik at det var for sent å gjenta hele beregningsforløpet.

2) EDB-tabell NR 0023/9

3) Med stagnerende vannmasser menes her at disse i det aktuelle tidsrom ikke blir utskiftet ved massiv (advektiv) utbytning. Diffusiv utbytning foregår som tidligere nevnt hele tiden. Dypvannets utskiftningsmekanismer er inngående beskrevet i Delrapport 2 og også forklart i Samle-rapporten.

Figuren viser at Vestfjorden hadde massiv-utskiftning hver vinter og stagnasjonsperiode i de mellomliggende sommerhalvår. 60 m-kurven og de dypere kurver viser et meget konsist forløp i så måte, mens 40 m-kurven viser at forstyrrelser hadde begynt å gjøre seg gjeldende i dette dyp. For nivået over 40 m, hvor raskere advektive og andre prosesser ville ha gitt mer kompliserte forløp, er kurvene ikke inntegnet.

For Bunnefjorden under 80 m viser figuren en sammenhengende stagnasjonsperiode fra mars 1963 som ennå ikke var slutt ved utgangen av 1965. Vannet i 60 m og særlig i 40 m dyp viser innflytelse fra de årlige vinterinnstrømninger i Vestfjorden og er derfor stagnerende bare i sommerhalvårene.

Stagnasjonsperiodene, markert på fig. 5, kommer på tilsvarende måte også frem i Q-diagrammene, som f.eks. i den ovenfornevnte fig. 7a. Ved valget av beregningsperioder ble sistnevnte type brukt. Da kurvene ikke var helt like fra år til år og heller ikke helt synkrone i sine årstidspregede svingninger for de to bassenger, ble periodene fastsatt individuelt for hvert år og hvert basseng. For samme år og basseng ble periodene med ett unntak valgt like for alle parametre, selv om deres diagrammer ikke alltid var helt synkrone (kfr. avsnitt 3.5241).

Verdien av E for den enkelte beregningsperiode, seksjon og parameter - som er lik differansen i komponentinnhold mellom slutt og begynnelsesdato - er i praksis plukket ut fra tabeller av type som vist i figur 4, men kunne i og for seg også ha vært lest ut grafisk fra diagrammer som vist i fig. 7a.

For til en viss grad å eliminere virkningene av de mer kortvarige svingninger som kommer til syne i Q-kurvene, ble - så fremt disse ikke viste særlig stabile forløp - middelverdiene fra to nabotokt og ikke verdien fra det enkelte tokt brukt som basis ved differanse-beregningene. Tidspunktene for begynnelse og/eller slutt av en periode ble i slike tilfelle fastsatt til midt mellom nabotoktene.

2.52 De kjente variable D_{\emptyset} og D_n (øvre og nedre vertikaldiffusjon)

Diffusjonstransport gjennom en horisontalflate i vannet i mengde pr. tidsenhet er gitt ved formelen:

$$D = K \cdot A \cdot \frac{\partial c}{\partial z}$$

hvor

D = vertikaltransport pr. tidsenhet gjennom horisontalflaten A

A = horisontalflatens areal

K = en diffusjonskoeffisient

$\frac{\partial c}{\partial z}$ = gradienten av konsentrasjon (c) med hensyn til dypet (z)

Formelens dimensjonsbilde har ved vår beregning vært følgende:

$$\frac{\text{kg}}{\text{døgn}} = \frac{\text{m}^2}{\text{døgn}} \quad \text{m}^2 \quad \frac{\text{kg/m}^3}{\text{m}}$$

(D) (K) (A) ($\frac{\partial c}{\partial z}$)

Hvordan de hjelpevariable K , A og $\frac{\partial c}{\partial z}$ er beregnet, er vist i de følgende avsnitt. Selve beregningen av D for de forskjellige horisontale seksjons-skilleflater er utført på EDB-maskin. Utdrag av resultattabellene er vist i fig. 8 senere i rapporten.

2.521 Den hjelpevariable K (diffusjonskoeffisienten)

Verdiene av diffusjonskoeffisienten K i den viste formel finnes angitt i Delrapport 2 (fig. 44 - 47). Diffusjonskoeffisienten er selv ikke en konstant, men en funksjon av dyp og tid, individuell for det enkelte basseng. Den finnes foreløpig beregnet bare for de to bassenger Bunnefjorden og S/m Vestfjorden, men grunnlag foreligger som nevnt også for beregning for de øvrige tre bassenger. Beregningene, som kun foreligger for sommerhalvåret 1963, er utført for hvert tokt separat, (fig. 6a) men disse enkeltkurver er etterpå trukket sammen til middelkurver (fig. 6b).

Mens våre materialbalanseberegninger stort sett er basert på data fra årene 1962 - 1965, er altså K -verdiene fra Delrapport 2 basert på sommerhalvåret 1963 alene. Da det ikke kunne la seg gjøre innen prosjektrammen å få utvidet K -beregningene til å gjelde alle 4 år, ble den utvei valgt å benytte 1963 - tallene for alle prosjektår. Senere har vi imidlertid foretatt en justering av disse K -verdier (avsnitt 3.3).

2.522 Den hjelpevariable A (horisontalarealet)

Faktoren A, som for hvert basseng angir horisontalarealet i de aktuelle dyp, er hentet fra Delrapport 15.

2.523 Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$ (komponentgradienten)

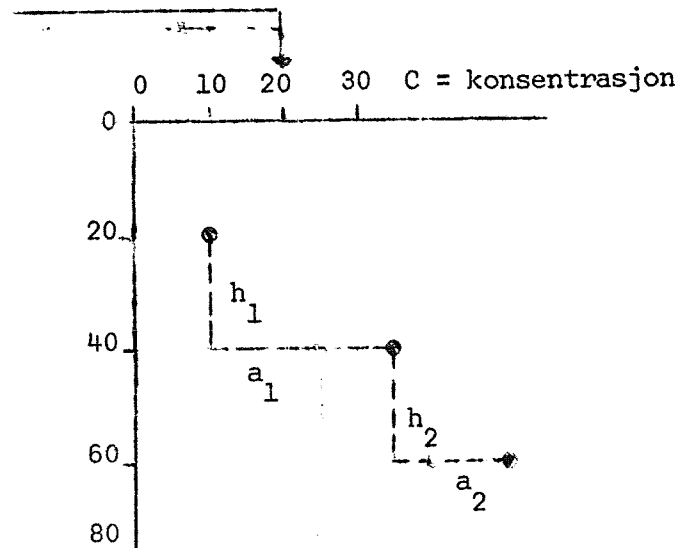
Faktoren $\frac{\partial c}{\partial z}$ står for konsentrasjonsgradienten med hensyn til dypet for de forskjellige komponenter. Verdien av denne faktor kan ikke beregnes eksakt, men tilnærmet på flere måter ut fra de foreliggende data. Nærliggende metoder å prøve i denne forbindelse er:

- a. Den lineære metode:

$$\frac{\partial c}{\partial z} = \left(\frac{a_1}{h_1} + \frac{a_2}{h_2} \right) \cdot \frac{1}{2}$$

- b. Den best mulige tilpasning av et tredjegrads-polynom til 4 og 4 punkter.

- c. Den best mulige tilpasning av en parabel gjennom 3 og 3 punkter.



For å undersøke hva valget blant disse tre metoder kunne bety for resultatene, ble materialbalanseligningen gjennomregnet for alle tre metoder for én parameter - salt. (Nærmere beskrevet i avsnitt 3.2.) Det viste seg at resultatene ble temmelig like, og den enkleste metode (a) ble deretter valgt som standard for de videre beregninger.

2.53 Den variable T (tilførsel fra landsiden)

Indre fjords tilførsler fra landsiden er beregnet i Delrapport 11 for en rekke komponenter. De der angitte tall bygger stort sett bare på målinger gjennom et par uker et par ganger i løpet av året 1965, og de kan på denne basis ikke regnes som representative hverken for året 1965 eller for prosjektperioden som helhet. Den slags målinger er dessuten særs vanskelige å gjennomføre - og også av denne grunn vanskelig å få representative. Tallene

er imidlertid blitt kontrollert og justert på grunnlag av kjente spesifikke avløpstall fra litteraturen, (spesifisert for befolkning, industri, jordbruks- og skogsarealer) og må derfor antas å være gyldige i grove trekk - hvilket vil være tilstrekkelig for vårt formål.

Tallene i Delrapport 11 er - som middeltall for året - angitt både for indre fjord som helhet og for de enkelte soner som fjorden er oppdelt i. På grunn av de raske forflytninger av overflatelagets vannmasser internt i indre fjord og ut og inn av fjorden vil det dog ikke være riktig å tilordne de tilførsler som kommer til ett sted i fjorden bare til det ene basseng som mottar dem. Leddet T er derfor tatt med bare i den utgave av ligningen som gjelder for hele indre fjord under ett - den totale balanse.

2.6 Valg av parametre

Den forenklete materialbalanseligning gjelder kun for oppløste komponenter, og prosjektets datamateriale fra fjorden omfatter følgende seks slike:

salt	nitrat
oksygen	filtratfarge
ortofosfat	lignosulfonsyre

Dessuten kan parameteren varmemengde beregnes på grunnlag av temperaturmålingene analogt med de oppløste komponenter.

For at materialbalanseligningen skal kunne brukes med noenlunde trygghet for en parameter, må den representere et så langt tidsrom med stagnerende dypvann at verdiene for akkumulert endring og/eller forbruk/frigjøring har nådd dominerende nivå i forhold til de mer kortperiodiske svingninger i disse verdier. Likeledes må det foreligge så mange analyseverdier på tidskurven at tilfeldige variasjoner i diffusjonsleddet blir utjevnet.

Alle de seks oppløste komponenter samt varmemengde er representert med tidsrom på minst 2 sommerhalvår og en toktfrekvens høyere enn 1 gang pr. måned. To av dem, filtratfarge og lignosulfonsyre, utviser imidlertid store og raske konsentrasjonsendringer i løpet av stagnasjonsperiodene som gjør dem mindre kurante å beregne. Disse to er derfor utelatt i denne omgang - bortsett fra at visse kvalitative betraktninger omkring filtratfargen er fore-

tatt (kap. 5). Komponenten salt som hverken frigjøres eller forbrukes i stagnasjonsperiodene (slik at dens ligning har F-leddet = 0) er benyttet for spesielle kontrollberegninger (avsnitt 3.14). Komponentens varmemengde kunne forsåvidt også med visse tillempninger ha vært brukt som kontrollkomponent, men den er utelatt foreløpig fordi de små temperaturgradienter i dypvannet ville ha gitt nokså diffuse resultater, og fordi parameterens varmemengde for dypvannet i seg selv foreløpig er av relativt liten interesse i prosjektsammenheng.

Dermed står det 3 komponenter igjen - oksygen, ortofosfat og nitrat - og for disse tre er materialbalansen beregnet. For ortofosfat var beregningsgrunnlaget i prinsippet greit, mens det for oksygen og nitrat forelå en komplikasjon - nemlig den at nitrat ved oksygenmangel i vannet blir spaltet og avgir oksygen. Dette problem er nærmere behandlet i neste avsnitt. Fordi de tre komponenter sett i sammenheng ville gi langt mere verdifulle informasjon enn ortofosfat alene, ble det på tross av denne vanskelighet allerede fra begynnelsen av tatt sikte på å få dem alle med.

2.61 Oksygen og organisk stoff

Oksygen er en forbruksvare i dypvannet, idet det deltar i dekomponeringen av de organiske stoffer som i partikulær form eller ved diffusjon vandrer nedover mot bunnen. Ved dekomponeringen inngår oksygenet reaksjoner med hydrogen (H_2) under dannelse av vann (H_2O) og med karbon (C) under dannelse av kulldioksydgass (CO_2). Oksygen i dypvannet blir stort sett ikke borte på andre måter enn disse.

Hvis tilførselsene av oksygen nede i dypet ikke holder tritt med forbruket, slik at det oppstår oksygenmangel, vil dekomponeringen begynne å ta oksygen fra nitratjonet (NO_3^-) i sjøen, og når denne reserve er oppbrukt, vil sulfatjonet (SO_4^{--}) angripes. Når også denne kilde er oppbrukt, vil dekomponeringen begynne å foregå i andre former som ikke forbruker oksygen¹⁾.

1) Dekomponeringen blir da mindre komplett. Produktene vil ikke lenger være vann og kulldioksyd, men stoffer som metangass (CH_4), ammoniakk (NH_3) m.v.

Oksygen tilføres de dypere vannlag delvis ved diffusjon ovenfra og delvis ved massivutskiftninger av oksygenfattig eller oksygenfritt, gammelt vann med friskt, oksygenrikt vann utenfra.

I materialbalanseligningen for oksygen vil omdannelsen fra O_2 til H_2O og CO_2 registreres som tap (forbruk) av oksygen, mens diffusjonstilførsel regnes som inntekt. Tilførsel som følge av massivutskiftning av vannmasser kommer ikke inn i ligningen, fordi denne jo bare skal gjelde i stagnasjonsperioder hvor slik utskiftning ikke skal foregå.

Organisk stoff tilføres fra landsiden (fra boliger, industri, jordbruk og natur) og produseres dessuten ved plantevekst i sjøen.

Prosjektets marine data omfatter målinger av vannets innhold av oksygen gjennom alle fire år (Bilag 1). De produkter som er dannet på bekostning av oksygenet, (H_2O og CO_2) finnes det derimot ingen mengdemålinger av. Tilførselsmålingene fra Delrapport 11 omfatter mengde organisk stoff, angitt som den mengde O_2 dette vil trenge for å dekomponeres totalt i sjøen. Mengdebetegnelsen for organisk stoff, målt på denne måte, er: "oksygenforbruk" - forkortet OF ¹⁾.

En tilstrekkelig oksygentilførsel er nødvendig for at fjordvannet skal kunne holde seg friskt. De praktiske konsekvenser av oksygenmangel er at vannet (og bunnen) råtner.

For materialbalanseberegningen er oksygen en nyttig parameter, fordi den som forbruksvare gir et mål for hvor meget organisk stoff som tilføres og nedbrytes i de dypere vannmasser.

1) Betegnelsen "oksygenforbruk" som er vanlig brukt som standardbetegnelse for denne parameter, kan virke forvirrende. Betegnelser som "oksygenforbrukskapasitet", "oksygenforbrukspotensial" eller "oksygenbehov" dekker meningen bedre. Det tilsvarende engelske uttrykk er "oksygen demand".

2.62 Ortofosfat

Fosfor kan opptre i mange former. For vår materialbalanseberegning er en forenklet gruppering av dem tilstrekkelig:

"Ortofosfat" (PO_4^{---}) er fosfor i den enkleste uorganiske form som er oppløselig i sjøvann. Det danner svakt oppløselige salter med en del positive joner som f.eks. jern, og absorberes dessuten lett til mange partikkeltyper i sjøen.

"Andre oppløselige fosforforbindelser" skal her stå som betegnelse for alle oppløste fosforforbindelser som ikke registreres ved ortofosfat-analysen. Oppløselig organisk fosfor og endel polyfosfater inngår her.

"Partikulært fosfor" skal her betegne alt fosfor som inngår som bestanddel i organiske og uorganiske partikler.

"Total-fosfor" omfatter alle disse grupper.

Fosfor tilføres fjorden fra landsiden. Det kommer fra boligkloakk, industri-avfallsvann, jordbruks og naturarealer og vil i tilførslene som regel finnes i alle de tre former som er nevnt ovenfor. Det fosfor som når ned i de dypere vannlag, kommer hovedsakelig dit som bestanddel av synkende fosforholdige partikler - som enten er primærpartikler (d.v.s. partikler direkte tilført fra landsiden) eller sekundærpartikler (d.v.s. synkende døde marine organismer). I dypet eller etter at de har nådd bunnen vil disse etterhvert dekomponeres og fosfor vil frigjøres i form av ortofosfat.

Av det ortofosfat som på denne måte tilføres det stagnerende dypvann, bringes en del oppover ved diffusjonsprosessene. Noe utfelles til uoppløselige salter eller bindes til partikler og havner på bunnen. Sammen med dette kommer her det partikulære fosfor som ikke blir frigjort ved dekomponering før det når bunnen. Av de partikulære fosfor som på disse måter havner på bunnen, vil en del før eller siden bli reoppløst og ført ut i vannmassen igjen, mens resten blir neddyngnet i sedimentet og forsvinner fra materialbalanseligningen for godt. Det fosfor som hverken diffunderer bort fra dypvannet eller blir neddyngnet i sedimentene, vil etterhvert bli akkumulert i dypvannet.

Prosjektets marine data omfatter målinger av ortofosfat i filtrerte prøver gjennom alle 4 år og totalfosfat i ufiltrerte prøver bare for 1965. (Bilag 1). Delrapport 11 gir tall for tilførsler av ortofosfat (filtrerte prøver) og totalfosfat (ufiltrerte prøver).

Fosfor er et av de næringsstoffer som algene trenger for å vokse, og mangel på tilgjengelig fosfor (oppløst ortofosfat) i overflatelaget (vekstsonen) kan ofte være begrensende for algeveksten i indre Oslofjord. Materialbalanseligningen gjør det mulig til en viss grad å se hvordan det tilførte fosfor fordeler seg i og senere forlater indre fjord.

2.63 Nitrat

Også nitrogen opptrer i mange former. For vårt formål her er det nødvendig å nevne:

Nitrat (NO_3) som er den stabile uorganiske oppløste form i oksygenrikt vandig miljø.¹⁾

Ammoniakk (NH_3) som er den stabile uorganiske oppløste form i oksygenfritt (anoksisk) miljø.¹⁾

Nitrogen (N_2) som er gassformig kvelstoff med en viss oppløselighet i vann og som er hovedbestanddelen i luft.

Organisk bundet nitrogen som betegner alle de forskjellige organiske stoffer (partikulære eller oppløste) hvor N er en av byggestenene. Analyseprogrammet omfattet ingen metode som registrerte absolutt alt organisk N, men den anvendte metode for BFA (=bundet + fri ammonium) dekker nesten alt.

N-stoffene tilføres fjorden fra de samme kilder som nevnt for fosfat-holdige stoffer. I tillegg kan N også fikseres fra luften av enkelte marine plantearter, men det er ikke kjent i hvilket omfang dette skjer i Oslofjorden.

1) Alle kjente uorganiske salter av NO_3 og NH_3 er lett oppløselige i vann, slik at nitrogenet i disse former ikke lar seg utfelle fra vannet som uoppløselige salter.

N når dypvannet først og fremst ved at synkende eller sunket partikulært materiale dekomponeres slik at N frigjøres. Hvis frigjøringen skjer i oksygenrikt miljø, oppstår NO_3 ; hvis den skjer i oksygenfattig eller anoksisk miljø, oppstår N_2 og NH_3 eller N_2 alene.

Av det oppløste nitrogen som slik tilføres dypvannet vil en del forsvinne oppover ved diffusjon, mens resten akkumuleres i vannet. Hvis frigjøringen skjer i oksygenfattig eller anoksisk miljø slik at også gassformig N_2 dannes i større mengder enn det vannet kan oppløse, vil overskuddet boble opp til overflaten og forsvinne ut i luften. Partikulært N i form av ikke-komplett dekomponert organisk materiale går etterhvert tapt ved neddygning på bunnen.

Prosjektets N-data omfatter hovedsakelig NO_3 (målt i filtrerte prøver). (Bilag 1) Noen $\text{NO}_2^{1)}$, NH_3 - og BFA-data foreligger også, men ikke i så stort antall at de kan få verdi for materialbalanseberegningene. Dette forhold gjør at materialbalansen ikke har komplett informasjonsdekning for oksygenfattige og anoksiske seksjoner og antakelig heller ikke helt i slike seksjoners nabo-seksjoner. Tilførselsdataene fra Delrapport 11 omfatter NO_3 (filtrerte prøver) og BFA (ufiltrerte prøver).

Også nitrogen er et av de næringsstoffer som algene trenger for å vokse i sjøen. Mangel på tilgjengelig nitrogen (nitrat, ammonium, aminosyrer m.v.) i vekstsonene antas ofte og i større grad enn fosfor å være begrensende for algeveksten i indre Oslofjord (kfr. Delrapport 10).

Materialbalanseligningen gjør det mulig til en viss grad å se hvordan det tilførte nitrogen fordeler seg i og senere forsvinner fra indre fjord.

2.64 Salt

Begrepet salt i denne forbindelse omfatter alle de anorganiske salter som finnes oppløst i sjøen. I åpent hav inneholder sjøvann gjerne 35-36 g salter/liter, mens innholdet i indre Oslofjord som regel varierer fra 15 i overflate-laget om sommeren til 33 - 34 i dypvannet året rundt. Havvannets innhold er noenlunde konstant, både i konsentrasjon og sammensetning, og når Oslofjorden

1)

En uorganisk, lett vannoppløselig form som opptrer i oksygenfattig vann.

viser lavere verdier, gjenspeiler dette stort sett bare graden av ferskvannsinnblanding og ingen andre prosesser.¹⁾

Komponenten salt spiller ikke, slik som de tre forannevnte komponenter, noen aktiv rolle i de kjemiske og biologiske prosesser som sammen gir fjorden dens mer eller mindre tydelige preg av forurensning. Indirekte spiller saltinnholdet (eller graden av ferskvannsinnblanding) derimot en viktig rolle, idet det - slik som vist i fig. 5 - utgjør en av de viktigste faktorer i fjordens vannutskiftningsmekanismer.

Prosjektets marine data omfatter målinger av saltholdigheten (saliniteten) gjennom alle 4 år.(Bilag 1).

Saltinnholdet har vært grunnlaget for beregningen i Delrapport 2 av den vertikale diffusjonskoeffisient K i fjordens dyp- og mellomskikt vannmasser (avsnitt 2.521).

Når salt er en nyttig parameter i våre materialbalanseberegninger, er det fordi det som konservativt element (d.v.s. at det hverken forbrukes eller frigjøres i vannet) kan benyttes som prøve på at den interne ligning er noenlunde korrekt formulert. (Kfr. avsnitt 3.14).

1) Egentlig tilføres havet stadig stoffer fra landsiden, og dessuten foregår det visse reaksjoner mellom sjøvann og dets omgivelser (atmosfære og bunn) som resulterer i transport av salter ut fra og inn til vannfasen. Disse prosesser er imidlertid så langsomme at de overhodet ikke får betydning i våre ligninger.

3. DEN INTERNE LIGNING - BEREGNING OG RESULTATER

Materialbalanseberegningenes "interne" del, som måtte bli noe eksperimentpreget, utviklet seg etter nedstående kronologiske linje. Parametre var salt, ortofosfat, nitrat og oksygen. Bassenger var Bunnefjorden og S/m Vestfjorden.

1. forsøk

- a. De nødvendige hjelpevariable ble beregnet. For den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$, som kunne beregnes på tre forskjellige måter, ble den enkleste, lineære metode (a) brukt.
- b. Den interne lignings kjente variable ble beregnet.
- c. Den interne ligning ble løst for alle komponenter og bassenger ("1.gangs ugyldige beregning").
- d. Resultatene ble kontrollert. Saltligningen (kontroll-ligningen) viste at diffusjonsleddet ga for høye verdier.

2. forsøk

- a. De to andre metoder (b og c) for beregning av den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$ ble brukt for alle parametre.
- b. De tilsvarende verdsett av diffusjonsleddet D ble beregnet for alle parametre.
- c. Den interne ligning ble løst for parameteren salt og bassenget Bunnefjorden på basis av hver av de to nye D-verdsett.
- d. Resultatene ble kontrollert. De forskjellige metoder ga noe forskjellige resultater, men ingen av dem bidro til å senke diffusjonsleddets verdinivå i betydelig grad.

3. forsøk

- a. Anvendelse av en reduksjonsfaktor "r" for den hjelpevariable K ble vurdert og valgt. Størrelsen av "r" ble bestemt ved spesielle beregninger.
- b. Det tilsvarende D-ledd ble beregnet for alle parametre. (Gradientmetode a ble brukt her).
- c. Den interne ligning ble, på basis at det nye D-verdi-sett, løst for parameteren salt og begge bassenger.
- d. Resultatene ble kontrollert. En tilfredsstillende reduksjon av D-leddet i saltligningen var oppnådd.
- e. Den interne ligning ble løst også for de andre parametre og begge bassenger. ("Endelig gyldig beregning").

Beregningene av de variable og hjelpevariable ble i størst mulig utstrekning utført på EDB-maskin. Mangel på programmeringskapasitet ved Norsk Regnesentral, og det tidspress som forelå med hensyn til resultater fra materialbalanseberegningene, medførte dog at mange av regneoperasjonene måtte utføres med bordregnemaskin. Som følge av dette kunne forsøks- og kontrollberegninger ikke bli utført i så stor utstrekning som det hadde vært ønskelig. Resultatene av beregningene er av denne grunn blitt noe mer diffuse og svakere underbygget enn grunnlaget kanskje gir mulighet for.

3.1 Første gangs (ugyldige) beregning

Det første forsøk på å løse den interne ligning ble gjennomført i full bredde med hensyn til bassenger og parametre, fordi det på dette tidspunkt i prosjekforløpet var ønskelig å få frem noen foreløpige resultater.

3.11 Beregning av de hjelpevariable

3.111 Den hjelpevariable Q

Den variable hjelpestørrelse Q (seksjonens komponentinnhold som funksjon av tiden - konferer avsnitt 2.51) ble beregnet for alle bassenger og alle

parametre som hadde systematisk datadekning. Tabell 1 viser hva beregningene omfattet.

Tabell 1 PARAMETERLISTE FOR BEREGNING AV DEN HJELPEVARIABLE Q

Parameter	Enhet	Tidsrom		Antall tokt i alt ⁴⁾
		Fra	Til	
Varmemengde	kilocal.	januar 1962	desember 1965	50 - 60
Salt	tonn	" "	" "	50 - 60
Oksygen	"	" "	" "	50 - 60
Ortofosfat	"	" "	" "	50 - 60
Totalfosfat	"	mars 1965	" "	ca. 10
Nitrat	"	april 1964	" "	ca. 20
Bundet og fri ammonium 1)	"	mars 1963	" "	ca. 10
Totaljern	"	oktober 1964	" "	ca. 15
Silisium	"	januar 1965	" "	ca. 10
Lignosulfon- syre	"	november 1962	" "	ca. 40
Turbiditet	2)	februar 1962	" "	ca. 45
Oppløste fargestoffer	3)	juni 1963	" "	ca. 30

- 1) Betydelig lavere toktfrekvens enn for de andre parametre
- 2) Ekvivalentmengde av SiO_2 i tonn
- 3) $^{\circ}\text{Hazen} \cdot \text{m}^3$ - som målt ved bølgelengde 4250 Å
- 4) Antallet varierer noe fra stasjon til stasjon

En tabellarisk oppstilling av alle beregnede Q-verdier finnes i EDB-utskrift NR 0023/9. (En eksempelside var vist i fig. 4). I nærværende rapport er Q-verdiene bare for de aktuelle bassenger og parametre tatt med - gjengitt i diagramform som figurene 7a og 7b. (Diagrammene for salt er ikke med).

3.112 Den hjelpevariable K

Verdiene av diffusjonskoeffisienten K for de aktuelle bassenger og dyp er lest ut fra figur 6b (avsnitt 2.521)¹⁾. Verdiene var:

Dyp i meter	Bunnefjorden	S/m Vestfjorden
20	0,05	0,09
40	0,24	0,51
60	0,35	2,06
80	0,51	3,16
120	1,19	5,50

3.113 Den hjelpevariable A

De enkelte bassengers horisontalareal er i tabell 2 angitt for hvert 10-meters dyp. Tabellen, som er gjengitt fra Delrapport 15, bygger direkte på planimetrivverdier for de anførte dyp.²⁾

3.114 Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$

Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$ ble beregnet på EDB-maskin etter den lineære metode (a) for begge bassenger og for de samme parametre som Q ble beregnet for (kfr. tabell 1). Verdisettet for $\frac{\partial c}{\partial z}$ er ikke gjengitt i denne rapport, men finnes i tabellform i EDB-utskrift NR 0023/13. (Kfr. avsnitt 2.523).

1) Det vil si at middelkurvene for K er benyttet. Benyttelse av originalkurvene fra de enkelte tokt (i fig. 6a) for de respektive toktdata-sett ville ikke ha noen hensikt så lenge K-verdien bare fantes for ett av de fire sommerhalvår som beregningene gjelder for.

2) Unntatt for 10-meters dypet, som har interpolerte verdier.

Tabell 3 STAGNASJONSPERIODENES VARIGHET OG AKKUMULASJONSVERDIER ("E" - VERDIER)

Bas-seng	Parameter	År	Stagnasjonsperiodens		"E" - verdier i seksjon						
			begynnelse	slutt	I	II	III	IV	V	VI	
					0 - 20 m	20 - 40 m	40 - 60 m	60 - 80 m	80 - 120 m	120 m - b	
Bunne- fjorden	Ort-P tonn	1962	april	sept.	-5,0	1,0	13,2	7,5	11,8	5,6	
		3	april-mai	okt.-nov.	16,3	9,3	8,0	7,1	4,8	0,7	
		4	- " -	- " -	12,6	1,7	0,6	3,0	6,6	2,2	
		5	- " -	- " -	18,0	2,1	4,0	5,8	9,7	4,2	
	Nitrat tonn	1962									
		3									
		4	april	okt.		41,0	28,0	7,9	10,3	2,2	
		5	april	okt.		55,5	25,0	18,1	13,4	2,5	
	Oksygen tonn	1962	Som for ort-P				- 150	- 990	- 269	- 101	- 7
		3				-2600	-1280	- 930	- 760	- 165	
		4				-1220	- 400	- 271	- 440	- 118	
		5				-1800	-1020	- 690	- 366	+ 7	
Salt tonn· 10 ³	1962	Som for ort-P				- 570	- 90	- 60	- 40	- 9	
	3				- 350	- 420	- 100	- 40	- 5		
	4				- 100	- 190	- 30	- 20	- 7		
	5				-1150	- 240	- 40	- 10	+ 1		
S/m Vest- fjorden	Ort-P tonn	1962	april	sept.	-11,5	-7,6	16,3	9,0	7,1	0,7	
		3	jan.	sept.	-55,8	5,4	14,0	10,5	12,6	0,3	
		4	mars	sept.	1,4	1,9	17,8	17,3	16,1	1,6	
		5	mars	nov.	-12,9	11,4	26,7	19,8	15,0	1,6	
	Nitrat tonn	1962									
		3									
		4	april	okt.		87,5	46,5	41,0	51,3	5,2	
		5	april	aug.		52,0	39,0	32,2	26,1	3,0	
	Oksygen tonn	1962	Som for ort-P				40	-2480	-2025	-1775	- 200
		3				-2320	-2080	-1560	-1490	- 159	
		4				- 120	-1400	-1675	-1750	- 193	
		5				-3330	-3620	-2650	-2040	- 204	
Salt tonn· 10 ³	1962	Som for ort-P				-1280	- 180	- 90	- 60	- 7	
	3				-1210	+ 30	- 60	- 20	+ 5		
	4				-1000	- 410	- 300	- 270	- 28		
	5				-2580	- 770	- 510	- 400	- 40		

3.12 Beregning av de kjente variable

3.121 Den variable E

Den variable E er for hver aktuell seksjon og parameter beregnet som differansen mellom slutt- og begynnelsesinnhold av komponenten i stagnasjonsperioden (kfr. avsnitt 2.51). I figurene 7a og b er stagnasjonsperiodens tidsavgrensninger valgt for de enkelte bassenger og parametre. Verdiene av differansene E, som er utplukket og beregnet for hånd fra Q-utskriften, er gitt i tabell 3.

3.122 De variable D og D ø n

Den variable D (diffusjon i kg/døgn gjennom de horisontale seksjonsskilleflater) er beregnet på EDB-maskin for hvert standarddyp i de to bassenger på basis av formelen $D = K \cdot A \cdot \frac{\partial c}{\partial z}$. Hvert tokt er beregnet for seg, og alle de parametre er med som Q er beregnet for (kfr. tabell 1). Verdiene finnes i EDB-utskrift NR 0023/8. En side fra denne tabell er vist som eksempel i figur 8.

3.13 Løsning av den interne ligning

Den interne ligning har formen:

$$E = D_{\emptyset} + D_n + F$$

hvor den eneste ukjente variable F står for frigjøring (dannelse) eller forbruk av den aktuelle komponent innen den enkelte seksjon.

Ligningen gjelder (kfr. avsnitt 2.4):

1. for den enkelte seksjon hver for seg. Seksjonsinndelingen er som vist i figur 3.
2. egentlig bare for seksjoner under mellomterskelnivået på 50 m - d.v.s. seksjonene IV (60 - 80 m), V (80 - 120 m) og VI (120 m - bunnen). I praksis er ligningen beregnet også for seksjonene III (40 - 60 m) og II (20 - 40 m), men resultatene for disse to er gjenstand for spesiell tolkning.

3. bare for perioder med stagnerende vann under mellomterskelnivå. En stagnasjonsperiode kunne, om man ønsket det, deles i flere perioder. Her er imidlertid de hele stagnasjonsperioder brukt - det vil i praksis si at det for hver parameter finnes én ligning for hvert sommerhalvår i observasjonstiden.¹⁾
4. bare for oppløste komponenter med systematisk datadekning og uten dominans av kortperiodiske svingninger - d.v.s. for parametrene ortofosfat (PO_4), nitrat (NO_3), oksygen (O_2) og salt.

Ligningen ble slik dimensjonert:

E = endring av seksjonens komponentinnhold i løpet av perioden

(hentet fra tabell 3) - er angitt i tonn. Økning er positiv, minskning negativ.

D_ϕ = diffusjonstransport gjennom seksjonens øvre flate. Diffusjonstallene fra de enkelte tokt (i tonn/døgn) er gitt i EDB-utskrift NR 0023/8 (kfr. fig. 8). Middeltallet for alle tokt i perioden er beregnet for hånd og multiplisert med antall døgn i perioden. Resultatet, som representerer netto diffusjon i tonn gjennom flaten i løpet av perioden, er satt inn i ligningen. Diffusjon oppover (d.v.s. ut av seksjonen) har fortegn minus, nedover har pluss.

D_n = diffusjon gjennom seksjonens nedre flate. Tallene er beregnet som ovenfor. Diffusjon oppover (d.v.s. inn i seksjonen) har fortegn pluss. Diffusjon nedover har minus.

F = frigjøring/forbruk innen seksjonen. Ligningen er løst med hensyn til dette ledd. Frigjøring av komponenten (d.v.s. at komponenten tilføres systemet) gir fortegn pluss, mens forbruk (komponenten fraføres systemet) gir minus.

I praksis var det hensiktsmessig å stille opp de enkelte ligninger i grupper, slik at hver gruppe representerte én parameter og én periode,

1) Under 80 m-nivået i Bunnefjorden var vannet stagnerende fra våren 1963 til vinteren 1966. For denne vannmasse isolert gjelder altså egentlig ikke dette at de hele stagnasjonsperioder ble brukt.

men alle seksjoner, i et basseng. Videre var det praktisk å omordne ligningen til formen:

$$0 = -E + D_{\phi} + D_n + F$$

Tabell 4 viser eksempel på gruppeoppstilling av en løst ligning.

Tabell 4 EKSEMPEL PÅ GRUPPEOPPSTILLING OG LØSNING AV DEN INTERNE LIGNING

Parameter: Ortofosfat						
Basseng: Bunnefjorden						
Tidsrom: April/mai 1964 - oktober/november 1964						
Enhet: Tonn P						
Antall døgn: 231						
(Metode: Gradientsett a, korrelasjonsfaktor $r = 0,5$)						
Seksjon m	Seksjonsgrenser i meter		-Endring (-E)	Øvre diffusjon D_{ϕ}	Nedre diffusjon D_n	Frigjøring (+) el. forbruk (-) (F)
	øvre	nedre				
I	0	20			+3,6	
II	20	40	-1,7	-3,6	+5,7	$(-0,4 + U_{II})$
III	40	60	-0,6	-5,7	+2,7	$(+3,6 + U_{III})$
IV	60	80	-3,0	-2,7	+3,1	+2,6
V	80	120	-6,6	-3,1	+2,5	+7,2
VI	120	bunn	-2,2	-2,5		+4,7

Oppstillingen kan primært tolkes slik:

I seksjon VI ble det i løpet av perioden (231 døgn) akkumulert 2,2 tonn P. Samtidig mistet seksjonen 2,5 tonn ved øvre diffusjon. I alt må det derfor (ved forråttelse av organisk materiale) være blitt frigjort $2,2 + 2,5 = 4,7$ tonn P i seksjonen i løpet av perioden.

I seksjon V ble det akkumulert 6,6 tonn. Seksjonen mottok 2,5 tonn ved nedre diffusjon, men mistet 3,1 tonn ved øvre diffusjon. I alt må det derfor være blitt frigjort $6,6 - 2,5 + 3,1 = 7,2$ tonn.

For seksjon IV kan en analog tolkning benyttes.

For de to seksjoner III og II som henholdsvis delvis og helt ligger over mellomterskelnivået, kan en slik tolkningsmåte av to årsaker ikke brukes uten videre¹⁾. Fordi F-verdiene for disse to seksjoner likevel er av interesse, (avsnitt 4.4) er de tatt med i resultat-tabellene, men tilført hvert sitt ukjente ledd (henholdsvis U_{II} og U_{III} og satt i parentes).

Som nevnt ble også denne første gangs beregning gjennomført for alle de aktuelle datasett. Det foreligger derfor i alt 28 slike oppstillinger som vist i tabell 4. Tabell 5 viser fordelingen av dem på bassenger, år og parametre.

Tabell 5 OVERSIKT OVER LIGNINGSGRUPPER VED FØRSTE GANGS BEREGNING

Komponent	Bunnefjorden				S/m Vestfjorden			
	1962	1963	1964	1965	1962	1963	1964	1965
Salt	x	x	x	x	x	x	x	x
Ortofosfat	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitrat			x	x			x	x
Oksygen	x	x	x	x	x	x	x	x

3.14 Kontroll av resultatene fra 1.gangs beregning

En kontroll av ligningen for komponenten salt viste at resultatene kunne være tvilsomme. Som tidligere forklart (avsnitt 2.6) burde nemlig leddet F her ha vært omtrent lik 0 for hver seksjon. I praksis ble det som regel betydelig større enn 0. Eksempelvis ser ligningsgruppen for salt i Bunnefjorden 1964 slik ut.

1) For det første vil det i seksjonene over mellomterskelnivået foregå utskiftninger mellom bassengene (ved horisontaldiffusjon og vannmasse-utvekslinger) og for det andre kan vi ikke regne med komplett stagnasjon gjennom hele sommerhalvåret for seksjonene III og II.

Tabell 6 EKSEMPEL PÅ SALTIGNING FRA FØRSTE GANGS BEREGNING

Parameter: Salt						
Basseng: Bunnefjorden						
Tidsrom: April 1964 - november 1964						
Enhet: tonn · 10 ³ salt						
Antall døgn: 231						
Metode: (Gradientsett a, korreksjonsfaktor r = 1)						
Seksjon m	Seksjonsgrenser i meter		-Endring (-E)	Øvre diffusjon D _ø	Nedre diffusjon D _n	Frigjøring (+) eller forbruk(-) (F)
	øvre	nedre				
I	0	20			+740	
II	20	40	+100	-740	+860	(-220 + U _{II})
III	40	60	+190	-860	+315	(+355 + U _{III})
IV	60	80	+ 30	-315	+186	+ 99
V	80	120	+ 20	-186	+ 22	+144
VI	120	bunn	+ 7	- 22		+ 15

F-leddet har her - for 1964 - fått verdier av samme størrelsesorden som de andre ledd. For de andre tre observasjonsår var F-tallene en del mindre, men likevel for store i forhold til de andre ledd.

Neste tabell (7), som omfatter alle 4 år, viser dette. Tallene er her omregnet til tonn/døgn for å gjøre dem sammenlignbare. Også middeltallene for de fire år er beregnet - og dessuten er for sammenligning de tilsvarende middeltall for leddene "E" og "D_n - D_ø" tatt med:

Tabell 7 MIDDELTALL 1962 - 1965 FRA SALTLIGNINGEN -
FØRSTE GANGS BEREGNING

Parameter:		Salt					
Basseng:		Bunnefjorden og S/m Vestfjorden					
Enhet:		Tonn salt/døgn					
(Metode:		Gradientsett a, korreksjonsfaktor r = 1)					
		Bunnefjorden			S/m Vestfjorden		
Seksjon		IV	V	VI	IV	V	VI
Meter dyp		60-80	80-120	120-bunn	60-80	80-120	120-bunn
Verdier av "F" i årene	1962	-107	+128	-43	+4561	+2401	+282
	1963	+267	+ 67	+24	+4244	+1998	+241
	1964	+429	+624	+65	+2600	+1865	+ 24
	1965	+239	+ 93	+61	+2945	- 335	- 36
Middel av "F" 1962 - 1965		+207	+228	+27	+3588	+1482	+128
Tilsvarende middel "E"		-285	-138	-25	-1104	- 867	- 82
Tilsvarende middel "D -D " n ø		-492	-366	-52	-4699	-2530	-209

Også ut fra middeltallberegninger viser altså kontroll-ligningen for høye F-verdier.

3.2. Forsøk med endring av den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$

En av de mulige årsaker til at F-leddet ble for høyt i saltligningene, kunne være at den anvendte beregningsmåte for hjelpevariabel $\frac{\partial c}{\partial z}$ ikke gjenspeilet de faktiske forhold med tilstrekkelig nøyaktighet. To andre beregningsmåter ble derfor prøvet (beskrevet i avsnitt 2.523 foran). De to nye verdsett for den hjelpevariable er foreløpig ikke utskrevet i tabellform, men finnes lagret i EDB-form.

Løsningen av den interne ligning ble i denne forsøksrunde bare utført for komponenten salt og for basseng Bunnefjorden.

Et sammendrag av resultatene er gitt i tabell 8. Det viste seg at de tre metoder ga noe divergerende verdier av F for de enkelte seksjoner, men at de likevel ga det samme helhetsbilde. Hvis man i tabellen ser på sumverdien av F for alt dypvann under 60 m, finner man nemlig omtrent de samme tall (henholdsvis 462, 455 og 459 tonn/døgn), og at forskjellen mellom metodene bare synes å gjøre seg gjeldende i den interne fordeling mellom seksjonene i dypvannet.

Konklusjonen på spørsmålet om gradientmetodens betydning for resultatene må i henhold til dette være at den benyttede enkle beregningsmetode (a) ikke kan være hovedårsaken til F -leddets avvik fra 0 i saltligningen. For å spare tid og omkostninger ble derfor bare gradientmetode a benyttet for de videre beregninger av materialbalansen.

3.3 Forsøk med endring av den hjelpevariable K

En annen av de mulige årsaker til at saltligningen ikke gikk opp, var at den hjelpevariable K (diffusjonskoeffisienten) var for høy.

Den mulighet forelå å beregne et nytt verdsett for K på basis av vår kontrolligning (saltligning) og bruke dette i ligningene for de andre parametre. Dette kan synes galt, i og med at de benyttede K -verdier (fra Delrapport 2) er fremkommet på basis av langt mer presise matematiske metoder enn hva vår materialbalanseberegning bygger på. Likevel kunne et slikt skritt forsvares, fordi tallene fra Delrapport 2 bygger på utjevnete saltanalyseverdier og en noe forskjellig betraktningssmåte, mens de nye verdier tross alt ville bygge på originaldata og på materialbalansens egen struktur.

Det skal i denne sammenheng minnes om at diffusjonskoeffisienten K ikke er en konstant. I prinsippet er den en funksjon av stedet, dypet og tiden. (Dette fremgår av de tidligere viste figurer 6a og b.) Variasjonene følger imidlertid visse mønstre, og ved visse tilnærmelser kan man i praksis lage representative middelkurver. Figurene 6a og b kan stå som eksempler på slike middelkurver laget som funksjon av dypet. Kurver av denne type vil kunne være meget forskjellige fra basseng til basseng, idet topografiske og hydrografiske forhold sammen vil være utslagsgivende. Forandringene

Tabell 8. SAMMENLIGNING AV DE TRE GRADIENTMETODER a, b og c.

Parameter: Salt Enhet: Tonn salt/døgn
 Basseng: Bunnefjorden (Metode: r = 1)

	Gradient metode	Enkelt-seksjoner						Summerte seksjoner			
		II 20-40	III 40-60	IV 60-80	V 80-120	VI 120-bunn	II-VI 20-b	III-VI 40-b	IV-VI 60-b	V-VI 80-b	
M Midlere frigjøring (+) eller forbruk (-) i angitt seksjon	a	-2900	+1794	+ 207	+ 228	+ 27	- 644	+2256	+ 462	+ 255	
	b	-1523	+ 944	+ 185	+ 320	- 50	- 123	+1400	+ 455	+ 270	
	c	-1948	+1796	+ 104	+ 341	+ 14	+ 307	+2255	+ 459	+ 355	
	midde	-2123	+1511	+ 226	+ 236	- 3	- 153	+1970	+ 459	+ 233	
D Midlere tilskudd (+) eller tap (-) ved diffusjon i angitt seksjon	a	+ 199	-2914	- 491	- 366	- 52	-3624	-3823	- 909	- 418	
	b	-1177	-2064	- 470	- 458	+ 24	-4146	-2969	- 904	- 434	
	c	- 752	-2916	- 389	- 479	- 40	-4576	-3824	- 908	- 519	
	midde	- 576	-2631	- 511	- 373	- 22	-4115	-3539	- 907	- 396	
M Midlere tilgang (+) eller avgang (-) i angitt seksjon	alle metoder	-2701	-1121	- 285	- 138	- 25	-4270	-1569	- 448	- 164	
	a	-2701	-1120	- 284	- 138	- 25	-4268	-1567	- 447	- 163	
	b	-2700	-1120	- 285	- 138	- 26	-4268	-1568	- 448	- 163	
	c	-2700	-1120	- 285	- 138	- 26	-4269	-1569	- 449	- 164	
Kontrollsummer $F + (D - D_n)$	midde	-2700	-1120	- 285	- 138	- 25	-4268	-1568	- 448	- 163	

fra år til år i samme basseng vil bare avhenge av de hydrografiske forhold alene og derfor ikke være så store. Dog vil også de være store nok til å kunne ha praktisk innflytelse på diffusjonskoeffisientens kurveforløp.

Det spørsmål kan reises om den dårlige tilpasning skyldtes at saltligningen var beregnet for de 4 årene 1962 - 1965, mens K var basert bare på dataene fra 1963. Resultatene i tabell 7 side 40 bekrefter dog ikke denne antagelse: For Bunnefjorden var tilpasningen riktignok noe bedre for 1963 enn for de andre år, (men ikke stor nok til å være tilfredsstillende), og for Vestfjorden var tilpasningen i 1963 dårligere enn midlet for de 3 andre år.

Det hadde vært ønskelig å få spørsmålet om beregningsmetoden for verdisetten K grundig utredet, men tiden tillot ikke dette. Den enklere utvei ble derfor valgt å få kontroll-ligningen til å stemme noenlunde ved å koble en reduksjonsfaktor (r) til K i den interne ligning slik at denne fikk formen:

$$D = r \cdot K \cdot A \cdot \frac{\partial c}{\partial z}$$

For å fastsette størrelsen av r ble en relativt enkel beregningsmetode prøvet som ga en r-verdi for hvert år og for hver seksjonsskilleflate i hvert basseng. Grunnlaget for r-beregningene var de forskjellige ledd i den interne ligning basert på gradientmetoden a, men som kontroll ble verdiene for Bunnefjorden dessuten beregnet også for de to andre gradientsett b og c. Metoder og gjennomføring av r-beregningene er nærmere beskrevet i rapportens bilag 2.

Det store utvalg av r-verdier viste en viss spredning, men innebar likevel en klar pekepinn om at en reduksjonsfaktor mellom 0,4 og 0,5 ville få saltligningen til å gå tilfredsstillende opp.¹⁾

Som praktisk prøve på konsekvensen av å bruke en reduksjonsfaktor ble saltligningen gjennomregnet for alle år og begge bassenger med faktoren

1) En finere analyse av tendensene ville antakelig ha gitt grunnlag for å sette opp et r-verdi-sett som funksjon av dyp og år, men dette ville ha medført betydelig mer arbeid og ble derfor sløyfet.

$r=0,5$. Prøvene viste et noe mer tilfredsstillende resultat, idet ligningen i middel gikk opp med en noenlunde akseptabel feilmargin. (Kfr. tabell 11 nedenfor i sammenligning med tabell 7 foran).

Tabell 9 MIDDELTALL 1962 - 1965 FRA SALTLLIGNINGEN ETTER INNFØRING AV REDUKSJONSFAKTOREN r .

Parameter:		Salt					
Basseng:		Bunnefjorden og S/m Vestfjorden					
Enhet:		Tonn salt/døgn					
Metode:		Gradientsett a, $r=0,5$					
		Bunnefjorden			S/m Vestfjorden		
Seksjon		IV	V	VI	IV	V	VI
Meter dyp		60-80	80-120	120-bunn	60-80	80-120	120-bunn
Verdier av "F" i årene	1962	-175	- 89	+ 2,6	+2020	+1027	+ 121
	1963	-106	- 62	+ 0,2	+2000	+ 959	+ 131
	1964	+149	+269	+17,1	+ 550	- 577	- 58
	1965	+ 25	+ 23	+32,9	+ 397	-1011	- 103
Middel av "F" 1962 - 1965		- 27	+ 35	+13,2	+1242	+ 100	+ 23
Tilsvarende middel "E"		-285	-138	-25,2	-1104	- 867	- 82
Tilsvarende middel "D -D" n ø		-258	-173	-38,3	-2345	- 965	- 105

Også for de enkelte år og seksjoner stemte ligningen stort sett bedre enn før, men spredningen mellom årene var fremdeles stor. Det er rimelig å tro at dette ihvertfall delvis skyldtes ulike hydrografiske forhold i de forskjellige år.

Beregningene av r -verdiene er utført for salt og gjelder strengt tatt bare for denne komponent. Da materialbalanseligningene for de andre komponenter og for salt er helt analoge, må det dog være mest korrekt å anvende den samme reduksjonsfaktor for dem alle.

3.4 Endelig (gyldig) beregning

Etter at den interne ligning ved endring av diffusjonsleddet var bragt til å stemme noenlunde tilfredsstillende for kontroll-komponenten salt, ble den gjennomregnet på nytt for de andre komponenter, (i samsvar med oversikten over ligningsgrupper i tabell 5 s. 38).

Resultatene, trukket sammen til middeltall for alle år, er vist i tabell 10. Resultatene fra de enkelte år er vist i neste avsnitt. Selve grunnberegningen, (ligningsgruppene av typen vist i tabell 4) er ikke tatt med i rapporten.

3.5 Kritisk vurdering av den interne lignings resultater

Tallene i tabell 10 representerer betydningsfulle informasjonen om stoff-husholdningen i dypvannet av indre Oslofjord. Hva resultatene består i, og hvilke konsekvenser de fører til, er først omtalt senere i rapporten (kap. 6) idet de må sees i sammenheng med de informasjonen som den totale balanseligning (kap.4) gir.

På grunn av resultatenes betydning på den ene side, og deres noe usikre beregningsgrunnlag på den annen, vil det være nødvendig å få vurdert i hvilken grad man kan stole på dem. At de ikke er særlige nøyaktige, kan man uten videre si ut fra deres tilblivelseshistorie, men det kan også være et spørsmål om de er riktige i grove trekk.

For å søke svar på dette kan man gå to veier. Man kan prøve å vurdere om svarene er logiske på basis av andre informasjonen, og man kan studere de mange usikkerhetsmomenter og feilkilder som kan ha satt sitt preg på resultatene.

Begge disse veier er fulgt til en viss grad, men tid og økonomi tillot ikke at de eksisterende muligheter i så henseende ble utnyttet fullt ut. På basis av det som er utført, må følgende konklusjon kunne trekkes:

1. Hverken resultatene selv eller de konsekvenser som man kan avlede av dem er i strid med hva man logisk kan vente.
2. Feilkilder og usikkerhetsmomenter kan ha hatt betydelig innflytelse på tallverdiene, men sannsynligvis ikke i så stor grad at de svekker grunnlaget for de hovedkonklusjoner som rapporten gir.

Tabell 10. SAMMENDRAG AV BEREGNINGSRESULTATENE FRA DEN INTERNE LIGNING 1) 2)

Pare- meter 3)	Bunnefjorden (stasjon Dp 98)												S/m Vestfjorden (stasjon Fl 1)											
	Enkeltseksjon						Summerte seksjoner						Enkeltseksjon						Summerte seksjoner					
	II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120-b m	VI 120-b m	II-VI 20-b m	III-VI 40-b m	IV-VI 60-b m	V-VI 80-b m	II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120-b m	II-VI 20-b m	III-VI 40-b m	IV-VI 60-b m	V-VI 80-b m					
E = økning (+) eller minskning (-) i seksjonen	+16,9	+33,7	+29,3	+41,1	+16,2	+137	+120	+86,6	+57,3	+8,9	+88,2	+66,1	+59,0	+5,0	+218	+218	+130	+64,0						
	+253	+137	+69	+62	+12,2	+533	+280	+143	+74,1	+423	+271	+228	+229	+24,7	+1175	+752	+481	+253						
	-6800	-4600	-2600	-2000	-330	-16200	-9500	-4900	-2300	-6000	-11300	-9400	-8400	-910	-36000	-30000	+18700	-9300						
$D_n - D_0$ = netto tilgang (+) eller avgang (-) ved diffusjon til og fra seksjonen	+13,3	-7,7	+3,3	-7,8	-10,1	-9,1	-22,4	-14,7	-18,0	+125	-68,1	+11,5	+2,5	-0,28	-41,9	-54,4	+13,7	+2,2						
	-5,6	-32,7	+19,2	-1,5	-11,5	-32,1	-26,5	+6,2	-13,0	+24	-233	+28	+21	+1,5	-158	-182	+51	+23						
	-210	+530	+130	+200	+410	+1060	+1270	+740	+610	+2200	+6200	-2200	-1620	-80	+4500	+2300	-3900	-1700						
F = frigjøring (+) eller forbruk (-) i seksjonen	+3,6	+41,4	+26,0	+48,9	+26,3	+146	+142	+101	+75	-3,6	+156,3	+54,6	+56,5	+5,3	+269	+273	+117	+62						
	+259	+170	+50	+63	+24	+565	+306	+137	+87	+399	+504	+200	+208	+23	+1333	+934	+430	+231						
	-6600	-5100	-2700	-2200	-740	-17300	-10700	-5600	-2900	-8000	-17500	-7200	-6800	-830	-40400	-32300	-14800	-7600						

1) Tabellen angir middelverdier som representerer årstiden vår - sommer - høst gjennom 2 eller 4 år (årene 1964 - 1965 for NO₃-N, årene 1962 - 1965 for Ort-P og Oks.)

2) Beregningene er basert på: Data fra EDB-utskriftene NR 0023/8 og 9.

Gradientmetode a (linear)

Diffusjonskoeffisienter fra delrapport 2 - redusert med faktoren r = 0,5

3) Ort-P = ortofosfat angitt som kg P/døgn
 NO₃-N = nitrat " " kg N/døgn
 Oks = oksygen " " kg O₂/døgn

4) Diffusjonstallene for de enkelte seksjonsskilleflater kan leses ut fra disse linjer under kolonnene "summerte seksjoner", idet jo D_n-verdiene for bunnen alltid = 0.

Tabell 10.

3.51 Logiske vurderinger

3.511 Forskjellene fra år til år

Den interne ligning er primært beregnet for de enkelte år hver for seg. Resultatene viser en del avvik fra år til år. For salt er dette demonstrert i tabell 9 og for de andre parametre i tabell 11.

Spredningen er dog ikke større enn at et visst tallfordelingsmønster mellom de forskjellige parametre, bassenger og seksjoner trer frem, og ikke større enn at de hydrografiske variasjoner og endringene i tilførslene¹⁾ fra år til år alene kunne forklare dem. Denne betraktning er tatt med for å vise at den interne ligning i det minste synes å representere et visst årlig tilbakevendende dynamisk system i begge bassenger.

3.512 Forholdstallene N: P: O

I litteraturen er det funnet en enkelt artikkel som gir bakgrunn for vurdering av våre resultater. (Richards, 1965) har, på basis av målinger i sjøen²⁾ og teoretiske betraktninger, stilt opp de kjemiske bruttoreaksjonsligninger for dekomponering (forråtnelse) av organisk materiale i sjøen. På basis av disse ligninger kan vektforholdstallene mellom de forskjellige komponenter som inngår i forråtnelsesprosessen beregnes.

Forråtnelsesprosessen, som forbruker oksygen, forløper forskjellig avhengig av vannets oksygentilstand. Så lenge vannet er oksygenrikt (friskt) tar prosessen oksygen fra vannets oppløste forråd. Hvis dette forråd blir oppbrukt, (hvilket etter hvert skjer i stagnerende dyp-vann) tar prosessen sitt oksygen fra vannets oppløste nitrat-forråd (NO_3). Når også denne kilde er oppbrukt, tas oksygen fra vannets forråd av sulfatjoner (SO_4^{--}). Sjøvannets SO_4 -forråd er stort, men under spesielt ugunstige betingelser kan også dette oppbrukes (f.eks. i den øverste del av sedimentlaget, hvor vannfornyelsen er ekstremt liten). Hvis så skjer blir dekomponeringen mindre komplett (kfr. fotnote på side 25).

- 1) Når det gjelder tilførselsbelastningen, kommer i tillegg til de tilfeldige variasjoner fra år til år det forhold at de pågående utbygningsarbeider på land førte til betydelige endringer i den geografiske utslippsfordeling.
- 2) Dramsfjorden, Svartehavet, en fjord og en dyp-renne på den venezuelanske kyst og en fjord på den canadiske Stillehavskyst.

Tabell 11. F-VERDIER FOR DE ENKELTE ÅR

Enhet: kg/døgn

Metode: Gradient a; $r = 0,5$

Basseng	Parameter	År	Enkelt-seksjoner			Summerte seksjoner	
			IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120 m -b	IV-VI 60 m -b	V-VI 80 m -b
Bunne- fjorden	Orto- fosfat	1962	+ 52,6	+ 107,4	+ 38,7	+ 198,7	+ 146,1
		1963	+ 25,3	+ 13,5	+ 8,6	+ 47,4	+ 22,1
		1964	+ 12,2	+ 29,9	+ 15,0	+ 57,0	+ 44,9
		1965	+ 13,9	+ 45,1	+ 43,1	+ 102,0	+ 88,2
	Nitrat	1964	+ 24,3	+ 52,0	+ 19,1	+ 95,3	+ 71,1
		1965	+ 75,1	+ 74,6	+ 28,4	+ 178,2	+ 103,0
	Oksy- gen	1962	-2220	-1380	- 249	-3849	-1629
		1963	-5010	-3640	-1072	-9722	-4712
1964		-1330	-2050	- 563	-3943	-2613	
1965		-2420	-1550	-1072	-5042	-2622	
S/m	Orto- fosfat	1962	+ 38,4	+ 23,1	+ 1,39	+ 62,9	+ 24,5
		1963	- 8,5	+ 78,9	- 1,79	+ 68,6	+ 77,1
		1964	+ 89,7	+ 64,8	+ 6,75	+ 161,3	+ 71,6
		1965	+ 99,5	+ 59,2	+ 14,89	+ 173,6	+ 74,1
Vest- fjorden	Nitrat	1964	+ 128	+ 283	+ 19,0	+ 430,0	+ 302,0
		1965	+ 271	+ 132	+ 27,4	+ 430,4	+ 159,4
Oksygen	1962	-6500	-5760	- 770	-13030	-6530	
	1963	-3200	-7490	- 680	-11370	-8170	
	1964	-6900	-5800	- 700	-13400	-6500	
	1965	-11900	-8220	-1160	-21280	-9380	

I bilag 3, tabell 1 er stoffomsetningen beregnet for disse tre situasjoner på basis av Richards reaksjonsligninger. Beregningen er her gjort på ekvivalentbasis og omfatter de viktigste kjemiske elementer som deltar.

Fra denne oppstilling er så tallene hentet ut for de komponenter som kan tjene som basis for vår vurdering. Tallene er stilt sammen i bilagets tabell 2. I samme tabell er også omregning til vektbasis utført, og tallene er dermed frembragt i en form som egner seg for sammenligning.

For å fremskaffe de tilsvarende vektforholdstall (eller relasjonstall) fra den interne lignings resultater, er F-verdiene - hentet fra tabell 10 - først omregnet fra "verdier pr. seksjon" til "verdier pr. m³ (spesifikke verdier)"¹⁾, og på basis av disse spesifikke verdier er dernest relasjonstallene mellom P, N og O beregnet (tabell 12). Ved sammenligning av P: N: O - relasjonene i bilag 3 tabell 2 med rapportens tabell 12 - sammenstilt i tabell 13 - finner man følgende (idet seksjon II ikke regnes med):

for S/m Vestfjorden er relasjonstallene nokså jevne for alle seksjoner. Oksygenrelasjonene er stort sett litt lavere enn i Richards modell, og nitrogenrelasjonene ca. 50% lavere.

S/m Vestfjorden hadde i beregningsperioden aldri oksygenmangel. Oksygennivået varierte noe med årstiden med en middelmetning på anslagsvis 45 - 50%.²⁾ Ytterverdiene for metning var 77 og 20%.

Bunnerjordens seksjon III (40 - 60 m) viste - både når det gjaldt relasjonstallene og oksygennivået - stor likhet med S/m Vestfjorden.

1) Ved₃at seksjonsverdiene er dividert med de respektive seksjonsvolumer i m³. (Seksjonenes volumer i de to bassenger er angitt nederst i tabell 12).

2) Oksygenmetning beregnet på basis av atmosfæretrykk.

Tabell 12. BEREGNING AV FORHOLDSTALLENE P: N: O FOR F-VERDIENE FRA DEN
INTERNE LIGNING

Seksjon				II	III	IV	V	VI
Dyp i m				20-40	40-60	60-80	80-120	120
A	Beregnet pr. døgn og seksjon - gitt i kg	Bfj.	Ort-P	+ 3,6	+41,4	+26,0	+48,9	+26,3
			NO ₃ -N	+ 259	+ 170	+ 50	+ 63	+ 24
		S/m Vfj.	Oks.	-6600	-5100	-2700	-2200	- 740
			Ort-P	- 3,6	+156,3	+54,6	+56,5	+ 5,3
B	Beregnet pr. døgn og m ³ - gitt i mikrogram	Bfj.	NO ₃ -N	+ 411	+ 353	+ 145	+ 183	+ 257
			Oks.	-10400	-10700	-8000	-6200	-8000
		S/m Vfj.	Ort-P	- 2,6	+ 161	+89,5	+ 124	+ 130
			NO ₃ -N	+ 288	+ 518	+ 327	+ 456	+ 564
C	Forholdstall P: N: O	Bfj.	Oks.	-5800	-18000	-11600	-15000	-20000
			Ort-P	1	1	1	1	1
		S/m Vfj.	NO ₃ -N	7,2	4,1	1,9	1,3	0,9
			Oks.	-1830	- 124	- 106	- 44	- 28
Seksjonens volum angitt i m ³ · 10 ⁶	Bunnefjord			630	480	344	345	92,3
	S/ m Vfj.			1386	972	610	455	40,8
	Sum			2016	1452	954	800	133,1
	Hele indre fjord			2388	1628	991	800	133,1

A - tallene her er hentet fra tabell 10.

B - tallene er beregnet fra tilsvarende A-linjer ved divisjon med seksjonens volum i m³ (vist nederst i tabellen).

C - tallene er beregnet fra tilsvarende B-linjer ved divisjon med B-tallene for Ort-P.

Tabell 13.

Tabell 13. VEKTFORHOLDET P: N: O PÅ BASIS AV DATA FRA LITTERATUREN OG RESULTATENE FRA DEN INTERNE LIGNING

			Sluttprodukter tilført sjøen som				Forbruk av sjøens forråd av			
			H ₃ PO ₄	HNO ₃	N ₂	NH ₃	O ₂	HNO ₃	SO ₄	
			-P	-N	-N	-N	-O	-O	-N	-O
Vektforholdstall bearbejdet på grunnlag av Richards bruttoformler for	oksygenholdig vann		1	7,2	0	0	142	0	0	0
	oksygenfritt, nitrat- holdig vann	alt 1	1	0	38,1	7,2	0	132	38,3	0
		alt 2	1	0	49,8	0	0	145	42,7	0
	oksygen og nitratfritt vann		1	0	0	7,2	0	0	0	109
Vektforholdstall beregnet på grunnlag av den interne ligningsresultater	Bunnefjord seksjon	II	^m 20-40	1	(72)	Ikke målt		(1830)	Ikke målt	
		III	40-60	1	4,1	" "		124	" "	
		IV	60-80	1	1,9	" "		106	" "	
		V	80-120	1	1,3	" "		44	" "	
		VI	120-b	1	0,9	" "		28	" "	
		S/m	II	20-40	1	(-111)	" "		(-2230)	" "
	Vestfjord seksjon	III	40-60	1	3,2	" "		112	" "	
		IV	60-80	1	3,6	" "		129	" "	
		V	80-120	1	3,7	" "		121	" "	
		VI	120-b	1	4,4	" "		154	" "	

I Bunnefjordens dypere seksjoner viste både oksygen og nitrogen synkende relasjonstall med økende dyp.

Oksygennivået i Bunnefjorden viste en klar fallende tendens mot dypet. Som funksjon av tiden var det laveste i 1962, høyeste i 1963¹⁾, og avtakende igjen i 1964 og 1965 henimot 1962-nivået. Metningsprosenten i 60 m dyp var i middel for de 4 sommerhalvår ca. 30% med ekstremalverdiene ca. 10 og 60%. Tilsvarende ekstremaltall i 145 m dyp var ca. 0 og 50%.

Når materialbalanseberegningenes mange forenklinger og tilnærmelser tas i betraktning, må dette sies å være en god overensstemmelse, og den må kunne tas som et sterkt indisium på at den interne ligning i grove trekk gjenspeiler fjordens stoffhusholdning på riktig måte:

Man ser at Vestfjorden med sine jevne oksygenforhold hadde jevne P: N: O - relasjoner som var nokså like modellens relasjoner for oksygenrikt vann. Bunnefjordens seksjon III (40 - 60 m) med lignende vannmasser viste tilsvarende relasjoner.

I Bunnefjordens lavere seksjoner sank oksygenverdiene mot null på dypet, mens nitrat ennå fantes (kanskje bortsett fra i vannmassene aller nærmest bunnen). Seksjonenes korresponderende P:N: O-relasjoner viste synkende N- og O-tall som nærmet seg null ved bunnen. Dette resultat stemmer godt med at modellens tilsvarende tall for oksygenfritt og nitratholdig/nitratfritt vann er P: N: O = 1: null : null.

Grunnen til at den interne lignings N: P-relasjoner for den oksygenrike S/m Vestfjorden tross alt var en del lavere enn modellens (fra 3.2 til 4.4 i de forskjellige seksjoner i fjorden mot modellens 7.2) burde egentlig ha vært nærmere undersøkt, men tiden tillot ikke dette. De følgende enklere betraktninger omkring spørsmålet representerer et par av flere mulige forklaringer.

1)

På grunn av massivutskiftning om vinteren dette år (kfr. fig. 5).

En nærliggende hypotese vil være at forråtnelsen begynner å bruke av nitratets oksygen allerede innenfor det oksygenintervall som S/m Vestfjordens dypvann spenner over. Tallmessig skal dette gi seg utslag i relasjonstallene slik at hver enhet forsvunnet N tilsvarende ca. 3,4 enheter fall i O-tallet. Denne regnemetode anvendt på alle S/m Vestfjordens seksjoner og seksjon III i Bunnefjorden gir en ganske god overensstemmelse med modellens relasjon 1 : 7,2 : 142. (Se tabell 14).

Et annet forhold som kan bidra til at relasjonens N- og O-tall blir for lave, er at den andel av det partikulære materiale som synker og råtner i sjøen (anslagsvis 1/3 - 1/4 - kfr. avsnitt 6.2), består av kloakkpartikler. Slike partikler inneholder mindre N og mindre OF i forhold til P-mengden enn det øvrige synkende organiske materiale (algene). (Kloakkmaterialets P: N: O-relasjon er ca. 1 : 5,0 : 16,8 mot antatt for algene 1 : 7,2 : 142.)

Tendensen i relasjonstallene for de dypere seksjoner i Bunnefjorden stemmer i og for seg godt med modellens skjema for oksygenfritt, nitratholdig vann, men forutsetter dog en større tilgang av nitrat enn den som forråtnelsen selv tilveiebringer. (Diffusjonstallene viser riktignok en nedadrettet nitrattransport i Bunnefjordens 60 m-nivå, men ikke stor nok til å dekke mankoen). Antagelig må det derfor i Bunnefjordens dypvann også foregå forråtnelse ved utnyttelse av SO_4 .¹⁾

3.52 Usikkerhetsmomenter og feilkilder

3.521 Mindre massivutskiftninger i stagnasjonsperiodene

Diffusjonsleddet i den interne ligning er nærmere definert i avsnitt 1.2 punkt D. Av praktiske grunner var det nødvendig å inkludere både molekylærdiffusjon, turbulensdiffusjon, interne vannmasseutskiftninger innen

1)

Dette betyr at det i hvert fall i periodevis må ha forekommet nitratfritt vann i Bunnefjorden. Analysene viser ikke nitratfritt vann her, men det er overveiende sannsynlig at vannet nærmest bunnen (d.v.s. under våre dypeste prøver), hvor en stor del av forråtnelsesprosessen antagelig foregår, er nitratfritt.

Tabell 14.

Tabell 14. JUSTERING AV P: N: O - RELASJONENS O-TALL VED TILLEGG AV OKSYGEN
FRA ANTATT FORSVUNNET NITRAT

		S/m Vestfjorden				Bunnefjorden
		III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120m-b	III 40-60 m
Modellens NO ₃ -N-tall	a	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Oppr.beregn.NO ₃ -N-tall	b	3,2	3,6	3,7	4,4	4,1
a - b =	c	4,0	3,6	3,5	2,8	3,1
C · 3,4 =	d	13,6	12,2	11,9	9,5	10,5
Opprin.beregnet O-tall	e	112,0	129,0	121,0	154,0	124,0
Korrigert O-tall(=d+e)	=f	125,6	141,2	132,9	163,5	134,5

bassengene og partikkelgenerert diffusjon i dette ledd. Ligningen skulle bare være gyldig for stagnasjonsperiodene,): for de perioder da ekstern vannmasseutskiftning ikke fant sted.

I praksis kan vi ikke regne med at denne betingelse var konsekvent oppfylt. For det første vil, med den datafordeling i tid og rom som ligningen har å bygge på, eksterne utskiftninger i mindre porsjoner kunne ha foregått uten at de har gitt merkbare utslag i analyseverdiene. Dessuten finnes det en del uregelmessigheter i Q kurvene (fig. 7a og b) som til dels kan skyldes slike mindre eksterne utskiftninger. Særlig i den øverste seksjon som ligningen er beregnet for (II), antas det at slike småutskiftninger har funnet sted med betydelig hyppighet. Hyppigheten vil være avtagende mot dypet, men også i seksjon III - og muligens også i den neste seksjon IV - kan fenomenet ha hatt praktisk betydning. Ved en grundig og systematisk detaljgjennomgåelse av dataene gjennom de 4 år kunne man antagelig ha påvist noen slike situasjoner og korrigert resultatene for deres effekt. Tiden tillot imidlertid ikke at dette ble gjort.

Den praktiske effekt på beregningsresultatene av slike mindre eksterne utskiftninger er at den oppståtte beholdningsendring for de enkelte seksjoner har påvirket det kjente E-leddet i ligningene - og dermed også det ukjente F-leddet. Fordi omfang og hyppighet av fenomenet må antas å være forskjellig fra år til år, vil dette kunne forklare noe av F-leddets variasjoner fra år til år i seksjonene II og III.

3.522 Observasjonsårenes representativitet

I Delrapport 18 er det diskutert hvorvidt prosjektperioden 1962 - 1965 var representativ for fjordens vanlige hydrografiske mønster. Visse forhold tydet på at den ikke var det. Uten tvil vil imidlertid det forløp av stagnasjons- og utskiftningsperioder i dypvannet som er vist i fig. 5 (én totalutskiftning i Bunnefjorden og fire i Vestfjorden i løpet av en 4-års periode) i prinsippet være representativt, selv om stagnasjonsperiodenes varighet og kurvenes nivå muligens avviker fra den midlere situasjon.

Analogt må det antas at resultatene fra den interne ligning er representative i store trekk, men at tallverdiene muligens kan avvike en del fra dem man ville få på basis av en lengre observasjonsperiode.

To spesielle forhold som man må være oppmerksom på er at nitratanalyser bare foreligger for de to siste år, mens ortofosfat- og oksygenanalysene dekker alle fire år - og videre at sommerhalvårsbegrensningene er noe annerledes valgt for nitrat enn for de to andre parametre¹⁾.

3.523 Datamaterialets presisjonsnivå

Presisjonsnivået for prosjektets data er nærmere vurdert i Delrapport 17. For tre av den interne lignings fire parametre (ortofosfat, nitrat og oksygen) gjelder det at det råder noen usikkerhet om hvor korrekte tallene er. For de to sistnevnte ser det ut til at påliteligheten er stor nok for materialbalansens krav. For ortofosfat, som utviste større svingninger mellom kontrollparallelene, kan det imidlertid være fare for et systematisk middelavvik opp eller ned, stort nok til å komme frem i sluttsvaret. Meget lite sannsynlig er det dog at feilen er så stor at den påvirker rapportens hovedkonklusjoner.

3.524 Svakheter ved metodene for beregning av de hjelpevariable

3.5241 Den hjelpevariable Q

Den hjelpevariable Q (en seksjons innhold av en komponent) er beregnet på grunnlag av seksjonens komponentkonsentrasjon (c) og dens volum (V) - kfr. avsnitt 2.51.

Presisjonsnivået for c er nettopp omtalt. Også når det gjelder V er presisjonen begrenset (Delrapport 15).

Beregningen av Q bygger videre på to forutsetninger som grovt sett, og bare grovt sett, er riktige. Den ene består i at konsentrasjonene varierer lineært med dypet - den annen i at konsentrasjonene er ens i de enkelte horisontalplan gjennom hvert basseng.

1) Når sommerhalvårsbegrensningene er annerledes for nitrat skyldes det at Q -kurvens forløp for denne parameter avvek endel fra de to andre parametres. Slik som materialbalanseberegningen utviklet seg, burde egentlig sommerhalvårsbegrensningene tross dette ha vært like for alle tre parametre, men dette ble erkjent for sent.

Effektene på Q av de feilkilder som her er nevnt, kan foreløpig ikke anslås tallmessig. Skjønnsmessig er det dog ingen grunn til å anta at deres samlede effekter er store nok til å influere på rapportens konklusjoner.

En ytterligere feilkilde er allerede nevnt i avsnitt 2.51 - anvendelse av en unøyaktig formel ved beregning av Q-verdiene. Den primære virkning av feilen har vært at Q-verdiene er blitt noe for lave ved synkende parameterkonsentrasjoner mot dypet og noe for høye ved stigende konsentrasjoner mot dypet. Sekundært har dette ført til at den interne ligningsvariable $E (= Q_{\text{høst}} - Q_{\text{vår}})$ er blitt noe unøyaktig. Da feilen ble for sent oppdaget til at hele beregningsforløpet kunne gjentas, har vi istedet foretatt en vurdering av feilens betydning for rapportens konklusjoner. (Bilag 4). Resultatet av denne vurdering er at feilen ikke har hatt noen innflytelse på de konklusjoner som er trukket.

3.5242 Den hjelpevariable K

Størrelsen av den hjelpevariable K (hentet fra Delrapport 2) er vurdert i avsnitt 3.3 på basis av saltligningen, og det ble i den forbindelse funnet nødvendig å tilkoble den en reduksjonsfaktor på 0,5 i våre beregninger. Formålet med dette noe drastiske skritt var å få saltligningen (kontrollligningen) til å gå opp - og "unnskyldningen" at den opprinnelige K-verdi ikke nødvendigvis var adekvat for vårt formål, fordi den var beregnet ut fra en noe forskjellig betraktningssmåte og ved et noe justert datagrunnlag.

Det var med noen betenkelighet at reduksjonsfaktoren på 0,5 ble tatt i bruk for de tre andre parametre. Etter at beregningene var gjennomført, viste det seg imidlertid at betenkeligheten ikke hadde vært så nødvendig. Som nevnt (avsnitt 3.1) var ligningen av spesielle grunner allerede gjennomregnet for de tre andre parametre uten bruk av reduksjonsfaktoren, og dette ga mulighet for sammenligning. Det viste seg at innføring av reduksjonsfaktoren bare hadde hatt en beskjedne innflytelse på F-verdien for de tre andre parametre (sammenlign bilag 2 tabell 3 og rapportens tabell 10). Når vi som resultat av den interne ligning fastholder versjonen med reduksjonsfaktor, var dette resultat av et valg som ikke lenger var så betydningsfullt for de konklusjoner som ligningen skulle være basis for.

Forklaringen på at de to sett av ligninger ble så like, ligger i at diffusjonsleddene - og da særlig differansene mellom øvre og nedre diffusjonsledd- var små i sammenligning med E og F-leddene. Ved innføring av $r = 0,5$ ble E-leddet stående uforandret mens D-leddet fikk sin allerede beskjedne tallverdi halvert. Dermed ble tallverdien av $F = E - (D_{\sigma} + D_n)$ også påvirket bare i beskjedne grad.

3.5243 Den hjelpevariable A

Den hjelpevariable A (horisontalarealet som funksjon av dypet - hentet fra Delrapport 15) er av begrenset nøyaktighet, men uten tvil nøyaktig nok for vårt formål.

3.5244 Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$

Den hjelpevariable $\frac{\partial c}{\partial z}$ (konsentrasjonsgradienten som funksjon av dypet) er for salt forsøksvis beregnet etter tre forskjellige metoder (kfr. avsnitt 2.523 og 3.2). Alle tre viste seg å gi omtrent de samme resultater. For de andre tre parametre er bare én av de tre metoder (den lineare) benyttet.

Egentlig burde de øvrige parametre for sikkerhets skyld ha vært kontrollregnet ved de to andre gradientmetoder, men tiden tillot ikke dette. Det er dog grunn til å anta at avviket mellom metodene på middelverdibasis ikke ville ha vært vesentlig.

3.525 Regnefeil

Den interne ligning er beregnet under betydelig tidspress, til dels med assistanse av uøvet personell. Resultatene er kontrollert i store trekk, men muligheter for en del feil i detaljberegningene foreligger.

4. DEN TOTALE BALANSE

Den komplette materialbalanseligning som vist i avsnitt 1.1 hadde 4 kjente og 10 ukjente variable og kunne ikke gi noe grunnlag for betraktninger om materialtransportene gjennom systemet. Etter at den interne ligning hadde gitt verdier for en av de ukjente (F) for de dypere seksjoner, ble det imidlertid mulig å få tak i systemets hovedmønster.

Den interne ligning var kun satt opp for to av indre fjords fem bassenger, Den totale balanseligning ($T=E+B+U+H+A$) kunne derimot bare betraktes for hele indre fjord under ett. (Dette skyldtes at en av de kjente variable, T, i denne sammenheng bare kunne anvendes for indre fjord under ett og ikke for de enkelte bassenger). Dette innebar at alle variable i den interne ligning måtte søkes beregnet for alle fem bassenger samlet. En slik beregning ble utført (avsnitt 4.2). Verdiene av den variable T er gitt i avsnitt 4.1.

Den totale materialbalanse kan på det foreliggende grunnlag lettest beskrives og diskuteres på basis av såkalte flytediagrammer (flow-sheets). Avsnitt 4.3 beskriver hvordan disse i prinsippet kan oppbygges for dette formål. Flytediagrammer for de tre parametre P, N og O er presentert i avsnitt 4.4.¹⁾

4.1 Den variable T

Den variable T (tilførsel fra landsiden) er hentet fra Delrapport 11 (dens tabell 21). Den foreligger her også oppspaltet i soneverdier²⁾ men for vår beregning kan vi bare anvende totalverdien for hele indre fjord. (Grunnen til dette er angitt i avsnitt 2.53). Dataene foreligger bare som årsmidler, ikke som funksjon av årstid eller årstall. Dermed blir det bare tre faste tall som kan representere den variable T i våre ligninger:

1)

Det tilsvarende flytediagram for den interne lignings kontrollparameter salt er av liten interesse i denne sammenheng og er ikke tatt med.

2)

Indre fjord er oppdelt i 8 kloakksoner.

Totalfosfor	1.642	kilogram	P/døgn
Totalnitrogen	9.578	"	N/døgn
Organisk materiale - gitt som ekvivalent oksygenforbruk ved dekomponering	68.672	"	OF/døgn

Alle tall representerer ufiltret vann og omfatter altså både partikulært og oppløst materiale i elvene og kloakkvannet. De tre komponentgrupper er nærmere omtalt i avsnittene 2.61, 2.62 og 2.63. Figur 9 (fra Delrapport 11 - dens figur 24) viser til orientering hvordan tilførslene av dem fordeler seg geografisk i fjorden. (Delrapport 11 gir tilsvarende opplysninger også for en del andre forurensingskomponenter).

4.2 De variable fra den interne ligning beregnet for hele indre fjord

Den interne lignings variable E , D_o , D_n og F foreligger bare for to av indre fjords fem bassenger (avsnitt 2.2). Den totale balanse krever som nevnt disse variable beregnet for indre fjord som helhet, og for å skaffe slike verdier til veie er det foretatt en forholdstallsberegning på volumbasis ut fra verdiene for de to bassenger.

Direkte forholdstallsberegninger fra de to bassenger til alle fem er ingen særlig tilfredsstillende metode. Det er grunn til å vente at de verdier man slik oppnår er for lave, idet de tre ikke-beregnete bassenger (Bekkelagsbassenget, Bårumsbassenget og Nordre Vestfjord) på grunn av beliggenheten er sterkere belastet av forurensningstilførsler (figur 9) og organisk vekst (figur 10) enn de andre to, og at deres spesifikke F - og D -tall derfor skulle ha vært høyere. Belastningsfordelingen fra landsiden er dog neppe så skjev som figur 9 antyder, idet de forholdsvis sterke overflatestrømmer bidrar til å spre tilførselsmaterialene noe utover fjordflaten før disse når ned i de dypere vannmasser. Det forhold at de tre ikke-beregnete bassenger er både volum- og arealmessig er relativt små i forhold til de andre, medfører forøvrig også at feilen ikke kan bli altfor stor.

Når direkte forholdstallsberegning tross disse innvendinger ble benyttet, var det fordi det var vanskelig å anslå hvor stor en endring egentlig skulle være. Den mulighet foreligger dessuten å gjenta beregningene av den totale ligning når F- og D-tallene senere blir fremlagt også for de tre mindre bassenger (konferer avsnitt 2.2).

Omregningens prinsipp er demonstrert i nedstående eksempel (leddet F; seksjon IV (60 - 80 m); parameter P).

	Volum i $m^3 \cdot 10^6$	F-verdi i kg/døgn (hentet fra tabell 10)
Bunnefjorden	344	26,0
S/m Vestfjorden	610	54,6
Sum	954	80,6
Indre fjord	990	x

$$x = \frac{990}{954} \cdot 80,6 = \underline{83,7}$$

De beregnede verdier av E , D_{σ} , D_n og F for hele indre fjord, fremkommet på denne måte, er vist i tabell 15.

4.3. Det generelle flytediagram

For å forenkle fremstillingen av flytediagrammene er fjordens vertikale lengdesnitt benyttet i en forenklet utgave som vist i fig. 11 (Sammenlign med figur 3). I det forenklede snitt er mellomterskelen på 50 m tatt bort, og indre fjord som helhet forutsettes å ha form av en omvendt kjegle med sirkulær toppflate. Forholdet mellom indre fjords største dyp (164 m) og Drøbakerskelens gjennomløpsdyp (19,5 m) er riktig gjengitt, og kjeglevinkelen er tilpasset slik at forholdet mellom de enkelte seksjoners volumer er noenlunde riktig representert (ved tredimensjonal betraktning). Seksjonenes vannvolumer er påført til orientering.

I figur 12 er inntegnet et generelt flytediagram som er egnet for illustrasjon av P- og N-komponentenes fordeling. Diagrammet kan også gjelde for tilførslenes innhold av organisk materiale (målt som OF) helt frem

Tabell 15 RESULTATENE FRA DEN INTERNE LIGNING - BEREGNET FOR HELE INDRE FJORD ^{1) 2)}

	Para- meter 3)	Hele indre fjord								
		Enkeltseksjon					Summerte seksjoner			
		II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120-b m	II-VI 20-b m	III-VI 40-b m	IV-VI 60-b m	V-VI 80-b m
E = økning (+) eller minskning (-) i seksjonen	Ort-P NO ₃ -N Oks.	+30,5 +801 -15100	+136,7 +457 -17800	+98,7 +308 -12500	+100,0 +290 -10300	+21,2 +36,9 -1200	+388 +1895 -57900	+357 +1097 -42000	+220 +636 -24100	+121 +327 -11600
D _n - D _ø = netto tilgang (+) eller avgang (-) ved diffusjon til og fra seksjonen ⁴⁾	Ort-P NO ₃ -N Oks.	+25,5 - 5 +2755	-87,0 -301 +7528	+14,7 +51,9 -2377	- 5,3 +20 -745	-10,5 -10,0 -332	-62,6 -234 +6827	-88,1 -239 +4074	- 1,1 +61,9 -3454	-15,8 +10,0 -1077
F = frigjøring (+) eller forbruk (-) i seksjonen	Ort-P NO ₃ -N Oks.	+ 5,0 +800 -17900	+222 +755 -25400	+84 +260 -10200	+105 +270 -9600	+32 +47 -870	+450 +2130 -63800	+445 +1340 -46100	+222 +575 -20700	+137 +317 -10500

- 1) Tabellen angir middelveier som representerer årstiden vår - sommer - høst gjennom 2 eller 4 år (årene 1964 - 1965 for NO₃-N, årene 1962 - 1965 for Ort-P og Oks.).
- 2) Beregnet etter forholdstallsprinsipp på basis av resultatene i tabell 10. Beregningsmåten er beskrevet i rapportens avsnitt 4.2.
- 3) Ort-P = ortofosfat angitt som kg P/døgn
 NO₃-N = nitrat " " kg N/døgn
 Oks = oksygen " " kg O₂/døgn
- 4) Diffusjonstallene for de enkelte seksjonsskilleflater kan leses ut fra disse linjer under kolonnene "sumuerte seksjoner", idet jo D_n-verdiene for bunnen alltid = 0.

til det stadium hvor dette er endelig dekomponert av sjøvannets oksygen. Videre kan det gjelde motsatt vei for oksygenet selv (tilført ved diffusjon fra luften eller ved vannutskiftning utenfra eller produsert av alger i vekstfase) helt frem til dette er oppbrukt. For å forenkle fremstillingen er diagrammene for OF og oksygen tegnet sammen, idet tilført og produsert oksygen er angitt som OF med motsatt fortegn. Det generelle flytediagram viser følgende:

T = tilførsler rød pil ovenfra kommer til sjøen i overflaten¹⁾
 Tilførslene består av både partikulære og oppløste materialer. En del av det partikulære materiale synker, mens resten, sammen med det oppløste materiale, primært fordeles i øverste seksjon.

De synkende partikler fra tilførslene dekomponeres på veien nedover - eller etter at de når bunnen - og frigjør dermed dekomponeringsprodukter som ortofosfat, nitrat, karbondioksyd, vann m.v. (samtidig som sjøens oksygen forbrukes). De frigjorte komponenter fordeles primært i de respektive seksjoner Røde piler mot venstre

Partikler som ikke dekomponeres raskt nok - og partikler som dannes ved at frigjorte komponenter reagerer med andre stoffer i sjøen - kan etterhvert bli neddyngnet av nye partikler og miste den direkte kontakt med sjøvannet. Dekomponeringen fortsetter også en tid etter at partiklene slik er neddyngnet i sedimentet, og en del av dekomponeringsproduktene herfra kan bli bragt ut i vannet igjen ved diffusjon og biologiske prosesser, men denne mulighet reduseres etterhvert som neddyngningsdypet øker. I sedimentet vil det derfor alltid bli rester tilbake av de forskjellige komponenter som må regnes som permanent sedimenterte og dermed unndratt den vannmasse som materialbalanseligningen gjelder for. Fiolette piler.

Den fraksjon av tilførslene som ikke når ned i dyplagene (oppløste og langsomt synkende partikulære komponenter) vil primært fordele

1) Dette er i praksis ikke helt riktig, i det det i løpet av prosjektperioden ble tatt i bruk noen få undervannskloakkutløp. Hvor stor fraksjon av kloakkvannet som ble ført ut i sjøen på denne måte i løpet av perioden, har vi ikke bragt nøyaktig på det rene, men den kan ikke ha vært så stor at den har fått noen vesentlig innflytelse på våre beregningsresultater.

seg i øverste seksjon. Herfra vil en del forsvinne direkte til havs over Drøbakterskelen som følge av vannutveksling.

Rød pil ut av fjorden Resten blir før eller siden dekomponert, og dekomponeringsproduktene fordeler seg som slike i øverste seksjon.

E = endring av beholdningen. De frigjorte dekomponeringsprodukter blir primært innlagret (akkumulert) i de respektive seksjoner.

Blå rektangler. I øverste seksjon vil de blå rektangler også få tilskudd av tilsvarende oppløste komponenter direkte fra tilførselene.

D = diffusjon gule piler De innlagrede frigjorte komponenter i de enkelte seksjoner vil etterhvert diffundere mot naboerområder med lavere konsentrasjonsnivåer. (Det vil som regel si oppover fra de lavere seksjoner og utover fra den øverste seksjon - med andre ord ut av systemet). Fordi de vertikale diffusjonsprosesser vanligvis ikke er raske nok til å ta unna de frigjorte komponenter etterhvert, får vi normalt en økende konsentrasjon av disse i alle de dypere seksjoner.

U = massiv-utveksling av vannmasser okerfargede piler Materialbalansen er satt opp kun for perioder med stagnasjon i de dypere seksjoner. I de midlere og øvre seksjoner vil massivutveksling imidlertid kunne foregå året rundt¹⁾. Da det utskiftede vann normalt vil ha høyere konsentrasjoner enn det erstattende havvann, vil de okerfargede piler gjennom Drøbaksundet vanligvis peke utover mot åpent hav.

V = organisk produksjon (plantevekst) grønn ellipseflate er et betydelig ledd i flytediagrammet. At dette ledd ikke opptre selvstendig i materialbalanseligningen, skyldes at det inngår i de andre ledd slik denne er definert. Den organiske produksjon finner stort sett sted i øverste seksjon, idet den krever lys for å fore-

1) Begrepet massivutveksling må her ikke oppfattes som en ren massivutvekslingsprosess alene slik som beskrevet i fig. 5, men må også inkludere eventuelle andre eksisterende utskiftningsprosesser som ikke dekkes av diffusjonsbegrepet (de gule piler).

gå¹⁾. Den forbruker de her akkumulerte fosfater og nitrater og frigjør oksygen. Plantene kan være frittlevende (planktoniske) eller fastsittende (tang, tare etc.). En del av de frittlevende (samt noe løsrevet tang) vil som følge av vannutvekslingen i øverste seksjon forsvinne ut av systemet gjennom Drøbaksundet. Grønn pil utover. Noe vil bli spist av dyr i sjøen, hvorav også noen forsvinner ut gjennom Drøbaksundet. En del av det produserte materiale vil, som døde planter eller dyr, før eller siden synke ned mot dypet i indre fjord - og der følge de samme alternative transport- og omsetningsveier som er beskrevet for den synkende andel av tilførselene. Grønn pil fra ellipsen mot høyre og videre parallelt med de røde. Endelig vil noe av det produserte materiale råtne og dekomponeres innen seksjon I selv (resirkuleres) innen det blir bragt bort ved noen av de nevnte andre prosesser. Den organiske vekst som her er omtalt, er en av de prosesser i naturen som inngår i den såkalte eutrofieringsmekanisme. Eutrofiering er et viktig fenomen i sjøens liv som vil bli nærmere omtalt senere i rapporten (avsnitt 6.2).

A = atmosfæreutveksling stiplet pil er til dels et betydelig ledd i materialbalansen. Når det ikke kom med i den interne ligning, men bare i totalbalansen, skyldes det at atmosfæreutvekslingen jo bare kan angå den øverste seksjon. For oksygen virker atmosfæreutvekslingen regulerende på akkumulasjonene i øverste seksjon, idet den bringer oksygen fra luft til vann når det er oksygenmangel i øvre skikt og motsatt vei når planteveksten gir oksygenoverskudd. For nitrogen har den muligens betydning, idet en del plantearter har den evne å kunne utnytte luftens nitrogengass direkte²⁾. Hvorvidt denne prosess har noe vesentlig omfang i indre Oslofjord, er ikke undersøkt. Nitrogen-transport den motsatte vei vil kunne finne sted når organiske stoffer blir dekomponert i anoksisk miljø nede i dypvannet. Et av dekomponeringsproduktene vil nemlig da være gassformig nitrogen (N_2) som har

-
- 1) I visse perioder kan lysforhold og andre forhold ligge slik til rette at organisk produksjon finner sted også i nest øverste seksjon. For sommerhalvåret som helhet er produksjonen her imidlertid antatt å være liten i forhold til øvre seksjons produksjon, og den er derfor neglisjert under de videre beregninger.
- 2) De fleste plantetyper i sjøen har ikke denne evne, men trenger nitrat, ammoniakk, eller andre oppløste nitrogenforbindelser for å kunne vokse.

liten oppløselighet i vann og derfor ved større tilgang må antas å boble opp til overflaten. Fosfor deltar ikke i noen atmosfæreutvekslingsprosesser. For nitrogen regnes A positiv ved transport fra luft til vann. For oksygen regnes motsatt (fordi det jo er OF's retning som faller sammen med nitrogenets.)

H = transport fra øverste seksjon mot havet For den videre behandling er det praktisk å samle alle de piler som kommuniserer mellom øverste seksjon og havet utenfor under et felles symbol. Det valgte symbol H er gitt fortegnet pluss ved transport utover.

I dette farverike flytediagram kjenner vi noen av leddene, mens resten er ukjente. Hvilke vi kjenner, vil fremgå av neste avsnitt.

4.4 Flytediagrammer for P, N og OF

De ledd i flytediagrammet som vi kjenner for de aktuelle parametre, er

T	totalt for hele indre fjord (kfr. avsnitt 4.1)
E, D_o, D_n og F	for hver av seksjonene under 20 m dyp (kfr. avsnitt 4.2) ¹⁾

De ledd vi ikke kjenner er følgende:

$B_I - B_{VI}$	permanent sedimentasjon
$U_{II} - U_{III}$	massivutskiftning mellom seksjonene II og III og havet ²⁾
V_I	organisk produksjon i seksjon I
A_I	atmosfæreutveksling
H_I	samledd for direkte transport ut gjennom Drøbak-sundet fra seksjon I

Alle de kjente ledd er gitt i samme enhet (kg/døgn) og kunne forsåvidt ha vært satt inn i diagrammene direkte. Imidlertid blir diagrammene mer

1) For leddene F_{II} og F_{III} vil de foreliggende tall bare dekke en del av den faktiske frigjøring. Kfr. side 87. I tillegg kommer de ukjente korresponderende U-ledd

2) Leddene U_{IV} , U_V og U_{VI} er antatt lik null i stagnasjonsperiodene. Leddet U_I inngår i samleleddet H.

oversiktlige om man regner om alle E-, D- og F-verdier i prosent av T-verdiene for de enkelte parametre. Dette er derfor gjort (tabell 16) og på denne basis er flytediagrammene for P: N: og OF utarbeidet (fig. 13, 14 og 15).¹⁾

1) Ad verdien for leddet E_n i fig. 13, kfr. avsnitt 6.3 pkt. 4. Bemerk videre at D-leddene i tabell 16 kun er angitt i form av seksjonsverdiene $D_n - D_\sigma$. D-verdiene gjennom de enkelte skilleflater er dessverre ikke kommet med her, men kan finnes ved suksessiv beregning nedenfra på grunnlag av $D_n - D_\sigma$ - verdiene (fordi D_n for seksjon VI = 0.).

Bemerk også at tabellverdiene kan være justert med 1 enhet i siste desimal for å få diagrammene til å "gå nøyaktig opp".

Tabell 16 BEREGNING AV LEDDENE "E", "D_n - D_φ" OG "F" I % AV TILFØRSEL "T" FOR HELE INDRE FJORD

	Para- meter 3)	Indre fjords tilførsler fra land (=T) kg/døgn 1)	"E", "D _n - D _φ " og "F"- verdier fra den interne ligning for de enkelte seksjoner												
			gitt i kg/døgn for indre fjord 2)						beregnet som % av indre fjords tilførsler T						
			II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120 m-b	II-IV Sum kg	II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120 m -b	Sum % II-VI 4)	Kontroll 4)
E=økning (+) eller minsk- ning (-) i seksjonen	Ort-P NO ₃ -N Oks.	1640 9600 68700	+30,5 +801 -15100	+136,7 +457 -17800	+99,0 +308 -12500	+100,0 +290 -10300	+21,2 +36,9 -1200	+388 +1895 -56900	+1,85 + 8,34 -21,9	+ 8,33 + 4,76 -25,9	+ 6,03 + 3,20 -18,1	+ 6,09 + 3,02 -14,9	+ 1,29 + 0,38 - 1,7	+23,65 +19,73 -82,8	+23,56 +19,70 -82,5
D _n -D _φ =netto tilgang (+) eller avgang (-) ved diffusjon til eller fra sek- sjonen	Ort-P NO ₃ -N Oks.	1640 9600 68700	+25,5 - 5 +2755	-87,0 -301 +7528	+14,7 +51,9 -2377	- 5,3 +20 -745	-10,5 -10,0 -332	-62,6 -234 +6827	+ 1,55 - 0,05 + 4,0	- 5,30 - 3,13 +11,0	+ 0,89 +0,54 - 3,4	- 0,32 + 0,20 - 1,0	- 0,64 - 0,10 - 0,4	- 3,81 - 2,43 + 9,90	- 3,82 - 2,54 +10,2
F = frigjøring (+) eller for- bruk (-) i seksjonen	Ort-P NO ₃ -N Oks.	1640 9600 68700	+ 5 +800 -17900	+ 222 +755 -25400	+84 +260 -10200	+105 +270 -9600	+32 +47 -870	+450 +2130 -63800	+ 0,30 + 8,33 -26,0	+13,53 + 7,86 -36,9	+ 5,12 + 2,70 -14,8	+ 6,40 + 2,81 -13,9	+ 1,95 + 0,48 - 1,2	+27,43 +22,18 -92,8	+27,30 +22,18 -92,8

1) Hentet fra rapportens avsnitt 4.1 og avrundet

2) " " " tabell 15

3) Ort-P = ortofosfat-P

NO₃-N = nitrat-N

Oks = oksygen

4) Kolonnen "Sum %" er lik kolonnen "Sum kg" i % av "T"-kolonnen.

Kolonnen "Kontroll" er lik summen av enkeltseksjonenes %er foran.

Når disse to kolonner ikke stemmer helt overens, skyldes det

akkumulerte småfeil fra tabell 15 og foranliggende beregninger.

5. FORDELINGSMØNSTERET FOR DE OPPLØSTE FARGESTOFFER

En materialbalanse-beregning for oppløste fargestoffer lot seg ikke uten videre gjennomføre slik som for P, N og O. Grunnen til dette var at fargestoffene undergikk store konsentrasjonsendringer i løpet av stagnasjonsperiodene. (Kfr. avsnitt 2.6). Endringsmønsteret syntes imidlertid, sett i sammenheng med andre parametre, å innebære visse lovmessigheter som det ville være av stor interesse å få klarlagt.

Det var planlagt at vi i forbindelse med nærværende rapport skulle studere dette aspekt noe nærmere, men det viste seg at tid og økonomi ikke strakk til for dette formål. Visse sider av det ble likevel belyst, idet noen informasjonen måtte fremskaffes i forbindelse med utarbeidelsen av Delrapport nr. 1. De informasjonen som det her er tale om, var stort sett bare av kvalitativ art, og de var bare basert på en rask gjennomgåelse av datamaterialet.

Da disse informasjonen også har interesse som bakgrunn for nærværende rapport, skal de her gjengis i konsentrert form og tilknyttet noen kommentarer.

Prosjektets måleserie for oppløste fargestoffer strakte seg over de 2½ siste prosjektår. Som parameterbetegnelse er som regel "filtratfarge" brukt, hvilket gjenspeiler at prøvene er frafiltrert partiklene før analyse. Den benyttede analysemetode var i og for seg god, men det knytter seg en viss usikkerhet til prøvenes lagringsbestandighet før analyse. To andre forhold har også betydning når dataene skal tolkes:

1. Målemetoden var optisk, og bare én bølgelengde ble benyttet (4.250 Å). Analyseverdiene reflekterer derfor ikke mengden av fargestoffer i sjøen, men bare deres evne til å absorbere lys av en spesiell bølgelengde. En viss sammenheng mellom denne evne og f.eks. vektmengden må dog forventes.
2. Filtreringsprosessen før analyse representerer en viss mekanisk påkjenning på planteplanktoncellene. Noen få planktonarter tåler ikke denne påkjenning og blir knust på filtrene - og mister dermed sin cellevæske med oppløste fargestoffer til vannet. Slik knusing skjer neppe ofte, men fordi det ikke er kjent hvilke prøver dette er skjedd

med, vil datamaterialet som helhet ha en slik usikkerhet implisert.¹⁾

I store trekk synes fjordens fargestoff-fordeling å ha følgende mønster:

1. Overflatelaget har de laveste verdier midtvinters og forholdsvis jevnt stigende verdier gjennom året frem til oktober - november.
2. De dypere vannlag utviser sterke og uregelmessige svingninger gjennom året.
3. Verdiene er størst i overflaten og fallende mot dypet. Periodevis finnes dog de aller laveste verdier i midlere dyp.

Det synes å være en vesentlig forskjell mellom fargestoffene i overflate- laget og i dypet - i det de førstnevnte viser stor stabilitet, mens de sistnevnte ser ut til å bli raskt dannet og raskt borte igjen:

Fargestoffenes stabilitetsforhold i overflatelaget er vurdert i Delrapport 1 (avsnitt 3.23) ved hjelp av en materialbalansebetraktning. Følgende konklusjoner er her trukket:

1. Overflatelagets innhold av oppløste fargestoffer kommer hovedsakelig fra landsiden.
2. Disse fargestoffer har naturen som den viktigste kilde.
3. Disse fargestoffer er relativt stabile og nedbrytes i beskjedent omfang før de forsvinner fra indre fjords overflate- lag - i størst grad ved utvekslings- og blandingsprosesser med overflate-vannmassene i midtre og ytre fjord, og i mindre grad ved diffusjon ned mot de dypere vannlag i indre fjord.²⁾

1) Ved filtrerings/fargemålingsforsøk med de forskjellige planktonarter og undersøkelse av de enkelte prøvers planktonart-fordeling vil man kunne redusere denne usikkerhet. (Konserverte prøver for planktonbestemmelse finnes på lager).

2) Forekomst av slike stabile oppløste fargestoffer i sjøen er også omtalt i litteraturen (Jerlow 1953).

Dypvannets fargestoffinnhold som funksjon av tiden vil fremgå av diagrammet øverst i fig. 16. (Figuren er av samme type som fig. 7). Dette diagram representerer Bunnefjorden, men utviklingen var forholdsvis parallell i Vestfjorden. Nederst i fig. 16 er tilsvarende utvikling av turbiditeten i Bunnefjorden inntegnet. (Turbiditet er en parameter som viser vannets partikkelinnhold - også målt ved en optisk metode). For begge diagrammer i figuren har vi skyggelagt dypene under 60 m og skiktet 0 - 20 m for å lette sammenligningen.] For vannet under 60 m ser man at partikkel- og fargestoffmengde varierer forholdsvis parallellt. Vi har tolket dette på følgende måte:

Fargestoffene i dypet dannes når de organiske partikler som kommer synkende ovenfra, nedbrytes. Hvis fargestoffene, slik som ortofosfat, hadde vært stabile, ville vi ha fått et akkumulasjonsbilde parallellt med ortofosfatets. Noen slik varig akkumulering finner imidlertid ikke sted, og dette må forklares med at fargestoffene ikke er stabile. (Noe av fargestoffene kunne riktignok, slik som ortofosfat, tenkes å forsvinne oppover ved diffusjon, men slik som konsentrasjonsfordelingen i vannet er, vil denne diffusjon være liten og ofte til og med rettet nedover). Hva som hender med fargestoffene, vet vi ikke, men det er overveiende sannsynlig at de nedbrytes videre til enkle fargeløse forbindelser. Kurvenes bratte fall mot høyre viser at nedbrytningen i så fall må foregå meget raskt.

Fig. 16 antyder også andre interessante trekk som vi ikke kan forfølge her. Et par av dem skal vi imidlertid nevne:

1. Det forekommer av og til markante brudd i dypvannets parallellitet mellom turbiditet og filtratfarge som vi ikke har noen umiddelbar forklaring på.
2. Det er både for turbiditet og filtratfarge en forholdsvis stor parallellitet mellom verdiene i dypvannet og i mellomskiktet. (20 - 60 m). Dette tyder på at det, når et forsterket regn av synkende organiske partikler opptrer, foregår det en samtidig nedbrytning i alle dyp¹⁾.

1)

Dog kan det hende at det meste av nedbrytningen likevel finner sted på bunnen. (Det minnes om at bunn finnes i alle dyp). Når økede fargestoffmengder tross det kan påvises i vannet i de forskjellige dyp, kunne det skyldes de forholdsvis sterke horisontale vannutvekslingsmekanismer som vi antar finnes i alle dyp.

(Kanskje gir denne sammenheng en ny mulighet til å anslå de ukjente U_{II} - og U_{III} -ledd i flytediagrammene på fig. 13, 14 og 15.) Dette er forsøkt på annet grunnlag i avsnitt 6.4).

I Delrapport 1 er det vist at fargestoffkonsentrasjonen i overflatelaget er sterkt dominert av tilførslene. Fig. 16 viser en vekslende parallelitet mellom turbiditet og filtratfarge i seksjon I. Et detaljstudium av turbiditets- og fargestoff-dataene fra sjøen og elvene sammen med mikroskopstudier av de lagrede konserverte sjøvannsprøver ville kanskje kunne gi holdepunkter om i hvor stor grad det organiske stoff i overflatelaget nedbrytes før det synker ned til de dypere seksjoner - en informasjon som vi foreløpig ikke har grunnlag for å skaffe oss på annen måte.

I turbiditetsdiagrammet i fig. 16 skulle man vente å finne at det samtidig eller like forut for perioder med store konsentrasjoner i mellom- og dyp-lagene skulle avtøgne seg store konsentrasjoner i vekstsonen. En slik sammenheng er det ikke lett å påvise. Muligens kan årsaken være at vi ved vår observasjonshyppighet på ett tokt pr. 3 - 4 uker har "mistet" en del algeoppblomstringer med opptreden mellom toktene. (Fig. 11 i Delrapport 1 viser at det i løpet av 3 - 4 uker kan skje mange endringer i overflate-lagets turbiditets og/eller filtratfargeinnhold.

Noen kvantitativ beregning av fjordens fargestoffbalanse er ikke utført, unntatt den for overflatelaget som er presentert i Delrapport 1. Denne beregning skal ikke gjentas her, men som en orientering skal de benyttede fargestofftall tas med. Tallene gjelder hele indre fjord og er middeltall for beregningsperiodene:

Utviklet fargestoffmengde under 20 m	$> 2 \cdot 10^8 \cdot H^{\circ} \cdot m^3 / \text{døgn}$
Tilført fargestoff fra landsiden	$\approx 7,85 \cdot 10^7 \cdot H^{\circ} \cdot m^3 / \text{døgn}$
Diffusjon <u>ned</u> gjennom 20 m flaten	$5 - 10 \cdot 10^6 \cdot H^{\circ} \cdot m^3 / \text{døgn}$
Seksjon I's totale fargestoffinnhold	$\approx 2,2 \cdot 10^6 \cdot H^{\circ} \cdot m^3$

6. DISKUSJON OM RESULTATENE

Materialbalansens beregningsresultater er i konsentrert form samlet i flytediagrammene i figurene 13, 14 og 15. Resultatene representerer - så langt de er gyldige - betydningsfulle informasjoner om stoffhusholdningen i indre Oslofjord, og de gir grunnlag for mange konklusjoner og hypoteser. Slike tall foreligger ikke fra før, og man har hittil hatt bare vage begreper om deres størrelsesorden, selv om det kvalitative mønster stort sett var kjent. Tilsvarende informasjoner fra andre sjø- eller ferskvannsbassenger er ikke funnet i litteraturen.

I nærværende kapitel skal diskuteres hvilke konklusjoner og hypoteser resultatene fører til. Det er her på sin plass å minne om at materialbalanseresultatene delvis bygger på forenklete forutsetninger og på grove beregningsmetoder. Resultatenes presisjonsnivå vil derfor være lavt, hvor lavt er det imidlertid vanskelig å beregne. For den interne ligning skulle det være berettiget å anta at rapportens hovedkonklusjoner ikke svekkes av det lave presisjonsnivå (Kfr. avsnitt 3.5). For total-balansen kommer det derimot noen usikkerhetsmoment inn som kan ha større betydning. Vi har funnet det praktisk å omtale disse forhold først i slutten av kapitlet, selv om de i og for seg har relevans for kapitlet som helhet.

Det skal her også minnes om at flytediagrammene kun kan være gyldige for perioder med stagnerende dypvann i indre fjord. De viste resultater bygger på observasjoner fra fire slike perioder, nemlig sommerhalvårene 1962 - 1965.

6.1 Fordelingsmønsteret for tilført P, N og OF

Av flytediagrammene i fig. 13, 14 og 15 vil følgende fremgå:

- 1 a. Bare ca. 1/4 (eg. 27,3%) av det tilførte P kan registreres (gjenfinnes) som frigjort ortofosfat (PO_4) i seksjonene under 20 m. Resten av det tilførte P må være forsvunnet ved permanent sedimentasjon (B), ved "massivutskiftning" (U_{II} og U_{III}) eller direkte ut i havet fra øverste seksjon i mengden H_I . (Atmosfæreutvekslingsleddet A er for denne komponent = 0).

- b. Fordelingsmønsteret for N ligner meget på P-mønsteret. Også her kan ca. 1/4 (eg. 22,2%) av det tilførte påvises som frigjort komponent (NO_3) i seksjonene under 20 m. Resten må være forsvunnet slik som forklart for P, bortsett fra at noe N vil være forsvunnet som N_2 -gass og noe kanskje også bundet som NH_3 i de anoksiske eller oksygenfattige miljøer som periodevis finnes dypest nede i 4 av indre fjords 5 bassenger¹⁾. Mengdene av frigjort N_2 og NH_3 er ikke målt.
- c. For organisk stoff er forholdet annerledes. Her er det registrert et frigjort "oksygenforbruk" (OF) på nesten 100% (eg. 92,8%) av tilført mengde. Og tar man i betraktning at det i de anoksiske vannmasser dessuten er brukt oksygen fra kildene NO_3 og SO_4 (som ikke er registrert), er det ikke usannsynlig at det frigjorte OF i seksjonene under 20 m har vært på over 100% av tilført OF.
- 2 ab. For P og N kommer bare ca. 1/8 av den nevnte fjerdedel (eg. 13,9% av den for P og 11,3% av den for N) tilbake til øverste seksjon ved diffusjon nedenfra. Resten blir akkumulert i seksjonene under 20 m (og forsvinner når vannmassene her før eller siden byttes ut ved massivutskiftningsprosessene (U) i løpet av vinterhalvårene)
- c. For OF finner man analogt at bare ca. 1/8 av den målte frigjøring under 20 m dyp (eg. 11% av denne) kompenseres av oksygendiffusjon fra øverste seksjon. Resten må kompenseres av oksygen tilført seksjonene ved massivutskiftninger i løpet av vinterhalvårene.

Dette fordelingsmønster har gitt grunnlag for en del betraktninger omkring fjordens "eutrofieringsmekanisme" (avsnitt 6.2), om overflatelagets næringsstoffbalanse og organiske produksjon (avsnitt 6.3) og om mulighetene for å redusere de P- og N-induserte forurensningsulemper i fjorden ved sanerende tiltak (avsnitt 6.5). Ved å trekke inn noen andre informasjoner og å foreta visse antagelser er det, som et eksperiment, dessuten gjort

1) De fire bassenger som periodevis har anoksiske bunn- og dypvann-forhold er Bunnefjorden, Bekkelagsbassenget, Nordre Vestfjorden og Bærumsbassenget. Bare S/m Vestfjorden har i dag permanent friskt vann i alle dyp. (Dette forhold er omtalt i figurene 18, 19 og 20 i Delrapport 6.

forsøk på å anslå størrelsen av de ukjente ledd B, U_{II} , U_{III} og H i flyte-diagrammet for P (avsnitt 6.4). De viktigste usikkerhetsmomenter i forbindelse med den totale materialbalanse er omtalt i avsnitt 6.6.

6.2 Eutrofieringsmekanismen

Vektmengdekvotienten mellom komponentene P, N og OF i tilførselsmaterialet er på basis av tallene i Delrapport 11 beregnet til (kfr. tabell 17)

$$1 : 5,8 : 41,8$$

Grovt sett må man regne med at den fraksjon av tilførselene som synker ned forbi øverste seksjon har samme sammensetning¹⁾.

Vektmengdekvotienten mellom de frigjorte mengder P, N og OF i dyplagene er ifølge tabell 15 (som figurene 13, 14 og 15 bygger på)

$$450 : 2130 : 63800$$

eller omregnet

$$1 : 4,7 : 142$$

Vi ser her altså at noe N synes å være blitt borte - hvilket er i samsvar med det som er forklart i punkt 1b i foregående avsnitt. Hva som er viktigere, er imidlertid at CF-mengden synes å ha vært ca. 3,5 ganger større ($\frac{142}{41,8} = 3,4$) enn hva tilførselene i seg selv tilveiebringer. Denne tilleggs-mengde av OF, som altså er 2,5 ganger større enn den tilførte OF, kan ikke ha noen annen kilde enn den organiske vekst i øverste seksjon (grønn pil mot høyre og nedover i diagrammet i fig. 15).

1) Fordi tilførselsmaterialet er en blanding av mange forskjellige komponenter av varierende sammensetning er det dog ikke usannsynlig at den blanding som synker er noe forskjellig fra den som holder seg svevende. Hvis man f.eks. antar (hvilket er meget sannsynlig) at tilførselene fra kloakkene har større synkefraksjon enn dem fra elvene, vil kvotienten bli en mellomting av den oppgitte og kvotienten $1 : 5,0 : 16,8$ (kfr. tabell 17).

Tabell 17.

Tabell 17. P,N OG OF I TILFØRSLENE TIL INDRE FJORD

(Basert på informasjoner i delrapport 11)

			P	N	OF
Relativ fordeling av materiale bragt inn	via vassdragene	Direkte utnyttbar 1)	18	> 7	72%
		Ikke direkte utnyttbar	13	<34	
	direkte fra kloakkene	Direkte utnyttbar	41	>10	28%
		Ikke direkte utnyttbar	28	<49	
Totaltilførsel i kg/døgn			1642	9578	68672
P : N : O forholdet i	vassdragsandelen		1	7,7	97,0
	direktekloakkandelen		1	5,0	16,8
	totaltilførselen		1	5,8	41,8

1) for plantene i sjøen (d.v.s. ortofosfat-P og nitrat- + ammonium-N)

Den organiske vekst i overflatelaget har som P-næringsgrunnlag det oppløste ortofosfat, som N-grunnlag de oppløste nitrater og basiske forbindelser¹⁾ og som C-grunnlag oppløst CO_2 (med luftens CO_2 -innhold som reservoar). Denne mekanisme, at organisk stoff produseres i sjøen på grunnlag av tilgjengelige næringsstoffer, er et vesentlig element i en mer sammensatt, langsam og meget viktig utviklingsprosess som finner sted i svakere eller sterkere grad i mange av jordens større og mindre vannforekomster, og som går under navnet eutrofiering. Noen klar og entydig definisjon av dette begrep foreligger ikke, men slik det ofte brukes, innebærer det at en vannforekomst i tidens løp stadig blir anriket på næringsstoffer, og at dens planteproduksjon stadig øker (og gjerne samtidig skifter karakter). Meget finnes i litteraturen om dette tema - en bibliografi av Stewart og Rohlich (1967) kan være en god innfallsport.

I en fjord som indre Oslofjord er eutrofiering en uønsket prosess - ihvertfall i det betydelige omfang som den synes å forekomme i. For det første representerer den sterke plantevekst i seg selv en del vesentlige ulemper (reduisert gjennomskinnelighet i vannet, algebegroing av strender, kaier, låter, tauverk m.v.). For det annet vil den økede plantevekst gi grunnlag for øket begroing også av dyreorganismer som skaper tilsvarende ulemper (f.eks. blåskjellskall på badestrendene). (På den annen side kan den økede dyreproduksjon også innebære en fordel - nemlig den at avkastningen av matnyttig fisk og skalldyr øker). En tredje betydelig uønsket effekt av eutrofiering er at fjordens oksygenreservoar får øket belastning av OF. I Oslofjorden er denne effekt så sterk at det i dypvannet og på bunnen i fire av de fem bassenger som nevnt periodevis hersker direkte oksygenmangel med de kjente følger dette har.

I mange utvekslingshemmede fjorder (og innsjøer) vil eutrofiering innebære en stor grad av resirkulering og gjentatt utnyttelse av næringsstoffene P og N. Resirkulering skjer ved at de ved forråtnelse frigjorte næringsstoffer ved en eller flere prosesser (diffusjon, intern vannmasseforflytning m.v.) bringes tilbake til overflatelaget i samme fjord og på nytt inngår som vekstråstoff for plantene.

1) og eventuelt N_2 fra luften

I indre fjord må resirkuleringen, når det gjelder den fraksjon av næringsstoffene som frigjøres i dypene under 20 m, være meget beskjeden. Eksempelvis er regnskapet for P her følgende (basis total - P = 100). Av det frigjorte P i dyplagene stammer, som nettopp vist, en fraksjon på P' lik ca. $\frac{2,5}{3,5}$ fra organisk stoff produsert i sjøen. Diffusjonen av P' tilbake til øvre seksjon (gjennom 20 m-flaten) vil følgelig være $3,8 \cdot \frac{2,5}{3,5} = 2,7\%$. Av disse 2,7% vil en meget liten del forsvinne ut gjennom Drøbaksundet ved horisontaldiffusjon og vannmasseutskiftning i øverste seksjon, mens resten - en mengde meget nær 2,7% - vil bli utnyttet av plantene og dermed være den andel av total-P tilført som deltar i resirkuleringen.

Hvor stor andel av den i øverste seksjon innlagrede P-fraksjon som resirkuleres på denne måte innen seksjonen, har vi foreløpig intet grunnlag for å beregne. Et mulig grunnlag for grovt å anslå denne andel er omtalt i kap.5. Det er rimelig å vente at den lokale resirkulasjon her tallmessig betyr mere enn den ovennevnte resirkulasjon som går via dyplagene.

Det er i begynnelsen av nærværende avsnitt vist at mengde organisk stoff produsert i sjøen er ca. 2,5 ganger større enn det kvantum som total-tilførselene fra land tilveiebringer. Hvis man ser nærmere på tilførslenes opprinnelse og sammensetning, (tabell 17), finner man imidlertid at det må være tilførslenes kloakkandel som har hovedansvaret for næringsstoffanrikningen og den derav følgende store organiske produksjon i sjøen. Over 2/3 av tilført P og nesten 2/3 av tilført N stammer nemlig fra denne kilde¹⁾. På denne bakgrunn kan det være interessant å sammenligne den organiske stoffmengde produsert i sjøen med kloakkandelens organiske stofftilførsel (28%) i stedet for med totaltilførslenes (100%). Gjør man det, får man istedenfor faktoren 2,5 (d.vs. egentlig 2,4) en faktor på $2,4 \cdot \frac{100\%}{28\%} = 8,6$.

1) Egentlig er kloakkandelens P- og N-overvekt enda større, i det vassdragstallene i fig. 17 også inkluderer all kloakk som i dag slippes ut i vassdragene. (Kfr. Delrapport 11, fig. 23 og 24).

6.3 Næringstoff-balanse og organisk produksjon i overflatelaget

For fjordens kvalitetstilstand med hensyn til de viktigste forurensningsulemper spiller omfanget av dens egen organiske produksjon en vesentlig rolle. Denne produksjon er, som tidligere nevnt, hovedsakelig knyttet til overflatelaget, og den har tilgang av bl.a. næringselementene P og N i tilgjengelig form som minimumsfaktorer.

På basis av de foreliggende informasjoner er det mulig å sette opp en egen materialbalanse for overflatelaget om enn meget grovere - for elementet P i den tilgjengelige form ortofosfat. Ut fra denne lar det seg så gjøre å anslå omfanget av den organiske produksjon i fjorden på en noe mer konsis måte enn i forrige avsnitt.

En tilsvarende materialbalanse for tilgjengelig N i overflatelaget - som ville ha representert en nyttig kontroll av P-balansens resultater - lar seg ikke sette opp. Det er to grunner til dette. For det første har vi ikke analysedata for alle de tilgjengelige, oppløselige N-forbindelser som finnes i sjøen, og for det andre vet vi ikke om, og i tilfelle i hvor stor grad, plantene i fjorden utnytter N i form av N_2 fra luften.

Med fjordens overflatelag mener vi normalt det forholdsvis homogene brakkvannslag over sprangskiktet (som forøvrig bare eksisterer i sommerhalvåret). Dets tykkelse varierer en del, men strekker seg vanligvis ned til et dyp av 8 - 12 m. I våre beregninger må vi la hele seksjon I (0 - 20 m) spille rollen som overflatelag, fordi vi ikke har det fulle datagrunnlag for en finere horisontalinddeling av denne seksjon. (Det som mangler, er vertikaldiffusjonskoeffisienten - de kjemiske data finnes). Dermed har vi den situasjon at seksjon I ikke bare består av én homogen vannmasse, men av to eller flere horisontale lag av forskjellige vannmasser. Dette er en betydelig svakhet ved materialbalansene - både ved den totale og ved den spesielle for overflaten - som gjør det vanskeligere å trekke sikre konklusjoner.

Overflatelagets ortofosfatbalanse består av følgende ledd:

1. Diffusjon nedenfra (gjennom 20 m-flaten) er beregnet tidligere og fremgår bl.a. av fig. 13. Den er på 3,8% av total-P tilført, men avrundes her til 4%.

2. Tilførslenes egen ortofosfatfraksjon er beregnet i Delrapport 11 (kfr. tabell 17). Den er på (ca. 18 + ca. 41) = ca. 59% av total-P.
3. Frigjort ortofosfat ved dekomponering i seksjon I av tilførslenes organiske stoff. Mengden må være (100% - 59% - den partikulære fraksjons-% av total-P som tildels synker og tildels forsvinner ut gjennom Drøbaksundet). Den sistnevnte del av denne partikulære fraksjons-% av total-P vil imidlertid være meget liten, idet de faste partikler fra kloakkene gjerne synker forholdsvis raskt. For våre beregninger settes denne del av fraksjons-% lik 0, slik at det samlede bidrag fra hele punkt 3 blir = (41%-synkende fraksjons-% av total-P). Da den synkende fraksjons-% av total-P nødvendigvis må ligge mellom 0 og 41%, kan bidraget omskrives til formen $20,5 \pm 20,5\%$ eller avrundet $20 \pm 20\%$ av total-P-verdien.
4. Forbruk av ortofosfat i seksjon I akkumulert i vinterhalvåret. Analysedataene viser at det for indre fjord som helhet ikke fant sted noen netto akkumulering i seksjon I i løpet av sommerhalvårene - men at det derimot fant sted en viss reduksjon fra vår til høst av det lille forråd som her var opparbeidet i løpet av vinterhalvårene. Verdiene av dette ledd er ikke tatt med i rapportens tabeller, men er separat beregnet for parameteren P til å tilsvare en E_I -verdi i fig. 13 på -3%.
5. Transport av ortofosfat gjennom Drøbaksundet. En viss transport av ortofosfat fra seksjon I ut gjennom Drøbaksundet må antas å finne sted ved horisontaldiffusjon og forskjellige andre horisontale vannutskiftnings-prosesser. Vi har foreløpig intet hydrografisk grunnlag for å beregne denne transport, men vi må anta at den er meget liten, både fordi overflatelagets ortofosfat-konsentrasjon i sommerhalvåret er meget liten, og fordi den er svært lik i indre fjord og i fjorden utenfor. Analysetallene viser i middel en svakt fallende tendens utover, og vi har skjønnsmessig derfor satt denne transport til 1% av total-P-verdien med retning utover. Et spesielt moment i forbindelse med dette transportledd er diskutert i avsnitt 6.6.

6. Forbruk av ortofosfat ved plantevekst - som er overflatelagbalansens eneste ukjente ledd - er før gitt betegnelsen V_I .

En sammenstilling av disse 6 ledd gir følgende P-balanse for seksjon I i sommerhalvåret:

	Inn	Ut	Akkumulering
1. Diffusjon nedenfra	4%		
2. Tilførslenes egen ortofosfatfraksjon	59%		
3. Frigjort ortofosfat ved nedbrytning i seksjon I av tilførslenes organiske stoff	$20 \pm 20\%$		
4. Forbruk av ortofosfat akkumulert i seksjon I i vinterhalvåret			-3%
5. Transport av ortofosfat ut gjennom Drøbaksundet		1%	
6. Forbruk av ortofosfat ved plantevekst		V_I	

På basis av denne balanse kan leddet V_I beregnes

$$V_I = 4 + 59 + (20 \pm 20) - 1 + 3 = 85 \pm 20\%$$

Dette forteller at det pr. 100 enheter P i sommerhalvårets tilførsler foregår en midlere planteproduksjon i seksjon I i sommerhalvåret som ekvivalerer $85 \pm 20\%$ enheter P. Utnyttelsen av den beskjedne mengde akkumulert P fra vinterhalvåret (på 3%) er da medregnet. (Den ukjente, og antagelig ikke uvesentlige, produksjon som ekvivalerer den interne resirkulering av P innen seksjonen selv, er derimot ikke medregnet.)

Fordi alt ortofosfat som tilføres seksjon I i sommerhalvåret også forbrukes i sommerhalvåret (slik at det ikke finnes noen akkumulert rest av dette til slutt,) vil resultatet V_I lik $85 \pm 20\%$ også representere den samlede midlere ortofosfattilgang i seksjon I i sommerhalvårene 1962-1965". I avsnitt 6.5 er det referert til denne størrelse, der betegnet som "dagens situasjon" m.h.t. seksjonens ortofosfatbelastning.

Den beregnede V_I -verdi gir oss mulighet til å beregne forholdet mellom sjøprodusert og tilført organisk stoff på en noe annen og mer konsis måte enn i forrige avsnitt:

P : OF relasjonene	i tilført	1 : 41,8
på vektbasis er	i sjøprodusert	1 : 142

Basis 100 g tilført P

Mengde P utnyttet til plantevekst	85 ± 20 g
Mengde OF produsert til plantevekst = $(85 \pm 20) \cdot \frac{142}{1}$	$= 12070 \pm 2840$ g
Mengde OF tilført fra landsiden = $100 \cdot 41,8$	$= 4180$ g
Produsert OF pr. 100 g tilført OF = $\frac{12070-2840}{4180} \cdot 100$	$= 289 \pm 68$ g

På basis av den spesielle materialbalanse for ortofosfat i overflatelaget har vi altså her funnet at den organiske produksjon i sjøen var ca. $2,9 \pm 0,7$ ganger så stor som den fra landsiden tilførte organiske stoffmengde. I foregående avsnitt kom vi til tallet 2,4. (eller avrundet 2,5). Omregner vi også dette nye resultat på kloakkandelbasis (kfr. foregående avsnitt) finner vi at den organiske produksjon er $(2,9 \pm 0,7) \frac{100}{28} = 10,3 \pm 2,5$ ganger så stor som den tilførte organiske stoffmengde fra kloakkene.

Dette at vi på to delvis forskjellige måter er kommet frem til omtrent samme forholdstall - h.h.vis $8,6$ og $10,3 \pm 2,5$ - mellom sjøprodusert og kloakktilført organisk stoff, må kunne betraktes som et indisium på at resultatene er av riktig størrelsesorden. Et ytterligere bekreftende indisium foreligger i Delrapport 10, hvor man på en helt annen bakgrunn kom frem til følgende konklusjon: "Kloakkvannets innhold av gjødselstoffer kan direkte betinge en algevekst som, når det gjelder organisk stoff, i det minste er 5 - 10 ganger større enn kloakkvannets innhold av organisk stoff."

En del av det i seksjon I produserte plantemateriale vil, i original form eller etter å ha vært fortært av dyreorganismer, forsvinne ut gjennom Drøbaksundet ved de forskjellige utskiftningsmekanismer i seksjon I (samlepilen H i flytediagrammet¹⁾). En annen del vil dø, råtne og dekomponeres innen seksjonen og her gi grunnlag for ny vekst. (Denne del, den interne resirkulering, registreres som nevnt ikke av våre ligninger). Resten vil før eller siden synke ned til de dypere seksjoner (grønne piler i flytediagrammet) og inngå som andeler av F og B-leddene her. Hvordan det produserte organiske materiale fordeler seg mellom transport ut av fjorden og synkning ned mot dypet, har vi ikke grunnlag for å beregne. Et forsøk på å anslå bl.a. denne fordeling er imidlertid gjort i neste avsnitt.

6.4. Forsøk på å anslå de ukjente ledd i flytediagrammet for parameteren P

I avsnitt 4.4 side 59 er det gitt en oversikt over flytediagrammenes ukjente ledd. Nærmest som et eksperiment er det for parameteren P gjort et forsøk på å anslå størrelsene av disse ledd. Slike forsøk lot seg ikke fullt ut gjennomføre for parametrene N og OF, fordi det tilsvarende grunnlag for disse ikke var tilstede i tilstrekkelig grad.

For parameteren P var det aktuelt å finne følgende ledd:

- | | |
|-----------------------|---|
| B | permanent sedimentert materiale (bare summen $B = B_I \dots B_{VI}$ er vurdert). |
| U_{II} og U_{III} | massivutskiftning mellom seksjonene II og III og havet (leddene U_{IV} , U_V og U_{VI} er antatt å være lik 0). |
| H_I | samletall for direkte transport ut gjennom Drøbaksundet fra seksjon I. |

Av de to gjenstående ledd i listen på side 59 faller A_I bort, fordi $A_I = 0$ for parameteren P, og leddet V_I er senere blitt beregnet (kfr. forrige

1) H inkluderer også transport av oppløst ortofosfat, men andelen av denne komponent i H må antas å være liten (kfr. avsnitt 6.3 pkt.5).

avsnitt). (Leddene $V_{II} \dots V_{VI}$ er antatt å være lik 0.

Leddene ble anslått på følgende måte:

Ledd B er forsøksvis beregnet på basis av en anslått sedimenteringshastighet i indre fjord og noen få stikkprøveanalyser av sedimentenes innhold av P, N og C. Resultatet av denne beregning var bl.a. en B-verdi på 18% av total-P. Alle informasjonen og beregninger finnes i bilag 5.

Ledd U_{II} er for parameteren P forsøkt beregnet ut fra den hypotese at den spesifikke frigjøring av P i seksjon II er omtrent like stor som den midlere spesifikke frigjøring i de dypere seksjoner. Beregningen ga som resultat en U_{II} -verdi på 17%. Leddet U_{III} ble antatt å være lite og satt lik 0. Resultatene av U-beregningene er for ordens skyld notert i formen $U_{II} + U_{III} = 17\%$. Alle informasjonen og beregninger finnes i bilag 5.

Ledd H var derved blitt det eneste ukjente ledd og kunne finnes av den totale balanseligning $T = E + B + U + H + A$ - som omskrevet gir

$$H = T - E_{I-VI} - B - U - A = 100 - 20,5 - 18 - 17 - 0 = 44,5\%$$

Hvor korrekte de her prøveberegnede verdier for B,U og H er, har vi idag intet grunnlag for å anslå, men de ser i det minste ikke så urimelige ut. Det er meget usannsynlig at noen av dem kan være negative, og også lite sannsynlig at noen av dem kan ha verdier i nærheten av 0. Sammenlagt er verdien av $B + U + H$ lik $100 - E_{I-VI} = 79,5\%$.

Hvis man for B- og U-verdiene hver for seg antar en relativ usikkerhet på $\pm 50\%$, som det ikke er urimelig å tro er en tilstrekkelig sikkerhetsmargin, får man følgende verdsett:

$$B = 18 \pm 9\%$$

$$U = 17 \pm 8,5\%$$

$$H = 44,5 \pm 17,5\%$$

Hvis B- og U-leddene her er noenlunde riktig anslått, er altså samleleddet H et betydelig ledd i flytediagrammet for P. I den forbindelse er det viktig å huske at transporten H, i henhold til hva som tidligere er sagt, først og fremst omfatter organisk materiale som sjøen selv har produsert og svært lite av oppløst ortofosfat og av primære kloakkpartikler.

6.5 Mulighetene for å redusere de næringsstoff-induserte forurensningsulemper ved sanerende tiltak

De forurensningsulemper i indre fjord som har tilknytning til materialbalansens parametre (P, N og OF) er som nevnt i første rekke konsekvenser av den sterkt økede planteproduksjon i overflatelaget:

I overflatelaget får man redusert gjennomskinnelighet i vannmassene (p.g.a. øket mengde planteplankton), øket begroing av planter og dyr, (på strender, kaier, båter, tauverk osv.) og formulding av sandstrender.

I dypet får man øket oksygenforbruk (p.g.a. den økede mengde av synkende organisk materiale) som ofte fører til direkte oksygenmangel og dermed råttent dypvann og råttent bunn. De praktiske ulemper av dette er i første rekke at de fisk- og dyrearter der som er avhengig av oksygen forsvinner, og dessuten en latent fare for skade på planter, fisk og dyr i høyere vannlag ved interne omveltninger i vannmassefordelingen i indre fjord.

I luften kan man få luktulemper. Først og fremst gjelder dette lokale områder med grunt vann hvor sterk belastning av tilført eller lokalt produsert organisk stoff sammen med dårlig vannutveksling fører til anoksiske tilstander i strandbeltets tidevannssone. I ekstreme tilfelle kan man også tenke seg luktulemper ved at anoksiske dypvann ved vannmasseomveltninger bringes helt opp til overflatelaget og i kontakt med luften.

Dagens planteproduksjonsnivå er høyere enn det var for 50 år siden, og økningen er uten tvil en følge av øket tilførselsbelastning fra landsiden. Produksjonsøkningen er foregått gradvis og sannsynligvis stort sett i takt med belastningsøkningen, og den vil innen visse grenser fortsette så lenge belastningen fortsetter å stige.

Likesom fjorden er følsom for stigende belastning, er det god grunn til å anta at dens kvalitet raskt vil forbedres igjen hvis belastningen reduseres. Det synes ikke å være slik, som mange har fryktet, at den store belastning gjennom de siste dekaner har akkumulert seg til et forureningspotensial som det vil ta lang tid å nedbygge igjen. Fjordens periodiske vannutskifting i dypet, som beskrevet i fig. 5, synes nemlig å gjøre ganske rent bord hver gang. Det kvantum av f.eks. P som til enhver tid er akkumulert i fjorden under 20 m, er normalt ikke vesentlig større enn den samlede tilførsel fra landsiden gjennom ett år, og heller ikke i sedimentene finnes det, så langt våre analyser viser, noen særlig betydelig P-reserve som kan tenkes tilbakeført til vannet.

Ved sanerende tiltak vil det være mulig å redusere næringsstofftilgangen til fjordens overflatelag i betydelig grad. Da det ser ut til at både P og N er minimumsfaktorer for plantevekst i indre Oslofjord (kfr. Delrapportene 4 og 10), er det rimelig å anta at reduksjon i forsyningen av disse to komponenter vil føre til redusert planteproduksjon. Den kvantitative sammenheng mellom denne effekt og reduksjon i næringsstoff-forsyningen er ikke vurdert i forbindelse med nærværende rapport.

Flere alternative metoder for å redusere næringsstofftilgangen til indre fjords overflatelag foreligger i praksis. De fire viktigste skal omtales nedenfor i lys av de informasjonen som materialbalansen har gitt. Man må ved lesning av dette avsnitt ha i mente at disse er mer eller mindre upresise, og at de tall som presenteres bare er ment å skulle illustrere størrelsesorden av de forskjellige fenomener.

Ved diskusjon om de enkelte metoders effekter skal bare P-balansen legges til grunn, fordi våre N-resultater er beheftet med større usikkerhet. Med visse begrensninger må det scm her kommer frem dog antas å ha analog gyldighet også for N.

Basis for alle kvantitative vurderinger i dette avsnitt er en T-verdi for parameteren $P = 100\%$ (- også kalt "total-P"). For hver av de fire metoder skal vi her forsøke å anslå hvor stor ortofosfatforsyningen i overflatelaget (seksjon I) vil bli. Som sammenligningsgrunnlag kan man huske at denne tilgang for dagens situasjon (perioden 1962 - 1965) var beregnet til $85 \pm 20\%$ (kfr. avsnitt 6.3).

1. Dypvannsutslipp i indre fjord av "mekanisk rensed kloakkvann"¹⁾

Man kan sørge for å få det mekanisk rensede kloakkvann innlagret i et mellomskikt under overflatelaget i indre fjord. Dette lar seg teknisk arrangere (ved såkalte "diffusorutslipp" i dypet) uten særlig store omkostninger. Det er i denne forbindelse først og fremst tale om den andel av tilførslene som kommer fra kloakkene. Den er i dag på ca. 69% regnet på P-basis, men vil ved utbygging av kloakknett på land kunne bringes opp til ca. 80% (Delrapport 11). Den resterende 20%-andel som kommer fra vassdragene vil det være langt mer kostbart å bringe ned i dypet.

Ved en mellomskiktinnlagring i vannmassene under 20 m dyp vil følgende mengder ortofosfat-P bli disponible for planteveksten i seksjon I:²⁾

- a. Av de 20% fra vassdragene vil ca. 3/5 (kfr. tabell 17) være ortofosfat-P - d.v.s. ca. 12%. Av de resterende

-
- 1) Med "mekanisk rensed kloakkvann" menes kloakkvann som er befridd for sitt innhold av suspendert materiale. Slik rensning, som vanligvis utføres ved gravitasjons- eller flotasjonsprosesser, betyr lite for næringsstoff-forsyningen til overflatelaget, og kunne forsåvidt ha vært sløffet. Når den likevel må tas med, er det særlig fordi utslipp av urensed kloakkvann kan gi betydelige slamproblemer i nærheten av utslipps-stedene.
- 2) Vi forutsetter her at skilleflaten mellom overflatelag og det nye mellomskikt ligger i 20-m's dyp. Dette er ikke korrekt, men beregningene lar seg ikke gjennomføre - på dagens datagrunnlag uten en slik forenkling. Ad konsekvensene av denne forenkling - kfr. fotnotene side 86 og 88.

2,5 (ca. 8%) partikkelbundne fosfor vil noe (forslagsvis 3%) synke, og resten (d.v.s. ca. 5%) vil frigjøres ved forråtnelse i overflatelaget. Tilsammen tilveiebringes fra denne kilde altså anslagsvis $12 + 5 = 17\%$ ortofosfat til seksjon I.

- b. Av de 80% av total-P som kommer fra kloakkene, vil ca. $3/5$ (d.v.s. ca. 48%) foreligge i form av oppløst ortofosfat, mens ca. $2/5$ (d.v.s. ca. 32%) vil være bundet til det partikulære materiale. Ved den mekaniske renseprosess kan man anta at ca. 15 av disse 32% blir borte sammen med det suspenderte materiale. Når det mekanisk rensede kloakkvann blir innlagret i mellomskiktet, vil ortofosfatandelen på ca. 48% primært holde seg i dette skikt, mens den gjenværende partikulære fraksjon på ca. $(32 - 15)\%$ etterhvert vil synke ned mot dypet - for tildels å sedimenteres permanent og tildels å frigjøres som ortofosfat i de forskjellige seksjoner under 20 m. Sammen med de $(32 - 15)\%$ og med samme skjebne synker den partikulære 3%-fraksjonen fra seksjon I og også synkeandelen av leddet V_I . Alle de $(48+32-15)\%$ (samt de 3% og synkeandelen av V_I) vil før eller siden forlate fjorden via de kjente transportveier i flytediagrammet (fig. 13) - ved B, ved U_{II} og U_{III} , ved E (og senere utskiftning i vinterhalvåret) og ved diffusjon oppover gjennom 20 m flaten (D_{20}). Den eneste av disse transportveier som bringer noe av de $(48+32-15) + 3 +$ synkeandelen av V_I) opp i overflatelaget, er den sistnevnte. Fordi mellomskiktets konsentrasjon av ortofosfat vil bli noe større enn før, vil diffusjonsleddet ved denne metode bli noe øket i forhold til dagens situasjon, men økningen avdempes noe ved at den totale belastning i de dypere seksjoner, og dermed fosfatdiffusjonen derfra, blir mindre enn før. Forsøksvis settes diffusjonen opp gjennom 20 m-flaten ved denne metode til 10%. (Dette tall, som er meget usikkert har stor betydning og vil bli nærmere diskutert i avsnitt 6.6.)

Samlet er altså forsyningen av ortofosfat til seksjon I ved denne metode forsøksvis anslått til $17 + 10 = 27\%$ av total-P.

2. Kloakkutslipp i ytre fjord. Man kan redusere næringsstofftilgangen til indre fjord ved å samle alt kloakkvann i avskjærende ledninger og slippe det ut i ytre fjord - og da så langt ut at det ikke kommer tilbake til indre fjord.¹⁾ Som for metode 1 kan man i praksis bare ta hånd om de 80% fra kloakkene, mens vassdragenes 20% vil komme ut i indre fjords overflate som før.

a. For de 20% av total-P fra vassdragene vil regnestykket bli helt analogt med det for metode 1 - det vil bl.a. si at $12 + 5 = 17\%$ av total-P vil komme planteveksten til gode i form av ortofosfat.

b. Mellomskiktet vil motta de 3% tilført vassdrags-P som synker ned hit fra seksjon I samt den synkende andel av leddet V_I . V_I andelen vil være mindre enn før, fordi man må regne med at V_I som helhet blir mindre enn før. Ortofosfatkonsentrasjonen i mellomskiktet vil av denne grunn bli mindre enn den er i dag, og følgelig vil diffusjonen opp gjennom 20 m flaten bli mindre enn dagens 3,8% . Anslagsvis settes den til 2% av total-P.

Samlet er ortofosfatforsyningen til seksjon I for denne metode dermed anslått til $17 + 2 = 19\%$ av total-P.

3. Reduksjon av kloakkvannets næringsstoffinnhold før det ledes ut i indre fjord ved dypvannutslipp. En betydelig del av kloakkvannets P-innhold (og forøvrig også N-innhold) kan fjernes i spesielle renseanlegg. Som for metodene foran kan man i praksis bare ta hånd om de 80% fra kloakkene, mens vassdragenes 20% vil komme ut i overflaten som før. Regnestykket blir:

a. For de 20% av total-P fra vassdragene det helt analogt med det for metode 1 - det vil bl.a. si at $12 + 5 = 17\%$ av total-P kommer plantene tilgode i form av ortofosfat.

1) Og dessuten på en slik måte at det ikke medfører generelle eller lokale forurensningsulempen i ytre fjord.

- b. Situasjonen i mellomskiktet vil avhenge av renseanleggenes virkningsgrad. Ved svært lav virkningsgrad vil den bli nokså lik den situasjon som er beskrevet for metode 1 - ved økende virkningsgrad vil situasjonen nærme seg den som er beskrevet under metode 2.

Ortofosfatforsyningen til seksjon I ved denne metode vil være avhengig av renseanleggenes virkningsgrad. Samlet antas den bli mindre enn $17 + 10 = 27\%$ og større enn $17 + 2 = 19\%$ av total-P.

4. Reduksjon av kloakkvannets næringsstoffinnhold og utslipp i fjordens overflatelag. Hvis man som ved metode 3 anvender spesialrenseanlegg for å redusere P-innholdet i tilførslenes kloakkandel (de 80%), men lar det rensede vann renne ut i overflatelaget, vil man få en situasjon som i langt sterkere grad enn for metode 3 er avhengig av renseanleggenes virkningsgrad. Ved 100%-virkningsgrad ville situasjonen bli omtrent som ved metode 2 - ved 0% rensningsgrad vil situasjonen bli slik den er i dag. Ved denne metode vil ortofosfatforsyningen - i avhengighet av renseanleggenes virkningsgrad - derfor falle innenfor rammen $19\% - (85\% \cdot 20\%)$ av total-P.

Ut fra denne omtale av fire alternative metoder for reduksjon av ortofosfat-forsyningen til seksjon I ser det ut til at meget betydelige resultater kan oppnås - resultater som, om de er riktige, uten tvil ville få vesentlige og positive konsekvenser for fjordens kvalitets-tilstand.

Det kan være praktisk å se disse resultater stilt sammen:

Metode	Prinsipp	Plantevekstens ortofosfatforsyning i seksjon I i % av tilført total-P
1	Dyputslipp av mekanisk rensset kloakkvann i indre fjord	27%
2	Kloakkvannsutslipp i ytre fjord	19%
3	Reduksjon av kloakkvannets næringsstoffinnhold før det ledes ut i indre fjord ved dyputslipp	19 — 27%
4	Reduksjon av kloakkvannets næringsstoffinnhold før det ledes ut i fjordens overflate	19 — (85 [±] 20)%
"dagens situasjon" (- d.v.s. kloakkvannsdiskonseringsopplegget i 1962 - 1965)	Overveiende overflateutslipp av kloakkvannet nær land. Noe urensset, noe sedimentert og noe biologisk rensset	85 [±] 20%

Det går her frem at man kan oppnå det beste resultat (19%) ved utslipp i ytre fjord (Metode 2). Noe annet ville det også være urimelig å vente. Oppsiktsvekkende er det derimot at man synes å kunne oppnå nesten det samme resultat (27%) med utslipp i dypet i indre fjord av kloakkvann som bare er mekanisk rensset (Metode 1) - en metode som ville falle langt billigere enn den foran nevnte. Reduksjon av kloakkvannets P-innhold i spesielle renseanlegg og utslipp i overflaten (Metode 4) ville også gi gode resultater, såfremt rensseffekten er høy nok. Anvendelse av slik spesialrensning i tillegg til dyppvannsutslipp i indre fjord (Metode 3) vil ikke kunne gi noen vesentlig bedring utover det metode 1 gir.

Det er allerede presisert at disse resultater bare er omtrentlige, og at de oppførte verdier bare kan indikere sannsynlige størrelsesordener. Som antydnet i begynnelsen av dette kapittel, hefter det usikkerhetsmomenter ved den totale balanse som gjør at denne kan være noe misvisende også i de store trekk. Dermed råder det også en usikkerhet om hvor langt de viste konsekvenser av de alternative sanerende tiltak er å stole på. Dette spørsmål skal tas opp i neste avsnitt (avsnitt 6.6).

I tillegg til de fire metoder for reduksjon av overflatelagets næringsstoffinnhold som her er omtalt, er også en femte metode trukket frem i den faglige og offentlige diskusjon: "dyputslipp av store ferskvannsmengder i indre fjord". Prinsippet for denne metode er følgende:

Hvis større ferskvannsmengder (fra f.eks. Øyeren eller Tyrifjorden) i sommerhalvåret ledes ut i dypet av indre fjord under anvendelse av passende diffusorer, vil man kreere en stor brakkvannsmasse som egenvektsmessig hører hjemme, og derfor vil plassere seg, mellom det nåværende brakkvannsskikt og sjøvannet i de midlere dyp. Denne vannmasse vil, etterhvert som det stadig produseres mer av den, måtte finne sin vei ut av fjorden i form av en ny mellomskiktsstrøm ut gjennom Drøbaksundet. Hvis man så ved diffusorutslipp i dypet blander kloakkvannet inn i denne nye vannmasse, vil det forsvinne ut på samme måte. Hvorvidt det i praksis er mulig å få en slik mekanisme til å virke, er ikke endelig utredet, men det er grunn til å tro at det lar seg gjøre. Ferskvannsinledningen kunne, om man ønsket det ut fra andre interesser (flomsikring; kraftproduksjon), gjerne foregå også om vinteren. Da ville riktignok den nydannede vannmasse legge seg i overflaten og forsvinne ut som en overflatestrøm (fordi brakkvannsskiktet mangler om vinteren), men på denne årstid ville det neppe få noen uheldige konsekvenser. (Dog burde, hvis metoden blir aktuell, mulighetene for uheldige biologiske effekter og økede isvanskeligheter for sikkerhets skyld utredes).

Hensikten med denne metode er altså for sommerhalvåret å sørge for at kloakkvannet som skal innlagres i mellomskiktet, tar veien ut av fjorden uten å komme opp i overflaten. Ifølge vår totalbalanse ser det imidlertid ut til at kloakkvann innlagret i mellomskiktet tar den ønskede vei ut uten et slikt inngrep i naturens orden. Hvis våre tall er noenlunde riktige, vil denne femte metode med andre ord ikke ha noen vesentlig tilleggseffekt.

I forbindelse med de omtalte metoder er det på sin plass å peke på at de ulemper i fjorden som skyldes stor organisk produksjon, gjør seg sterkere gjeldende i indre fjord enn næringsstoffbelastningen her egentlig tilsier. Grunnen til dette er at svært meget av kloakkvannsbelastningen i dag kommer til fjorden inne i trange bukter og avskjermede bassenger, hvor vannutskiftningen - og dermed fortynningsmulighetene - er spesielt dårlige. Belastningen er med andre ord størst i de

lokale områder av indre fjord som tåler den minst. Og - hvilket gjør situasjonen enda mer uheldig - det er nettopp i slike trange bukter og avstengte områder at publikums rekreasjonsinteresser er konsentrert. Frognerkilen og Bestumkilen kan være eksempler på områder hvor øket lokal belastning har hatt markante følger. Om indre fjords samlede kloakbelastning i dag istedet hadde vært tilført overflatelaget i indre fjords åpne farvann, ville "forurensningspreget" uten tvil ha vært betydelig svakere.

Alle de hittil omtalte metoder har som mål å sikre at næringsstoff-forsyningen, og dermed den organiske vekst, i overflatelaget holdes på et akseptabelt nivå. Også andre metoder enn disse kunne tenkes anvendt for samme formål. Det å nå dette mål er utvilsomt den viktigste, og samtidig den vanskeligste, oppgave man står ovenfor når man skal løse fjordens samlede forurensningsproblemer. Et annet og i seg selv selvstendig mål man kan sette seg, er å sikre et tilstrekkelig oksygenivå i bunnvannet i alle indre fjords bassenger. Langt på vei vil man oppnå dette som en sekundærvirkning av at den organiske vekst i overflatelaget reduseres til et akseptabelt nivå. Om dette ikke skulle vise seg tilstrekkelig, har man flere metoder å sette inn, hvorav de viktigste er:

Innblåsing av luft ved bunnen i de dypeste bassenger i vinterhalvåret. Denne metode virker på tre måter. For det første vil oksygen fra den innblåste luft løses opp i dypvannet. For det annet vil de oppadstigende luftbobler forårsake en øket vertikal-diffusjon som blant annet innebærer at oksygen fra overflatelaget raskere transporteres ned mot dypet. For det tredje vil dypvannet, på grunn av den økede vertikaldiffusjon, raskere oppta ferskvann slik at dets massivutskiftningsfrekvens blir høyere. (Når slik luftinnblåsning bare bør skje i vinterhalvåret, er det fordi den økede vertikaldiffusjon også vil innebære at næringsstoffene i dypvannet raskere blir bragt oppover - en prosess som er nyttig om vinteren, men sterkt uønsket om sommeren.

Innledning av ferskvann (ved diffusorteknikk) ved bunnen i de dypeste bassenger i vinterhalvåret. Denne metode vil, på samme måte som foregående, føre til øket vertikaldiffusjon med de konsekvenser dette hadde. Derimot vil den foregående metodes førstnevnte effekt, oppløsning av oksygen fra luftboblene, mangle og bare være erstattet av den lille oksygentilførsel som det tilførte

ferskvanns oppløste forråd representerer. Til gjengjeld er det teknisk sett langt enklere å bringe ferskvann ned på dypet enn luft.

Anlegg av dypvannstunnel med pumpe mellom Bunnefjorden og Drøbaksundet utenfor terskelen. Hvis dypvann fra Bunnefjorden stadig pumpes ut i Drøbaksundet, vil man påvirke de hydrografiske forhold på en slik måte at frekvensen av de naturlige massive innstrømninger av friskt dypvann over Drøbakerskelen og ned i dypet av indre fjord øker. Hvis man pumper den motsatte vei, vil man skape en kontinuerlig dypvannstransport fra Bunnefjorden via Vestfjorden og ut over Drøbakerskelen. I begge tilfeller vil man oppnå et renere og mer oksygenrikt vann i dypet av indre fjord.

6.6. Usikkerhetsmomenter ved den totale balanse

På basis av den totale balanses tall resultater er det i nærværende kapittel gjort en del kvalitative og kvantitative betraktninger omkring betydningsfulle prosesser i fjorden og om våre muligheter til å påvirke disse. Mange usikkerhetsmomenter knytter seg til disse betraktninger. De fleste av disse spiller rolle bare for konklusjonenes tallmessige presisjon, mens det er noen, og da særlig tre, som også kan ha betydning for deres generelle kvalitative gyldighet. Dette gjelder usikkerheten omkring "Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meter-flaten i indre fjord", betydningen av "Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meter-flaten i ytre fjord" og gyldigheten av "Omregningen Bunnefjorden + S/m Vestfjorden/ indre fjord" for den interne ligning. Disse tre momenter skal omtales i de følgende avsnitt.

6.6.1 Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meter-flaten i indre fjord

Den totale balanse bygger i stor utstrekning på den interne lignings parametre, hvis pålitelighetsnivå allerede er vurdert i avsnitt 3.5 foran. Vi fant her at "feilkilder og usikkerhetsmomenter kan ha hatt betydelig innflytelse på tallverdiene, men sannsynligvis ikke i så stor grad at de svekker grunnlaget for de hovedkonklusjoner som rapporten gir". Foruten parametrene fra den interne ligning inkluderer den totale balanse, gjengitt i figurene 13, 14 og 15, også tre nye: tilførselen T , vertikal-diffusjonstransporten $D_{II/I}$ (gjennom 20 m-flaten) og samleleddet H_I .

Av disse er T og $D_{II/I}$ primærparametre (i den forstand at de hver for seg er basert på målte data), mens H_I er avledet som et resultat av den totale balanse. For parameteren T , hvis bakgrunn er beskrevet i avsnitt 2.53, antas pålitelighetsnivået å være lavt, men dog ikke så lavt at rapportens hovedkonklusjoner blir svekket av denne grunn.

Leddets $D_{II/I}$ skaper derimot en viss usikkerhet. Det er to grunner til dette. For det første er vertikaldiffusjonstallet for 20 meter-flaten mindre pålitelig enn de tilsvarende for de dypere skilleflater. For det andre er flere av de betraktninger som er gjort i dette kapitel mer følsomme for endringer i $D_{II/I}$ leddet enn i totalbalansens andre ledd. Disse forhold skal her belyses nærmere, og det er i den forbindelse praktisk å ta utgangspunkt i figur 13 - flytediagram for ortofosfat:

Det ortofosfat som frigjøres i dypet når tilført og marint produsert organisk materiale dekomponeres, fordeler seg i de respektive seksjoner. En del av det akkumuleres i seksjonen, mens en del blir transportert oppover ved vertikaldiffusjon etterhvert. Drivkraft for diffusjonen er konsentrasjonsforskjellene mellom de forskjellige dyp (tallmessig uttrykt ved den vertikale konsentrasjonsgradient $\frac{\partial c}{\partial z}$).

Hvis vannmassenes spesifikke vekt hadde vært noenlunde jevnt fallende fra bunnen og helt opp til overflaten (men med samme totalforskjell som nu), slik at diffusjonskoeffisienten hadde vært den samme i alle dyp, ville diffusjonen gjennom 20 m-flaten ha vært meget større enn de viste 3,8% - fordi konsentrasjonsgradienten (drivkraften) er meget større her enn i de dypere liggende skilleflater. Når diffusjonen likevel er så liten gjennom 20 m-flaten, skyldes det at diffusjonskoeffisienten her er meget mindre enn dypere ned (kfr. fig. 7a og b). D.v.s. at vi her har et slags sperreskikt mot vertikaldiffusjonen. Dette sperreskikt, som vanligvis har en tykkelse av mange meter, er egentlig en blandingszone mellom saltvannet fra dypet og brakkvannet ovenfra og kalles gjerne for sprangskiktet¹⁾.

1) Sprangskiktet eksisterer bare i sommerhalvåret. Dets tetthetsgradient (og dermed sperreevne) er størst i Bunnefjorden og avtagende utover fjorden. Dets tykkelse og plassering i dypet kan variere noe, men det antas at nivået for "sperre-evne-maksimum" innen sprangskiktet så og si aldri ligger så dypt som i 20 m. En betydelig sperre-evne finnes imidlertid også i 20-m-nivået. En ekstra seksjons-skilleflate plassert i middelnivået for sperreevne-maksimum ville ha vært nyttig, men måtte sløyfes fordi vertikaldiffusjonskoeffisienten ikke var kjent for dybdeområdet 0 - 20 m.

Den for beregningene primære konsekvens av sprangskiktets opptreden var, slik som den interne ligning var formulert (bl.a. uten utvekslingsleddet U_{II}), at frigjøringsleddet F_{II} ble meget lite ($=0,3\%$). Denne konsekvens var imidlertid urimelig, idet frigjøringen i seksjon II rimeligvis måtte antas å være meget stor. Den mest nærliggende forklaring på uoverensstemmelsen var at det måtte finne sted en transport av ukjent mengde ortofosfat ut gjennom Drøbaksundet under sperreskiktet. Denne ukjente mengde ble gitt betegnelsen U_{II} . Et grovt anslag av leddet U_{II} som ble gjort (i avsnitt 6.4) tydet på at det hadde en betydelig størrelse. (U_{III} -leddet i flytediagrammet er tatt med for å symbolisere at tilsvarende transporter kanskje også finner sted fra seksjon III og dypere seksjoner. Vi regner dog med at transportene herfra er meget små). Transportleddet U_{II} representerer en meget betydningsfull mekanisme, idet det er dette som gir grunnlaget for den billigste alternative metode for reduksjon av overflate-lagets næringsstoffnivå.

Betydningen av leddet $D_{II/I}$'s usikkerhet for de betraktninger som er gjort i nærværende kapittel, kan demonstreres på følgende måte:

Hvis det skulle vise seg at sperreskiktet i 20 m-flaten likevel ikke var så tett som fig. 7a og b viser, men som eksempel 3 eller 5 ganger så "åpent", ville vi tilnærmet få følgende endringer i resultatene:

1)

(Hører til side 88).

Den forenkling som er nevnt i fotnote 2 side 78 - at skilleflaten mellom overflatelaget og det nye mellomlag som dannes når kloakkvannet ledes ut i dypet ligger i 20-m dyp og ikke høyere - kan være farlig. Hvis denne skilleflate i praksis ligger meget høyere, kan det nemlig være mulig at slike planktonarter som kan foreta døgnvandring, greier å nå ned i kloakkvannsskiktet og utnytte næringsstoffene der. (Kfr. Delrapport 4 s. 166 - 167).

Avsnitt i kapittel 6	Parameter	Våre verdier	Verdier hvis leddet $D_{I/II}$ ble		
			3-doblet	5-doblet	
6.1 (pkt.1a)	"Gjenfinnes"	ca. 1/4	ca. 1/3	ca. 2/5	
6.2	"Recyklisering fra dypere seksjoner"	ca. 2,7%	ca. 8,1%	ca. 13,5%	
6.3	V_I (fjordens organiske produksjon)	$85^{+20\%}$	$93^{+20\%}$	$100^{+20\%}$	
	"Sjøprodusert" "Tilført"	$2,9^{+0,7}$ ganger	$3,2^{+0,7}$ ganger	$3,4^{+0,7}$ ganger	
6.4	$U_{II} + U_{III}$ (massivutskiftning i sommerhalvåret)	$17\%(-?)$	$11\%(-?)$	$2\%(-?)$	
6.5	Ortofosfatforsyning i seksjon I ved sanerende metode	1	$17+10=27\%$	$17+30=47\%$	$17+50=67\%$
		2	$17+ 2=19\%$	$17+ 6=23\%$	$17+10=27\%$
		3	$19 - 27\%$	$23 - 47\%$	$27 - 67\%$
		4	$19 - 85^{+20\%}$	$23 - 93^{+20\%}$	$27 - 101^{+20\%}$
	"Dagens situasjon"	$85^{+20\%}$	$93^{+20\%}$	$101^{+20\%}$	

Som for oppstillingen på s.82 må det presiseres at også disse resultater er omtrentlige, og at de oppførte verdier bare kan indikere en sannsynlig størrelsesorden. De er presentert kun for å antyde hva usikkerheten i leddet $D_{II/I}$ kan innebære. Av oppstillingen ser man bl.a. at usikkerheten er spesielt betydningsfull for vårt anslag av leddet $U_{II} + U_{III}$ og for vår vurdering av de alternative sanerende metoder.¹⁾

Hvor usikkert $D_{II/I}$ -leddet er, vet vi foreløpig lite om.

1) Fotnoten står på side 87.

For D_{ϕ} og D_n -leddene generelt er feilkildene vurdert tidligere (avsnitt 3.52), men for leddet $D_{II/I}$ kommer det et par viktige usikkerhetsmomenter til. For det første er K-verdiene (fig. 7a og b) spesielt usikre for 20 m-flatene. (Formelen var $D = r \cdot K \cdot A \cdot \frac{\partial c}{\partial z}$). For det andre var vår innføring av reduksjonsfaktoren $r = 0,5$ som ble brukt for alle skilleflater, basert på forholdene i de dypere vannlag og ikke underbygget for 20-meter-flaten.

At det om sommeren finnes et sperreskikt mellom 20 m-flaten og overflaten, er det imidlertid ikke tvil om. At sperreskiktet har en betydelig reduserende virkning på vertikaldiffusjonen, er det heller ikke tvil om. De kvalitative bilder som flytediagrammene gir må derfor på tross av $D_{II/I}$ -leddets usikkerhet, antas å være riktig.

6.62 Vertikaldiffusjonen gjennom 20-meterflaten i ytre fjord

I den materialbalanse-ligning som forsøksvis ble satt opp for komponenten ortofosfat i seksjon I (avsnitt 6.3) ble leddet "Transport av ortofosfat gjennom Drøbaksundet" skjønsmessig satt til 1% av tilført total-P med retning utover. Vårt skjønn var basert på det forhold at ortofosfatkonsentrasjonen i seksjon I var meget lav gjennom de fire sommerhalvår og at gradienten som middel stort sett hadde fallende tendens utover i alle seksjonens 5 måledyp (1, 4, 8, 12 og 20 meter).

Som nevnt i samme avsnitt består seksjon I ikke av én homogen vannmasse, men av to eller flere horisontale lag av forskjellige vannmasser. Vi vet foreløpig ikke særlig meget om denne lagdeling og om de enkelte lags utskiftningsforhold. Blant de mekanismer som vi kjenner til her, er den estuarine utskiftning. I grove trekk består den i at det ferskvann som tilføres indre fjord fra landsiden, forlater den tilblandet sjøvann (i mengde 3 - 4 ganger sitt volum) som en midlere utadrettet overflatestrøm. Det tilblandede sjøvann er tilført fra dypere lag i seksjon I. Som erstatning for det slik fjernede sjøvann fra dypere lag opptrer det en innadrettet kompensasjonsstrøm av sjøvann utenfra i det angjeldende dyp. Denne mekanisme pågår stort sett bestandig, bortsett fra i kortere sommerperioder når indre fjords vannfordampning oppveier eller overveier ferskvannstilførselen.¹⁾

1) Den estuarine utskiftningsmekanisme og også andre hydrografiske prosesser i overflatelaget, er nærmere omtalt i Delrapport 2.

Det er kjent (kfr. Delrapport 2) at den vertikale diffusjonskoeffisient - bl.a. i 20 meter-nivået - øker betydelig i verdi utover fjorden.

På basis av det som her er nevnt, kan man tenke seg muligheten av at en viss del av den ortofosfatmengde som forlater indre fjord ved prosess U_{II} (kfr. fig. 13) på grunn av den økende diffusjonskoeffisient utover i fjorden etter hvert diffunderer opp i seksjon I, og at den der fanges opp av den estuarine kompensasjonsstrøm og dermed bringes tilbake til indre fjord.

Hvorvidt en slik mekanisme eksisterer, og om den eventuelt i dagens situasjon har et omfang som betyr noe for ortofosfatforsyningen i indre fjords overflatelag, kan ikke avgjøres med sikkerhet ut fra de foreliggende informasjoner. Våre analyser av ortofosfatkonsentrasjonsfordelingen langs fjordens lengdeakse gjenspeiler riktignok ikke noen slik tendens, men materialet er ikke fyldig nok til å være egentlig konklusivt i denne sammenheng.

Hvis denne mekanisme i dagens situasjon har et målbart omfang, må man regne med at den kan bli en faktor av betydning om den sanerende metode "dypvannsutslipp av mekanisk rensset kloakkvann i indre fjord" blir valgt (fordi transportleddet U_{II} ved denne metode blir sterkt øket). Dog er det lite sannsynlig at mekanismen skulle få noen egentlig stor betydning, i det selv vannmassene i Drøbaksundet (som er det første område på vei ut mot havet) må antas både å bli blandet internt og utbyttet med havvann i betydelig grad.

6.63 Omregningen "Bunnefjorden + S/m Vestfjorden/indre fjord" for den interne ligning

Et betydelig usikkerhetsmoment er omregningen av den interne lignings resultater fra å gjelde de to "kjente" bassenger til hele indre fjord (avsnitt 4.2). Vi vet foreløpig ikke hvor store utslag dette har gitt, men utvilsomt kan de ha hatt betydelig effekt på de tallbilder som flytediagrammene i fig. 13, 14 og 15 gir. At utslagene har vært store nok til å bety noe for rapportens hovedkonklusjoner, er derimot lite sannsynlig, men i og for seg ikke helt umulig.

Dette usikkerhetsmoment kan, i motsetning til de to foregående oppklares på basis av det foreliggende datamateriale. På grunn av beregningsarbeidets omfang, kunne dette dog ikke skje innenfor rammen av nærværende rapport. (Kfr. avsnitt 2.2).

6.7 Nødvendige fortsatte undersøkelser

Ut fra det som er kommet frem i nærværende kapitel, synes det som om en av de viktigste oppgaver i de fortsatte prosjektundersøkelser må være å studere de hydrodynamiske forhold i sprangsjiktet og overflatelaget nærmere.

Dessuten vil det være viktig å søke resultatene av nærværende rapport verifisert og utvidet ved fortsatte undersøkelser. Dette kan gjøres ad flere veier:

1. Ved kontrollberegninger med forbedrede matematiske metoder burde man kunne stramme noe inn på usikkerhetsintervallene i de foreliggende resultater.
2. Ved å beregne den interne ligning for de tre hittil ikke-beregnete bassenger (Bekkelagsbassenget, Bårumsbassenget og Nordre Vestfjorden), og å korrigere totalbalansen med disse nye informasjonen, vil sluttresultatene pålitelighet kunne økes betraktelig.
3. Ved å studere fjordens utvikling i detalj gjennom de fire år - f.eks. ved hjelp av de diagrammer som finnes i fig. 7 og i bilag 1 - vil det antagelig la seg gjøre å plukke ut og korrigere ligningene for noen av de lokale og kortvarige ikke-registrerte begivenheter av hydrografisk, kjemisk og biologisk natur som vi antar fant sted. Samtidig vil muligheten være tilstede for å finne nye lovmessigheter av interesse i fjordens dynamiske system av begivenheter.
4. Ved å trekke inn de hittil uutnyttede parametre i datamaterialet, ville man muligens kunne få ytterligere grunnlag for å påvise nye tilfeldige og lovmessige begivenheter. (Kap. 5 gir en indikasjon på denne mulighet).
5. Ved systematisk utnyttelse av andre eksisterende datasett og opplysninger (f.eks. fra prosjektets andre delundersøkelser og fra universitetets mangeårige undersøkelser) vil det sannsynligvis kunne tilføres materialbalansen en del verdifulle informasjonen.

Endelig må innsamling og bearbeidelse av nye data og informasjoner gjennom flere år ansees som nødvendig - både for å verifisere beregningenes generelle gyldighet og for å skaffe et bedre overblikk over variasjonsbredden i fjordens forskjellige tilbakevendende begivenheter. Standard-opplegg med samme grunnstruktur som det hydrografiske basisprogram (kfr. Delrapport 16) og tilførselsmålingene (Delrapport 11) bør fortsatt være sentrale elementer i et fremtidig program. I tillegg vil flere spesialundersøkelser være nødvendige og/eller ønskelige - som f.eks. studier av sedimenteringshastighet og av sedimentenes komponentinnhold, kartlegging av raske tilstandsendringer i fjorden (bl.a. de raske vekslinger i turbiditet og filtratfarge) og direkte målinger av fjordens organiske produksjon.

Hvor omfattende den skisserte fortsettelse av materialbalansestudiene bør være, er det vanskelig å si. Ut fra prosjekthensyn vil kravene til nøyaktighet i resultatene i og for seg ikke være særlig store, men det vil være påkrevet at de er riktige i grove trekk, og videre at de er representative for fjorden under alle sannsynlige meteorologiske, hydrologiske og oseanografiske forhold. Det er rimelig å tro at et løpende måleprogram gjennom endel år samt en viss innsats på bearbeidelses-siden vil være nødvendig for dette formål.

7 SAMMENFATNING OG KONKLUSJONER

Bakgrunn og formål. Med "materialbalanse" menes i nærværende rapport et "lagerregnskap" for fjorden og for deler av denne. Regnskapsobjekter kan være kjemiske elementer og materialkomponenter i vannet. En undersøkelse av denne art var ikke med blant prosjektets originale arbeidstema, men kom frem som en aktuell mulighet mot slutten av prosjektperioden. Etter en forundersøkelse for å bringe på det rene om nye informasjonen kunne trekkes ut av dataene på denne måte, ble arbeidet konsentrert om stoffene fosfor, nitrogen og oksygen og om området indre Oslofjord. Noe senere ble det så tatt sikte på, på basis av de nevnte parametre, å belyse tre viktige problemstillinger i prosjekt-sammenhengen - nemlig spørsmålene om forurensningsmaterialenes skjebne i fjorden, om eutrofieringsgraden i fjorden og om mulighetene for å redusere eutrofieringen ved sanerende tiltak.

Gjennomføring. Beregningene ble utført våren 1967. På grunn av det tidspress som da rådet var det ikke mulig å gjennomføre og raffinere metodikken særlig grundig på forhånd, og det anvendte beregningsopplegg vil derfor synes tungvint og mindre konsist enn nødvendig. Ved en senere bearbeidelse av materialet for nærværende rapport er beregninger og resultater kontrollert i hovedtrekkene med bibehold av det originale opplegg.

Utnyttelsen av observasjonsmaterialet. Det foreliggende datagrunnlag er vitenskapelig sett ikke fullt utnyttet i nærværende rapport. Det var to grunner til dette: For det første skulle arbeidet generelt ikke føres lenger enn prosjektets nære formål krevet, og for det annet satte prosjektets økonomi og tidsfrister visse begrensninger. Beregningene er primært utført bare for to av fjordens fem bassenger, Bunnefjorden og S/m Vestfjorden, men en omregning av resultatene til å gjelde for hele indre fjord er foretatt (fig. 2b).

Det generelle materialbalanseopplegg. Ved materialbalanseberegningene ble hvert basseng delt opp i horisontale seksjoner (skiver) (fig. 3). For hver slik seksjon inneholdt den komplette materialbalanseligning 6 - 14 variable, avhengig av deres beliggenhet. Anvendt for hele indre fjord som en enhet ble ligningen redusert til å omfatte bare 8 av de 14 parametre.

Det forenklete materialbalanseopplegg. Da bare 4 av de 14 variable var kjente (d.v.s. at de hadde datadekning) var materialbalanseligningen ikke løsbart hverken for de enkelte seksjoner eller for indre fjord som helhet. Ved å innføre visse restriksjoner og forenklinger ble det imidlertid mulig å gi seksjonsligningen (den "interne ligning") en løsbart form med tre kjente og én ukjent variabel og ligningen for hele fjorden (den "totale balanse") en form som, om enn den ikke var fullt ut løsbart, likevel ga nyttige informasjoner (avsnitt 2.4).

De nevnte restriksjoner for den interne ligning innebar at denne hadde gyldighet bare for dyp under 50 m, bare for oppløste komponenter og bare for tidsperioder med stagnerende bunnvann. (Den siste restriksjon betyr i praksis at ligningen bare var gyldig for sommerhalvårene).

Parametre. Beregning av den interne ligning ble utført for de tre parametre P (fosfor), N (nitrogen) og O₂ (oksygen). Dessuten ble den i kontrolløyemed utført for parameteren salt²¹⁾. Også for den totale balanse ble parametrene P og N beregnet. Ligningen for oksygen ble her imidlertid erstattet med den korresponderende ligning for organisk stoff (målt som OF = "oksygenforbruk").

Data. Grunnlag for beregningene var først og fremst det hydrografiske (marine) basisprogram - med stasjonsnett som vist i fig. 2b og prøvedypskala som vist i fig. 3. Dette program omfattet 58 tokt i løpet av 4-års-perioden 1962 - 1965. Tilførselene fra landsiden ble kartlagt gjennom et måleprogram i 1965. To hjelpeparametre ble hentet fra andre delrapporter ("Vertikaldiffusjonskoeffisienten" fra Delrapport 2 og "Fjordens areal og volumforhold" fra Delrapport 15).

1) Saltligningen egnet seg som kontroll-ligning fordi den interne lignings eneste ukjente variable nødvendigvis måtte være lik 0 for denne parameter.

Beregning av den interne ligning. Slik beregning ble gjennomført to ganger. Ved første gangs beregning (avsnitt 3.1) viste kontroll-ligningen at resultatene var ulogiske. Forsøk ble derfor gjort med korreksjoner av to av de hjelpevariable (avsnittene 3.2 og 3.3), hvorav den ene ga tilfredsstillende justering av resultatene. Den endelige beregning av den interne ligning ble så gjennomført (avsnitt 3.4) og også en kritisk vurdering av dens resultater (avsnitt 3.5).

Beregning av den totale balanse. Denne beregning, som bl.a. er bygget på resultatene fra den interne ligning, er beskrevet i kapitel 4, og de samlede resultater er presentert i form av flytediagrammer i fig. 13, 14 og 15.

Diskusjon om resultatene. I kapitel 6 diskuteres hvilke konklusjoner beregningsresultatene kan føre til. De viste konklusjoner representerer, så langt de er gyldige, betydningsfulle informasjonen om stoffhusholdningen i indre Oslofjord, og de gir grunnlag for mange betraktninger. Tilsvarende tall foreligger ikke fra før, og man har hittil hatt bare vage begrep om deres størrelsesorden, selv om det kvalitative mønster til dels var kjent. Tilsvarende informasjonen fra andre sjø- eller ferskvannsbassenger er ikke funnet i litteraturen. Resultatene presisjonsnivå er lavt, men antas med visse reservasjoner dog å være pålitelig i grove trekk.

Konklusjoner. De viktigste konklusjoner som materialbalanseberegningene har ført til, er resymert i 6 punkter nedenfor. Basis for konklusjonene har i første rekke vært flytediagrammet for parameteren P (fig. 13). De to andre parametre, N og OF, støtter opp om konklusjonene, men gir mindre konsise informasjonen fordi de også er impliserte i ikke-kartlagte omsetningsformer i sjøen. Konklusjonenes pålitelighet er nærmere omtalt i avsnitt 6.6.

Det minnes om at de forurensningsproblemer som nærværende rapport skal belyse, (forsterket organisk vekst i overflatelaget i sommerhalvåret og for lav oksygentilførsel til dyplagene i forhold til den organiske belastning der) begge som sin hovedårsak har en for rikelig forsyning av næringsstoffene P og N til overflatelagets vannmasser. For ordens skyld skal det videre nevnes at de tre første av punktene på neste side bare har aktualitet for sommerhalvåret, mens de tre andre har generell gyldighet.

1. Bare ca. 1/4 av de tilførte næringsstoffer (P og N) kan gjenfinnes i oppløst form i vannmassene under 20 m. Resten synes å forsvinne ved permanent sedimentasjon (B), ved vannmasseutskiftninger (U_{II} og U_{III}) eller direkte ut i havet i mengden H_I . (For næringsstoffet N kan noe også forsvinne i gassform til atmosfæren i mengden A). Av denne "1/4" akkumuleres ca. 7/8 i de forskjellige seksjoner under 20 m (og forsvinner før eller siden ved dypvannsutskiftninger i vinterhalvåret. Bare den resterende 1/8 (= 1/32 av tilført P og N) ser ut til å nå tilbake til overflatelaget i indre fjord (prosess D gjennom 20 m-flaten). Disse resultater er nærmere omtalt i avsnitt 6.1.
2. Ved den marine plantevekst i overflatelaget ser det ut til å bli produsert organisk stoff i en mengde som er 2,5 - 3,5 ganger større enn det samlede bidrag fra landsiden. (Hvis man for landsidens bidrag bare regner med kloakkandelen og ikke naturandelen, blir forholdstallet istedet 9 - 12) (avsnitt 6.3). Hvis dette er riktig, er næringsstoffforsyningen i overflatelaget en vesentlig årsak til fjordens forureningspreg.
3. Summen av transportleddene B, U_{II-III} og H_I ut av indre fjord synes som nevnt under punkt 1 for parameteren P å være ca. 3/4 av tilført materiale. Et forsøk på å anslå størrelsene av de enkelte ledd i denne sum er på spinkelt grunnlag utført i avsnitt 6.4. Resultatene her tydet på at alle de tre ledd er betydelige i den totale balanse.
4. De foreliggende beregningsresultater er forsøkt utnyttet til å anslå effektene av alternative sanerende tiltak på P-forsyningen i seksjon I. (avsnitt 6.5). Anslagene viser som ventet at tiltak som "avskjærende kloakkledninger med utslipp i ytre fjord" og "effektiv næringsstoffjerning i kloakkvannet med utslipp i indre fjord" vil gi betydelige virkninger, men de viser også at det langt enklere tiltak "dypvannsutslipp i indre fjord av mekanisk rensset kloakkvann" vil gi meget god virkning. Dette siste resultat er imidlertid i høyere grad enn de to andre følsomt for et foreløpig meget usikkert ledd i totalbalansen — leddet D gjennom 20 m-flaten (avsnitt 6.61).
5. Betydningen av at kloakkutløpene føres bort fra trange bukter og avskjærmede bassenger og ut i åpent vann er påpekt. Et slikt tiltak alene må antas å ville gi betydelig reduksjon av forureningspreget i de områder av fjorden hvor publikums rekreasjonsinteresse først og fremst er konsentrert (avsnitt 6.5).

6. Oksygendefesitten i dypvannet er et problem som i stor grad vil bli borte hvis næringsstoff-forsyningen i overflatelaget reduseres. Hvis virkningen av dette ikke skulle vise seg å bli stor nok, har man nærmere angitte metoder i reserve (avsnitt 6.5).

Videre undersøkelser. Det vil være viktig å søke resultatene av nærværende rapport verifisert og utvidet ved fortsatte undersøkelser. Såvel kontrollberegninger med forbedrede metoder, videreutnyttelse av de foreliggende data samt innsamling og bearbeidelse av nye data vil være aktuelle arbeidsoppgaver i denne forbindelse. På grunn av den spesielle usikkerhet i diffusjonsleddet for 20 m-flaten, som er en nøkkelinformasjon for beregning av de sanerende tiltaks resultater, vil det være spesielt viktig å få de hydrodynamiske forhold i sprangskiktet og overflatelaget nærmere vurdert.

Slutt.

8. LITTERATUR

- Doff, D.H. Personlig meddelelse (1968)
- Jerlow, N.G. "Influence of Suspended and Dissolved Matter on the Transparency of Sea Water. Tellus V, No. 1 page 59 - 65 (1953). (Kfr. rapportens side 62).
- Moum, Johan Undersøkelse av sedimenter fra Oslofjorden. Oppdragsrapport. Norges Geotekniske Institutt, Oslo (1962).
- Richards, Francis A. "Chemical observations in some anoxic, sulfidebearing basins and fjords". Adv. water poll.res.; Proc. 2. symp. IAWPR Tokyo 1964. Vol. III. (Pergamon Press, New York (1965). (Kfr. rapportens side 45).
- Stewart, Kenton H. and Rohlich, Gerard A. "Eutrophication - a review. A report to the State Quality Control Board, California (1967). (Kfr. rapportens side 68).

Dessuten mange av delrapportene i samme serie som nærværende delrapport. (Kfr. 2. omslagsside).

TABELLFORTEGNELSE

Finnes på (p)
eller etter (e)
side:

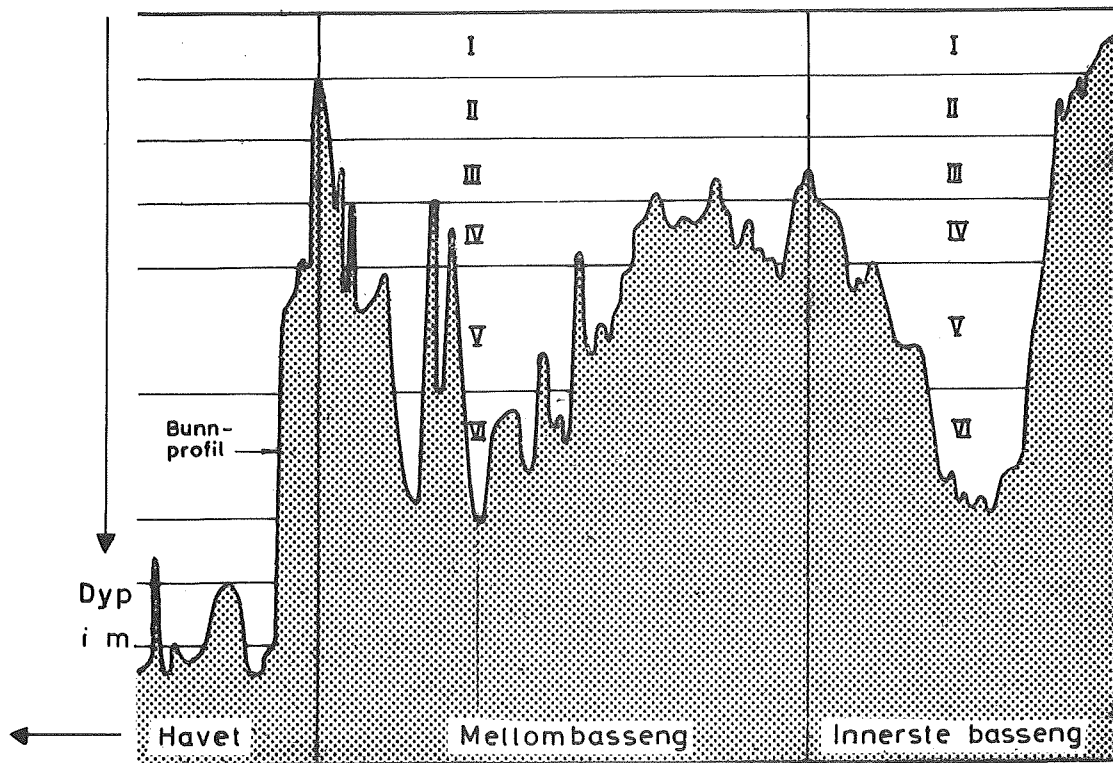
1	Parameterliste for beregning av den hjelpevariable Q	p	33
2	Vannarealer - angitt i millioner kvadratmeter	e	34
3	Stagnasjonsperiodenes varighet og akkumulasjonsverdier ("E"-verdier)	e	35
4	Eksempel på gruppeoppstilling og løsning av den interne ligning	p	37
5	Oversikt over ligningsgrupper ved første gangs beregning	p	38
6	Eksempel på saltligning fra første gangs beregning	p	39
7	Middeltall 1962 - 1965 fra saltligningen. Første gangs beregning	p	40
8	Sammenligning av de tre gradientmetoder a, b og c.	e	41
9	Middeltall 1962 - 1965 fra saltligningen etter innføring av reduksjonsfaktoren r	p	43
10	Sammendrag av beregningsresultatene fra den interne ligning	e	44
11	F-verdier for de enkelte år	e	45
12	Beregning av forholdstallene P : N : O for F-verdiene fra den interne ligning	e	46
13	Vektforholdet P : N : O på basis av data fra litteraturen og resultatene fra den interne ligning	e	46
14	Justering av P : N : O - Relasjonens O-tall ved tillegg av oksygen fra antatt forsvunnet nitrat	e	48
15	Resultatene fra den interne ligning - beregnet for hele indre fjord	e	55
16	Beregning av leddene "E", " $(D_n - D_\emptyset)$ " og "F" i % av tilførsel "T" for hele indre fjord	e	60
17	P, N og OF i tilførselene til indre fjord	e	67

FIGURFORTEGNELSE

Tallene til høyre angir på hvilke sider de respektive figurer er presentert.

1	Materialbalansen for en fjord av Oslofjord-type	7 - 8
2a	Oslofjorden	15
2b	Bassenginndeling og stasjoner i indre fjord	15
3	Materialbalansen for indre Oslofjord	16
4	Eksempelside fra EDB-tabellen "Q = fjordens komponentinnhold"	20
5	Dypvannets utskiftningsprosesser - belyst ved salt-konsentrasjonskurver	20 - 21
6a	Vertikaldiffusjonskoeffisientene beregnet for de enkelte tokt	22
6b	De midlere diffusjonskoeffisienter	22
7a	Akkumulerte komponenter som funksjon av tiden i Bunnefjorden	33 og 35
7b	Akkumulerte komponenter som funksjon av tiden i S/m Vestfjorden	33 og 35
8	Eksempelside fra EDB-tabellen "D = materialtransport ved vertikaldiffusjon"	35
9	Den sonevise belastningsfordeling i indre Oslofjord	54
10	Belastningsfordeling fra organisk vekst i overflatelaget - belyst ved turbiditetsverdier	54
11		55
12	Det generelle flytediagram for sommerhalvåret	65 - 66
13	Flytediagram for fosfor i sommerhalvåret	60
14	Flytediagram for nitrogen i sommerhalvåret	60
15	Flytediagram for organisk stoff i sommerhalvåret	60
16	Akkumulerte farvestoff- og partikkelmengder som funksjon av tiden - basert på optiske målemetoder	63

Fig. 1 MATERIALBALANSEN FOR EN FJORD AV OSLOFJORD-TYPE



Basseng	Skive	Ledd i den totale materialbalanseligning													
		E	T	A	B	D_{ϕ}	D_n	D_y	D_i	P_{ϕ}	P_n	P_y	P_i	U	F
Innerste basseng	I	x	x	x	x			x	x			x	x		
	II	x			x	x	x	x		x	x	x		x	x
	III	x			x	x	x	x		x	x	x		x	x
	IV	x			x	x	x			x	x			x	x
	V	x			x	x	x			x	x			x	x
	VI	x			x	x				x				x	x
Mellombasseng	I	x	x	x	x			x	x	x		x	x	x	x
	II	x			x	x	x		x	x		x		x	x
	III	x			x	x	x		x	x		x		x	x
	IV	x			x	x	x			x	x			x	x
	V	x			x	x	x			x	x			x	x
	VI	x			x	x				x				x	x

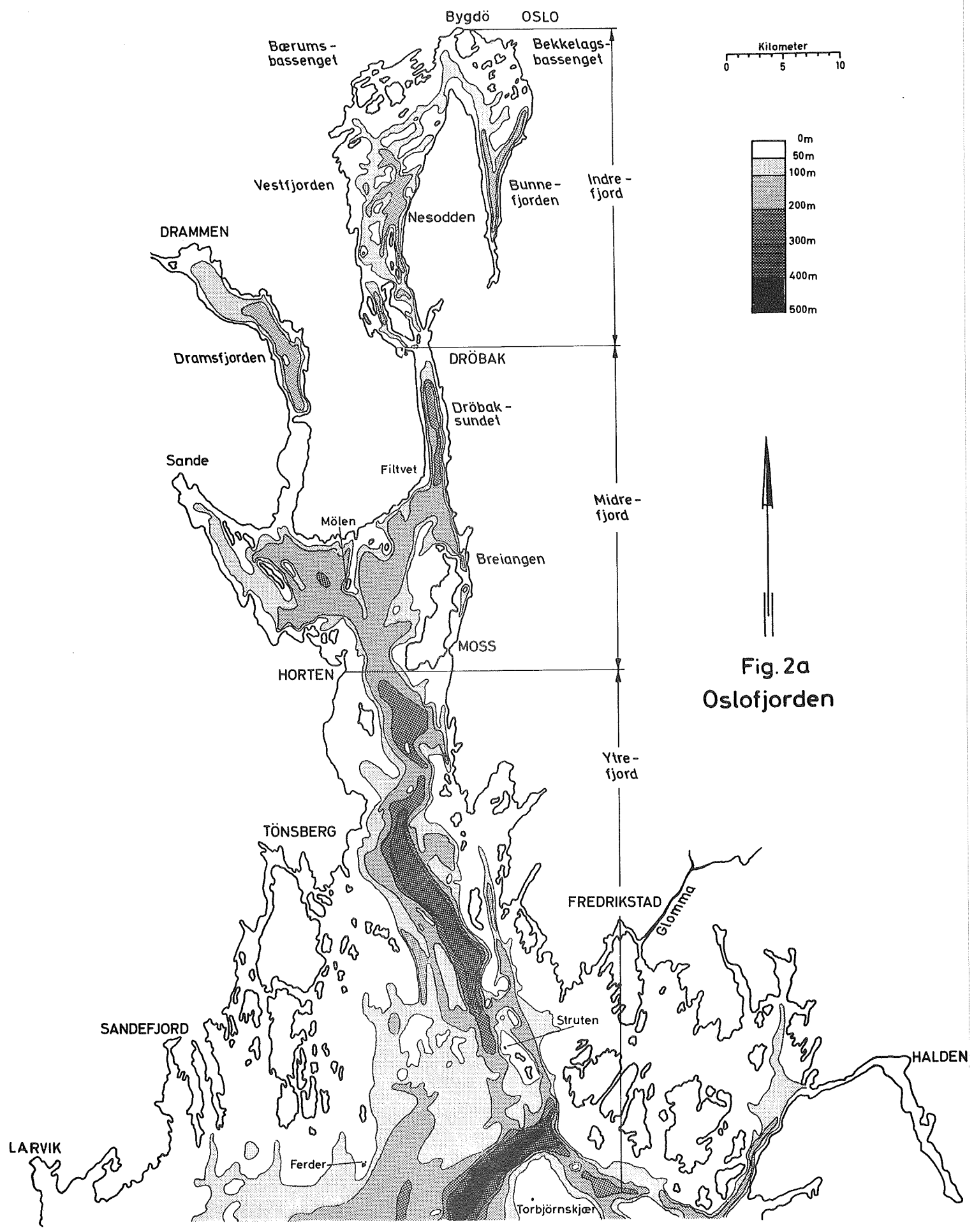
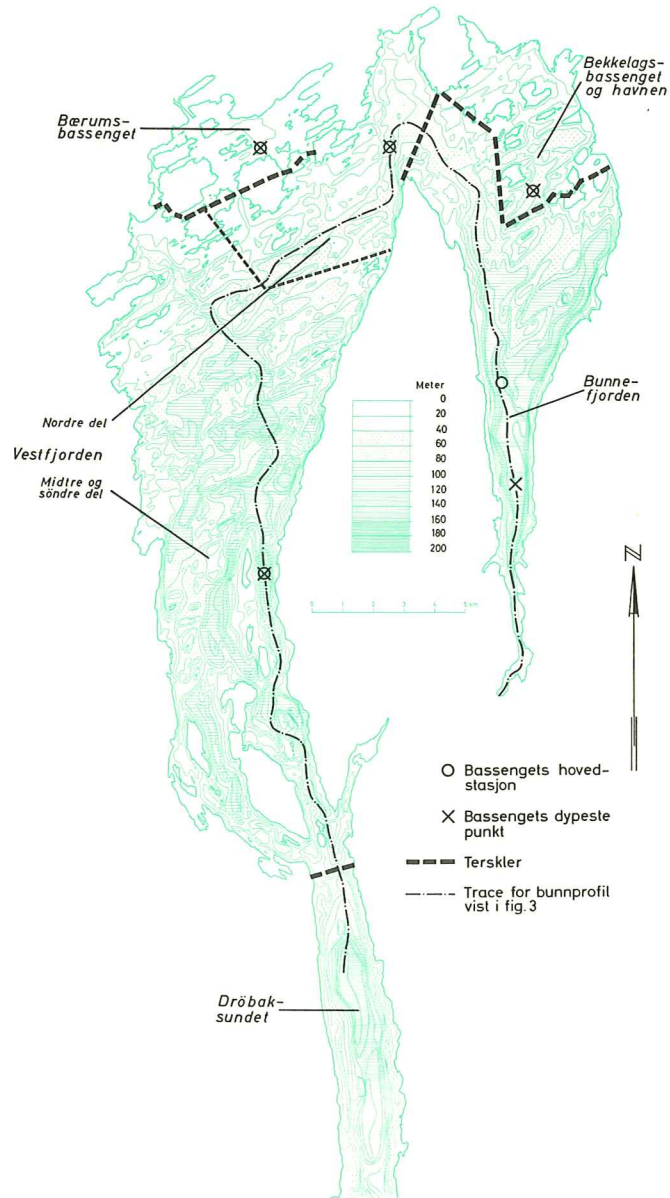


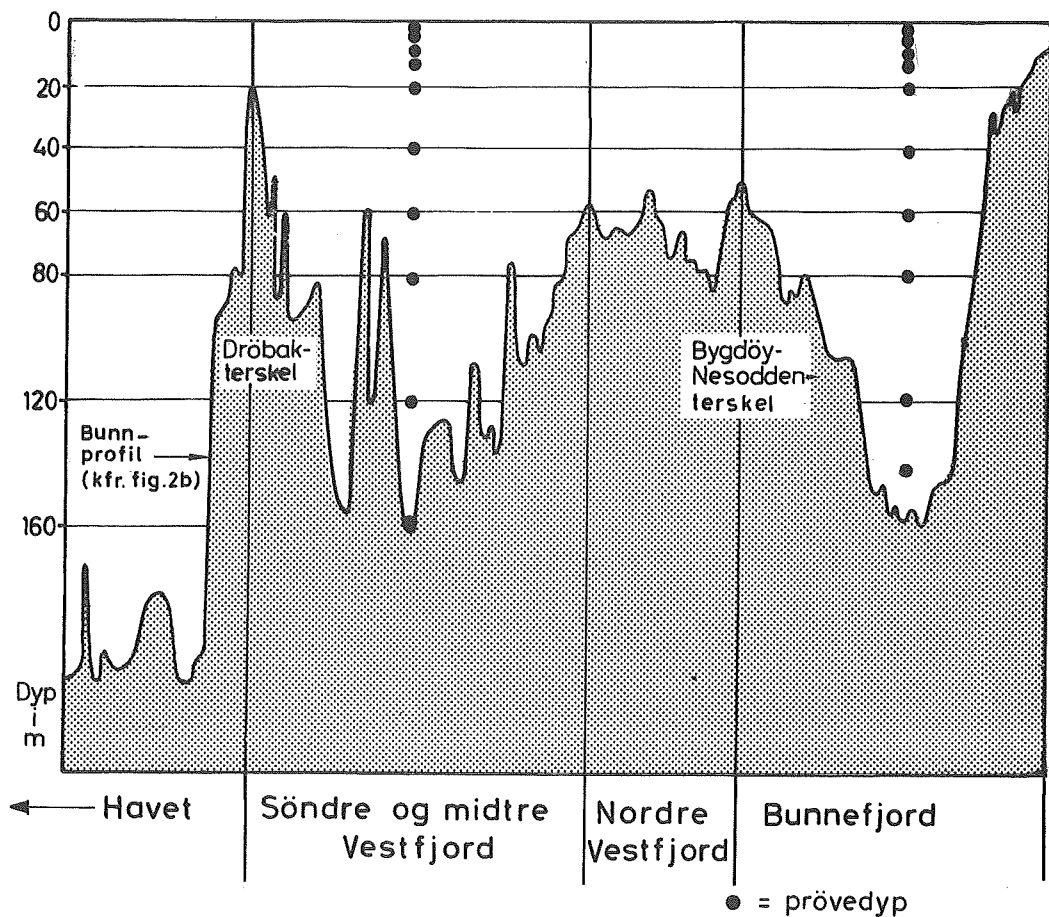
Fig. 2a
Oslofjorden

Fig. 2b BASSENGINDELING OG STASJONER I INDRE FJORD



Basseng	Største bassengdyp	Bassengets hydrografiske hovedstasjon		Vannets største gjennomløps dyp over terskel mot utenforliggende basseng
		navn	dyp i m	
Bunnfjorden	160	Dp 98	150	ca. 54
Bekkelagsbassenget	72	Cq 1	72	ca. 48
Bærumsbassenget	29	B1 1	29	ca. 15
Nordre Vestfjord	85	Bn 1	85	ca. 53
S/m Vestfjord	164	F1 1	164	19,5

Fig. 3 MATERIALBALANSEN FOR INDRE OSLOFJORD



$$E = T + A + B + D_{\emptyset} + D_n + D_y + D_i + P_{\emptyset} + P_n + P_y + P_i + U + F$$

Basseng	Seksjon		Ledd i den totale materialbalanseligning													
	nr.	dyp i m	E	T	A	B	D_{\emptyset}	D_n	D_y	D_i	P_{\emptyset}	P_n	P_y	P_i	U	F
Bunnefjorden	I	0-20	x	x	x	x		x	x			x	x		x	x
	II	20-40	x			x	x	x	x		x	x	x		x	x
	III	40-60	x			x	x	x	x		x	x	x		x	x
	IV	60-80	x			x	x	x			x	x			x	x
	V	80-120	x			x	x	x			x	x			x	x
	VI	120-b	x			x	x				x				x	x
S/M Vestfjorden	I	0-20	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x
	II	20-40	x			x	x	x		x	x	x		x	x	x
	III	40-60	x			x	x	x	x		x	x		x	x	x
	IV	60-80	x			x	x	x			x	x			x	x
	V	80-120	x			x	x	x			x	x			x	x
	VI	120-b	x			x	x				x				x	x

FIG. 4. EKSEMPELSIDE FRA EDB-TABELLEN "Q = FJORDENS KOMPONENTINNHOOLD" 1)

Parameter: Ortofosfat
 Enhhet : Tonn
 Basseng : Bunnefjorden (stasjon Dp 98)

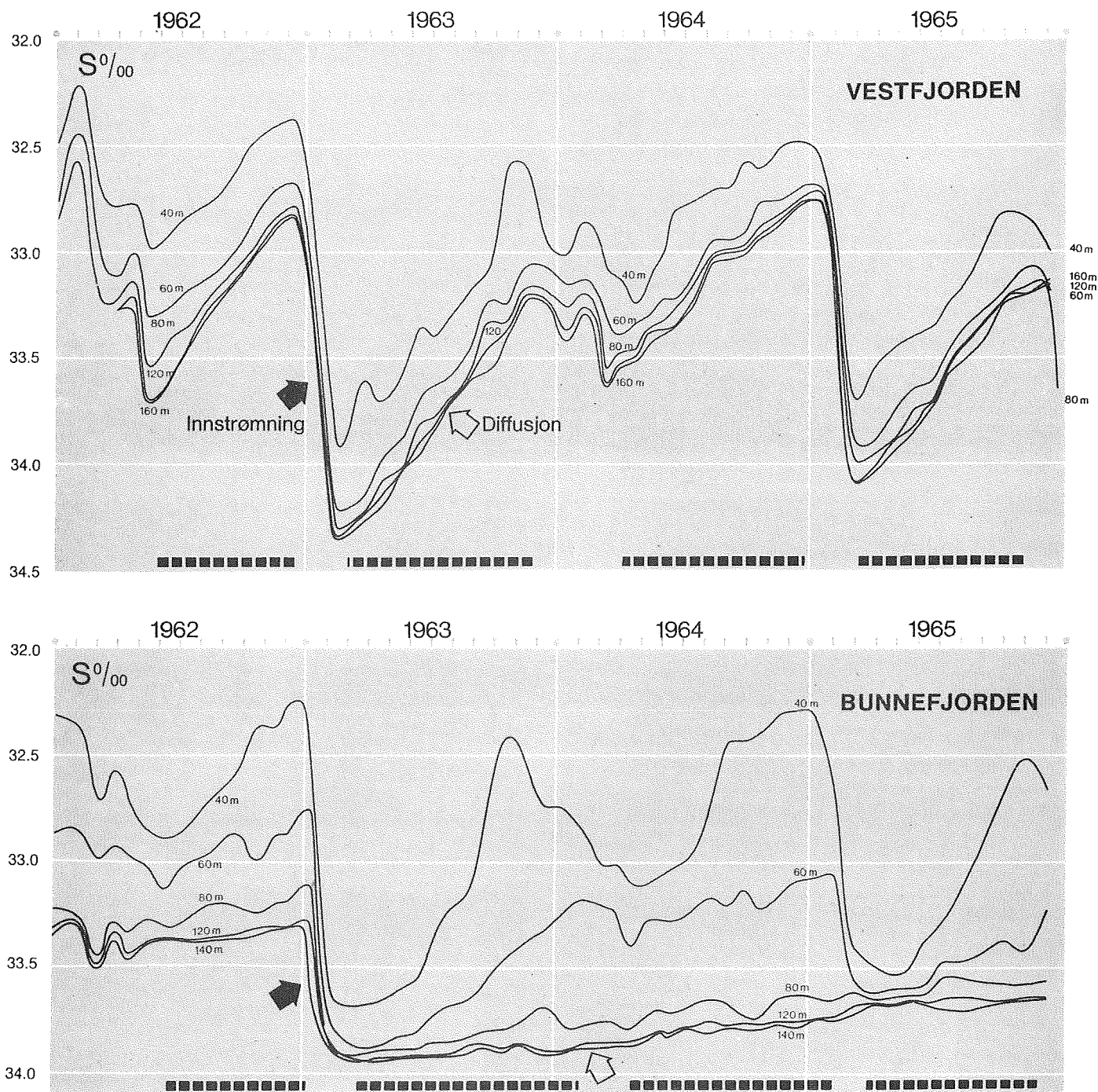
ORTOFOSFAT I TONN P MELLOM DE ANGITTE DYP (FILTRERTE PRØVER)

Dp 98

DATO	* 0 - 8	8 - 20 *	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 120 *	120 - B	80 - B	60 - B	40 - B	20 - B *	0 - B *
620111	* 1.069+01	2.194+01*	3.263+01	4.063+01	3.384+01	3.236+01	2.978+01*	5.033+00	3.481+01	6.717+01	1.010+02	1.416+02*	1.743+02*
620318	* 3.277+00	1.813+01*	2.140+01	3.950+01	3.290+01	3.376+01	4.391+01*	1.200+01	5.591+01	8.967+01	1.226+02	1.621+02*	1.835+02*
620405	* 3.499+00	9.308+00*	1.281+01	2.397+01	2.123+01	3.039+01	3.918+01*	1.063+01	4.981+01	8.020+01	1.014+02	1.254+02*	1.382+02*
620425	* 4.354+00	1.669+01*	2.154+01	3.847+01	3.881+01	4.328+01	5.595+01*	1.710+01	7.305+01	1.163+02	1.551+02	1.936+02*	2.152+02*
620521	* 3.681+00	1.610+01*	1.978+01	2.932+01	2.695+01	3.056+01	4.796+01*	1.549+01	6.345+01	9.401+01	1.210+02	1.503+02*	1.700+02*
620622	* 1.599+00	1.002+01*	1.162+01	3.467+01	3.662+01	3.969+01	5.252+01*	1.685+01	6.936+01	1.091+02	1.457+02	1.803+02*	1.920+02*
620717	* 2.549+00	1.222+01*	1.487+01	2.212+01	3.470+01	3.556+01	5.201+01*	1.018+01	6.219+01	9.775+01	1.324+02	1.546+02*	1.694+02*
620817	* 4.909+00	7.029+00*	1.194+01	3.148+01	4.183+01	4.146+01	5.516+01*	1.822+01	7.339+01	1.148+02	1.567+02	1.882+02*	2.001+02*
620923	* 1.332+00	1.076+01*	1.209+01	3.230+01	4.320+01	4.441+01	5.939+01*	1.948+01	7.886+01	1.233+02	1.665+02	1.988+02*	2.109+02*
621025	* 6.567+00	1.642+01*	1.699+01	2.613+01	2.828+01	2.174+01	3.434+01*	1.418+01	4.852+01	7.026+01	9.854+01	1.247+02*	1.417+02*
621123	* 8.297+00	1.759+01*	2.588+01	3.981+01	3.486+01	3.606+01	6.310+01*	2.118+01	8.428+01	1.203+02	1.552+02	1.950+02*	2.209+02*
621213	* 1.161+01	1.636+01*	2.797+01	3.868+01	3.854+01	3.753+01	5.573+01*	1.619+01	7.192+01	1.094+02	1.460+02	1.867+02*	2.146+02*
630114	* 1.552+01	2.110+01*	3.661+01	4.104+01	3.791+01	3.241+01	4.925+01*	9.537+00	5.879+01	9.120+01	1.291+02	1.702+02*	2.068+02*
630222	* 1.114+01	3.531+01*	4.645+01	4.608+01	2.178+01	1.382+01	1.373+01*	3.580+00	1.732+01	3.113+01	5.291+01	9.899+01*	1.454+02*
630418	* 1.617+00	3.379+00*	4.997+00	1.985+01	1.864+01	1.152+01	1.131+01*	3.739+00	1.505+01	2.657+01	4.521+01	6.506+01*	7.006+01*
630522	* 8.008-01	1.932+00*	2.739+00	2.263+01	2.663+01	1.517+01	1.576+01*	4.822+00	2.058+01	3.575+01	6.238+01	8.501+01*	8.775+01*
630615	* 2.800+00	1.102+01*	1.382+01	3.497+01	2.663+01	1.657+01	1.689+01*	5.069+00	2.196+01	3.853+01	6.516+01	1.001+02*	1.140+02*
630703	* 7.474-01	5.986+00*	6.733+00	3.364+01	3.031+01	1.826+01	1.801+01*	5.550+00	2.356+01	4.182+01	7.213+01	1.058+02*	1.125+02*
630731	* 1.604+00	5.724+00*	7.328+00	3.220+01	3.345+01	1.932+01	1.846+01*	4.739+00	2.320+01	4.253+01	7.597+01	1.082+02*	1.155+02*
630826	* 1.298+00	6.152+00*	7.450+00	2.747+01	2.381+01	1.337+01	1.419+01*	4.239+00	1.842+01	3.179+01	5.561+01	8.307+01*	9.052+01*
630917	* 2.471+00	1.152+01*	1.399+01	3.024+01	2.945+01	1.809+01	1.655+01*	6.594+00	2.314+01	4.123+01	7.068+01	1.009+02*	1.149+02*
631024	* 2.744+00	1.161+01*	1.435+01	2.860+01	2.867+01	1.871+01	1.672+01*	4.584+00	2.130+01	4.001+01	6.868+01	9.727+01*	1.116+02*
631113	* 9.103+00	1.700+01*	2.611+01	3.261+01	3.251+01	2.225+01	2.004+01*	5.463+00	2.550+01	4.775+01	8.025+01	1.129+02*	1.390+02*
631210	* 1.295+01	1.746+01*	3.041+01	2.457+01	2.507+01	1.970+01	1.905+01*	6.136+00	2.519+01	4.489+01	6.996+01	9.453+01*	1.249+02*
640211	* 1.578+01	2.143+01*	3.720+01	3.150+01	2.951+01	2.271+01	2.189+01*	6.294+00	2.819+01	5.090+01	8.041+01	1.119+02*	1.491+02*
640313	* 1.106+00	6.882+00*	7.988+00	2.804+01	2.711+01	2.047+01	2.000+01*	5.951+00	2.595+01	4.642+01	7.353+01	1.016+02*	1.096+02*
640401	* 1.933+00	1.263+01*	1.456+01	3.198+01	2.447+01	1.807+01	1.793+01*	4.947+00	2.288+01	4.094+01	6.541+01	9.739+01*	1.120+02*
640422	* 1.923+00	9.713+00*	1.074+01	3.529+01	2.831+01	2.073+01	2.069+01*	6.615+00	2.730+01	4.803+01	7.634+01	1.116+02*	1.224+02*
640513	* 4.524+00	1.733+01*	2.185+01	3.592+01	3.682+01	2.667+01	2.741+01*	7.820+00	3.523+01	6.190+01	9.872+01	1.346+02*	1.565+02*
640602	* 1.902+00	1.366+01*	1.556+01	3.277+01	3.023+01	2.374+01	2.552+01*	7.133+00	3.265+01	5.639+01	8.662+01	1.194+02*	1.349+02*
640610	* 9.523-01	1.027+01*	1.125+01	3.387+01	2.939+01	2.409+01	2.707+01*	7.804+00	3.487+01	5.896+01	8.835+01	1.222+02*	1.335+02*
640715	* 6.188-01	1.176+01*	1.258+01	4.222+01	3.311+01	2.340+01	2.465+01*	7.251+00	3.190+01	5.530+01	8.841+01	1.306+02*	1.432+02*
640815	* 2.588+00	1.685+01*	1.944+01	3.560+01	3.598+01	2.615+01	2.845+01*	8.461+00	3.691+01	6.306+01	9.904+01	1.346+02*	1.541+02*
640903	* 1.268+00	1.977+01*	2.104+01	3.403+01	3.095+01	2.443+01	2.724+01*	8.040+00	3.528+01	5.971+01	9.066+01	1.247+02*	1.457+02*
640936	* 7.773-01	2.641+01*	2.119+01	3.418+01	2.987+01	2.176+01	2.620+01*	7.383+00	3.359+01	5.535+01	8.522+01	1.194+02*	1.406+02*
641022	* 7.932+00	1.697+01*	2.490+01	3.434+01	2.903+01	2.357+01	2.784+01*	8.275+00	3.612+01	5.969+01	8.872+01	1.231+02*	1.480+02*
641118	* 8.135+00	2.363+01*	3.176+01	3.781+01	3.191+01	2.598+01	2.931+01*	9.125+00	3.843+01	6.441+01	9.632+01	1.341+02*	1.659+02*
641215	* 1.227+01	1.933+01*	3.159+01	3.214+01	2.927+01	2.478+01	2.793+01*	9.183+00	3.711+01	6.189+01	9.116+01	1.233+02*	1.549+02*
650113	* 1.194+01	2.104+01*	3.298+01	3.340+01	2.447+01	1.798+01	2.129+01*	6.891+00	2.818+01	4.616+01	7.063+01	1.040+02*	1.370+02*
650209	* 1.457+01	2.855+01*	4.113+01	3.403+01	2.711+01	2.512+01	2.983+01*	8.602+00	3.843+01	6.355+01	9.065+01	1.247+02*	1.658+02*
650309	* 4.449+00	1.018+01*	1.464+01	2.914+01	2.879+01	2.374+01	3.207+01*	1.104+01	4.310+01	6.685+01	9.563+01	1.248+02*	1.394+02*
650406	* 2.637-01	4.477+00*	4.681+00	2.127+01	2.255+01	1.824+01	2.431+01*	8.881+00	3.319+01	5.143+01	7.398+01	9.524+01*	9.992+01*
650504	* 9.810-01	1.172+01*	1.270+01	3.576+01	3.107+01	2.486+01	3.336+01*	1.130+01	4.466+01	6.952+01	1.006+02	1.363+02*	1.490+02*
650623	* 7.786-01	4.861+00*	5.640+00	3.592+01	3.670+01	2.202+01	2.845+01*	1.002+01	3.847+01	6.049+01	9.720+01	1.331+02*	1.388+02*
650713	* 2.313+00	1.064+01*	1.315+01	2.998+01	3.371+01	2.512+01	3.155+01*	1.086+01	4.241+01	6.753+01	1.012+02	1.302+02*	1.434+02*
650811	* 2.203+00	1.278+01*	1.498+01	3.040+01	3.359+01	2.615+01	3.482+01*	1.256+01	4.738+01	7.353+01	1.071+02	1.375+02*	1.525+02*
651006	* 1.204+01	1.829+01*	3.033+01	2.898+01	2.927+01	2.632+01	3.569+01*	1.318+01	4.887+01	7.519+01	1.045+02	1.334+02*	1.638+02*
651103	* 7.521+00	1.571+01*	2.323+01	3.245+01	3.263+01	2.839+01	4.155+01*	1.538+01	5.693+01	8.531+01	1.179+02	1.504+02*	1.736+02*
651208	* 1.537+01	1.566+01*	3.103+01	1.953+01	2.255+01	2.254+01	3.103+01*	1.061+01	4.164+01	6.418+01	8.673+01	1.063+02*	1.373+02*

1) EDB-tabell Nr. 0023/9

Fig. 5 DYPVANNETS UTSKIFTNINGSPROSESSER - BELYST VED SALT-KONSENTRASJONSKURVER
(Basert på delrapport 2 fig. 37 og 40).



Figuren demonstrerer de to forskjellige prosesser som forårsaker utskiftning av dypvannet i indre fjord:

Diffusjon. Den diffusive utskiftning, som er en langsom prosess, består i at dypvannet gradvis fortynnes med brakkvann ovenfra og selv blandes inn i brakkvannslaget over. I stagnerende perioder, representert ved stigende partier av kurvene for de respektive dyp, er dette den eneste form for utskiftning som foregår.

Massivinnstrømning. Denne form for utskiftning kan foregå ganske raskt. Den finner sted når det vann som befinner seg ved og

i høyde med Drøbakterskelen er saltere, og derfor tyngre, enn vannet i angjeldende dyp, slik at det strømmer ned og fortrenner dette. Slike situasjoner, representert ved fallende partier av kurvene, oppstår helst i forbindelse med vedvarende vinder fra nord og derfor vanligvis bare i vinterhalvåret. Sjansene for at de skal oppstå er større jo lenger den forutgående stagnasjonsperiode har vart.

Diffusjonen er meget raskere i Vestfjorden enn i Bunnefjorden. (De stigende kurver er brattere i Vestfjorden.) Dette fører til at grunnlaget for massivinnstrømning nås raskere her, og at slik innstrømning derfor skjer oftere.

De stiplede horisontale bånd markerer perioder med noenlunde uforstyrret stagnasjon under 60 meters dyp.

Fig. 6a. VERTIKALDIFFUSJONSKOEFFISIENTENE BEREGNET FOR DE ENKELTE TOKT
 (Forminsket gjengivelse av fig. 44 og 46 i delrapport 2)

Fig. 44

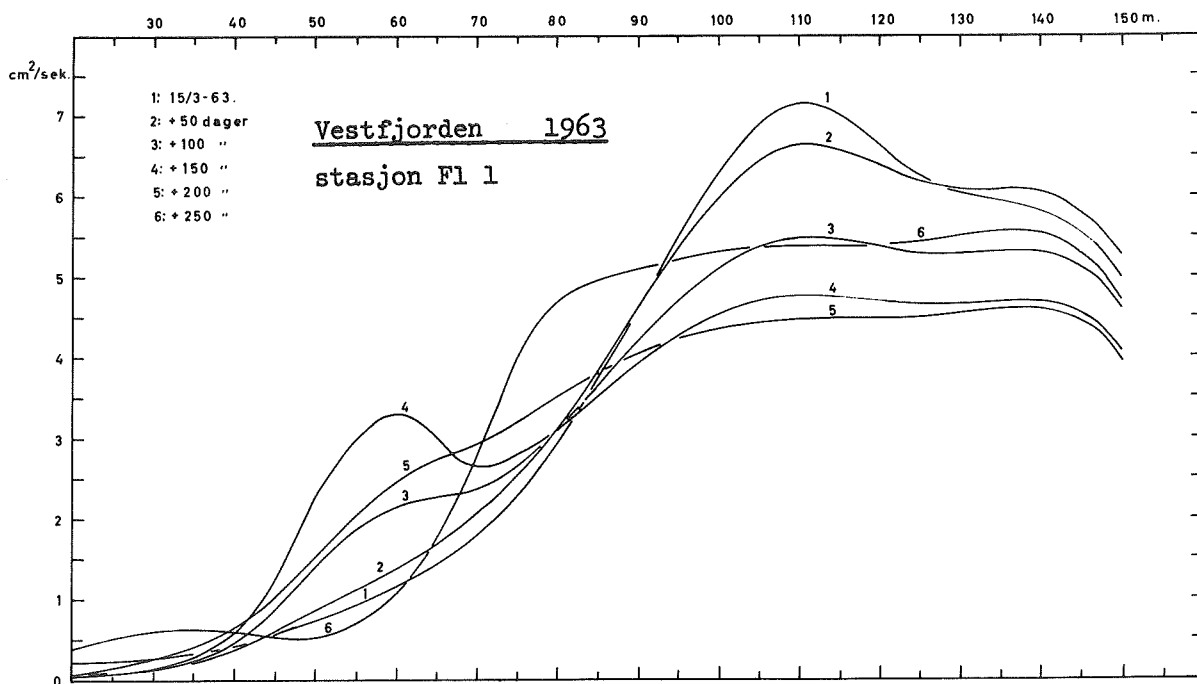
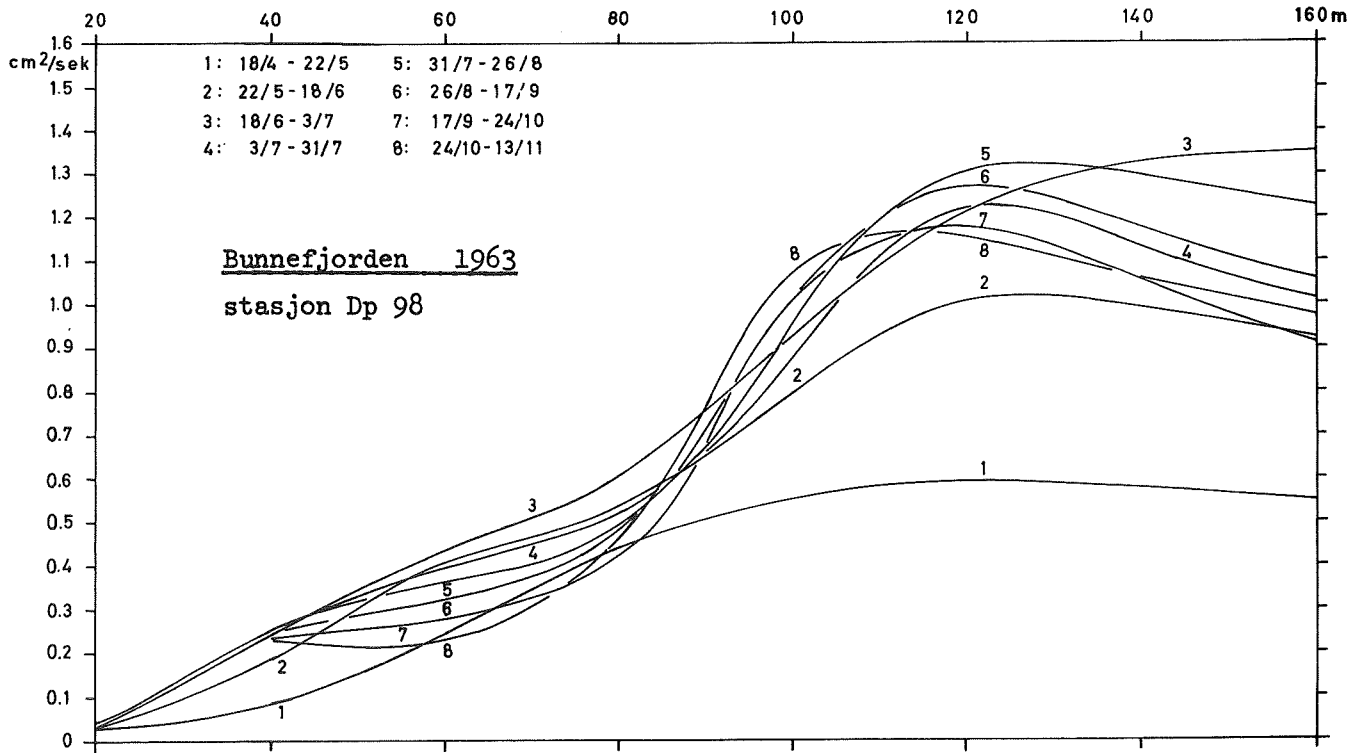


Fig. 6b. DE MIDLERE DIFFUSJONSKOEFFISIENTER
(Forminsket gjengivelse av fig. 45 og 47 i delrapport 2)

Fig. 45

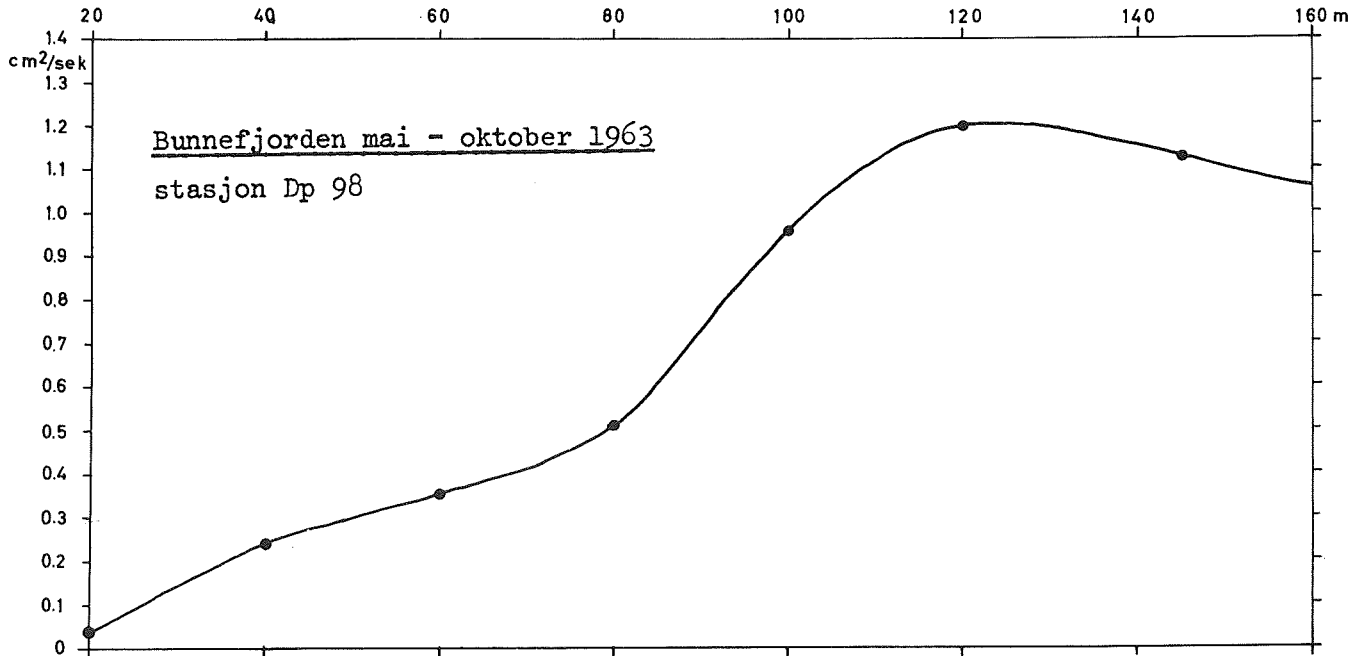


Fig. 47

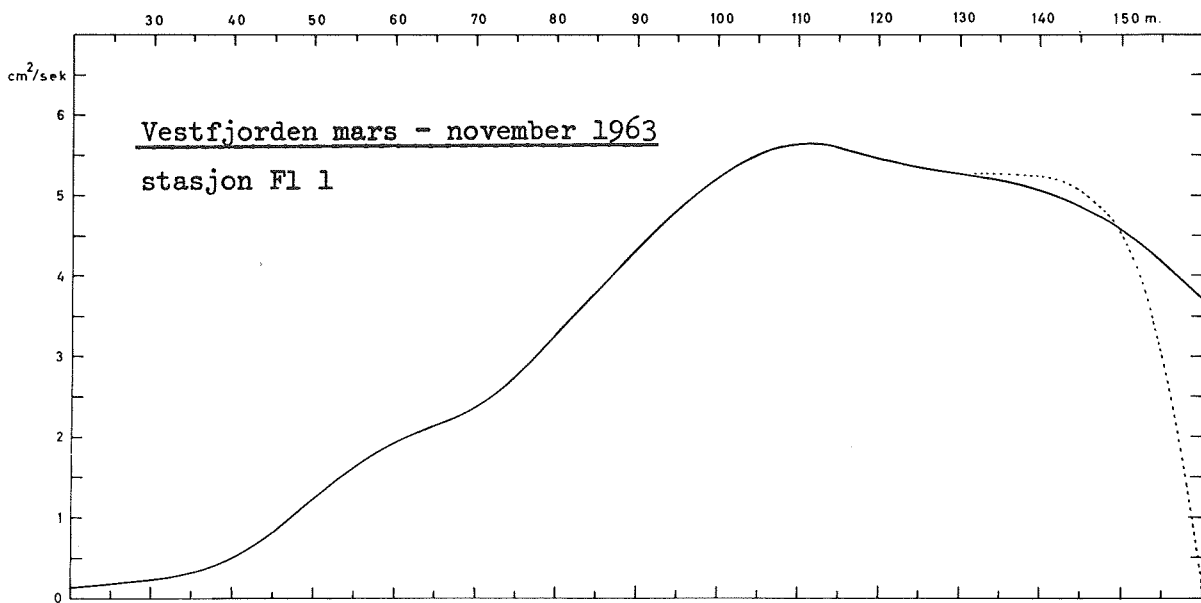
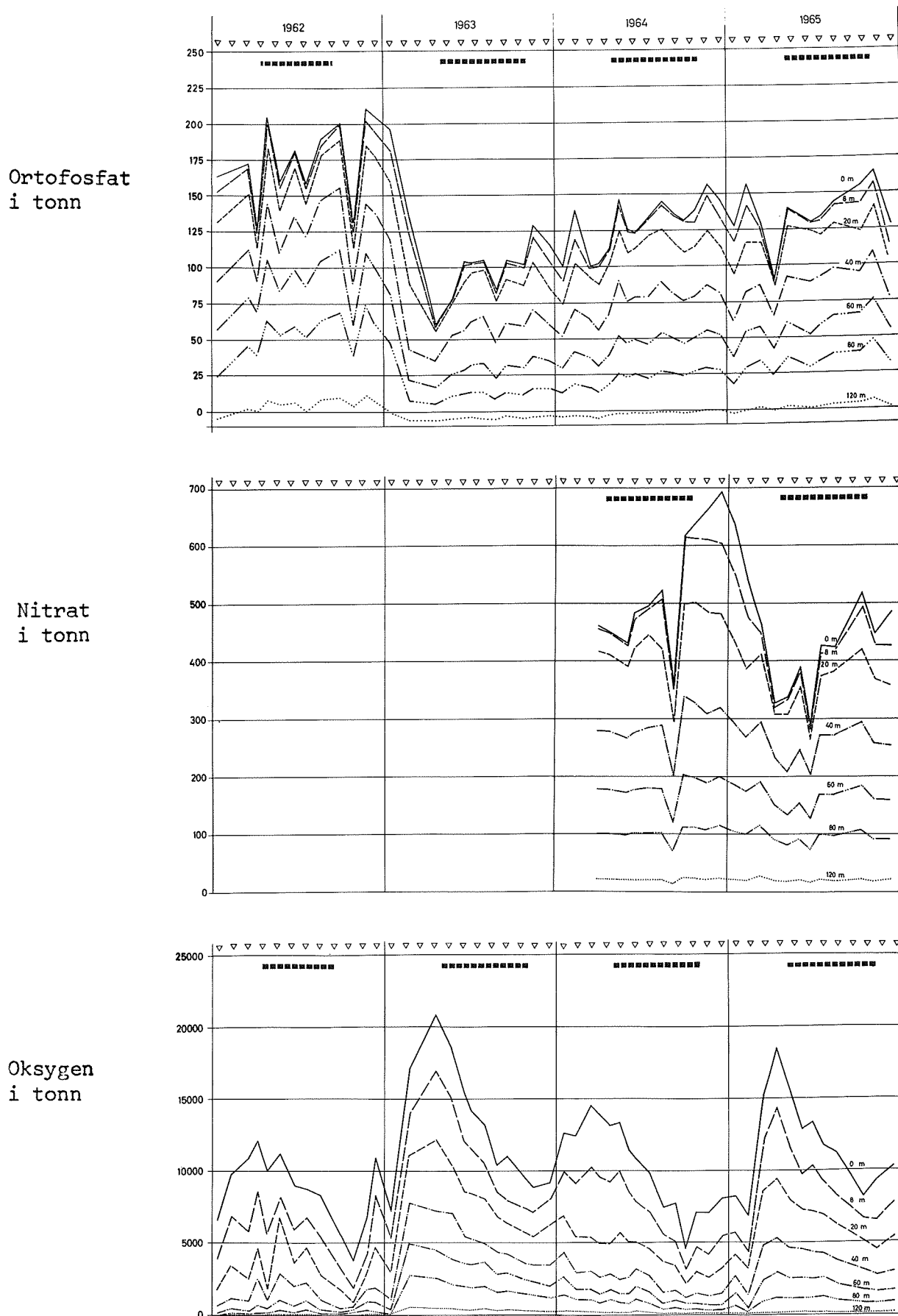


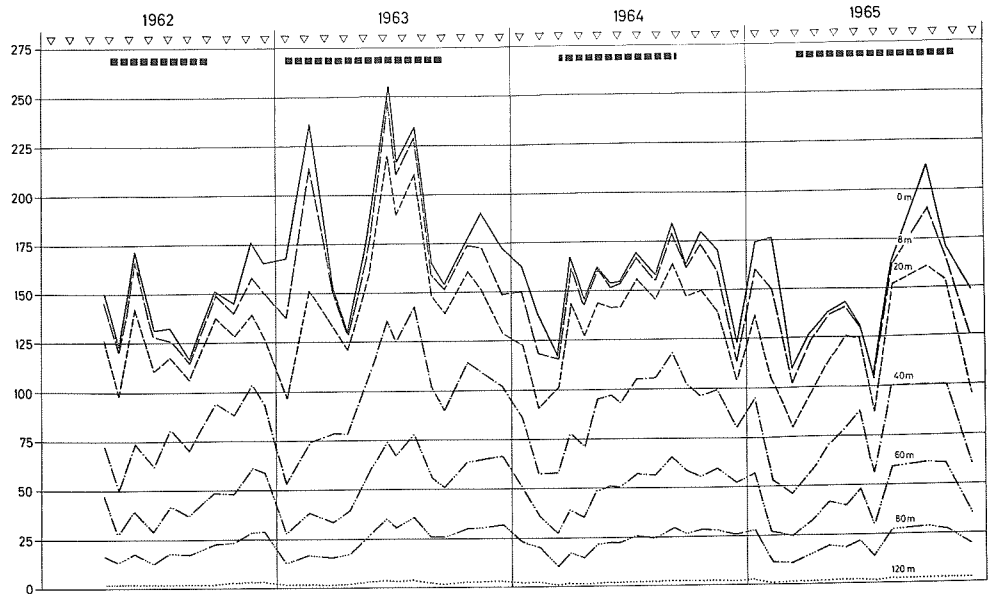
Fig. 7a AKKUMULERTE KOMPONENTER SOM FUNKSJON AV TIDEN I BUNNEFJORDEN



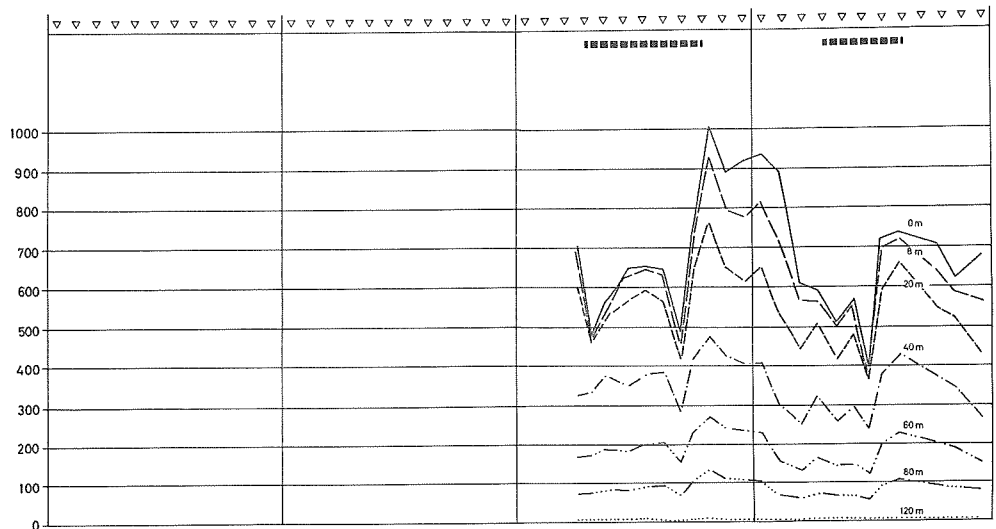
Kurvene viser mengde oppløst komponent i hele vannmassen under de respektive dyp. Vertikalavstanden mellom to kurver viser mengde oppløst komponent mellom de angjeldende dyp. De valgte beregningsperioder (stagnasjonsperioder) er markert med stiplede bånd.

Fig. 7b AKKUMULERTE KOMPONENTER SOM FUNKSJON AV TIDEN I S/m VESTFJORDEN

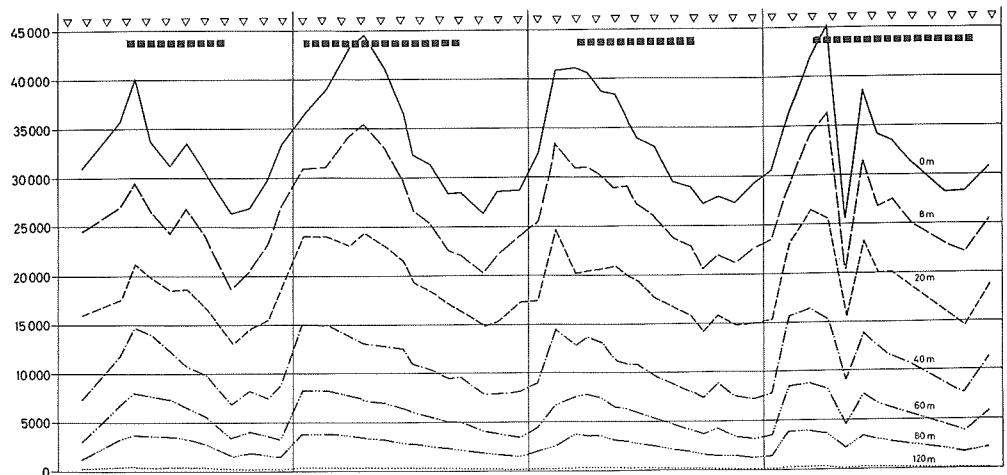
Ortofosfat
i tonn



Nitrat
i tonn



Oksygen
i tonn



Kurvene viser mengde oppløst komponent i hele vannmassen under de respektive dyp. Vertikalavstanden mellom to kurver viser mengde oppløst komponent mellom de angjeldende dyp. De valgte beregningsperioder (stagnasjonsperioder) er markert med stiplede bånd.

Fig. 9. DEN SONEVISE BELASTNINGSFORDELING I INDRE OSLOFJORD
Gjengitt fra delrapport 11.

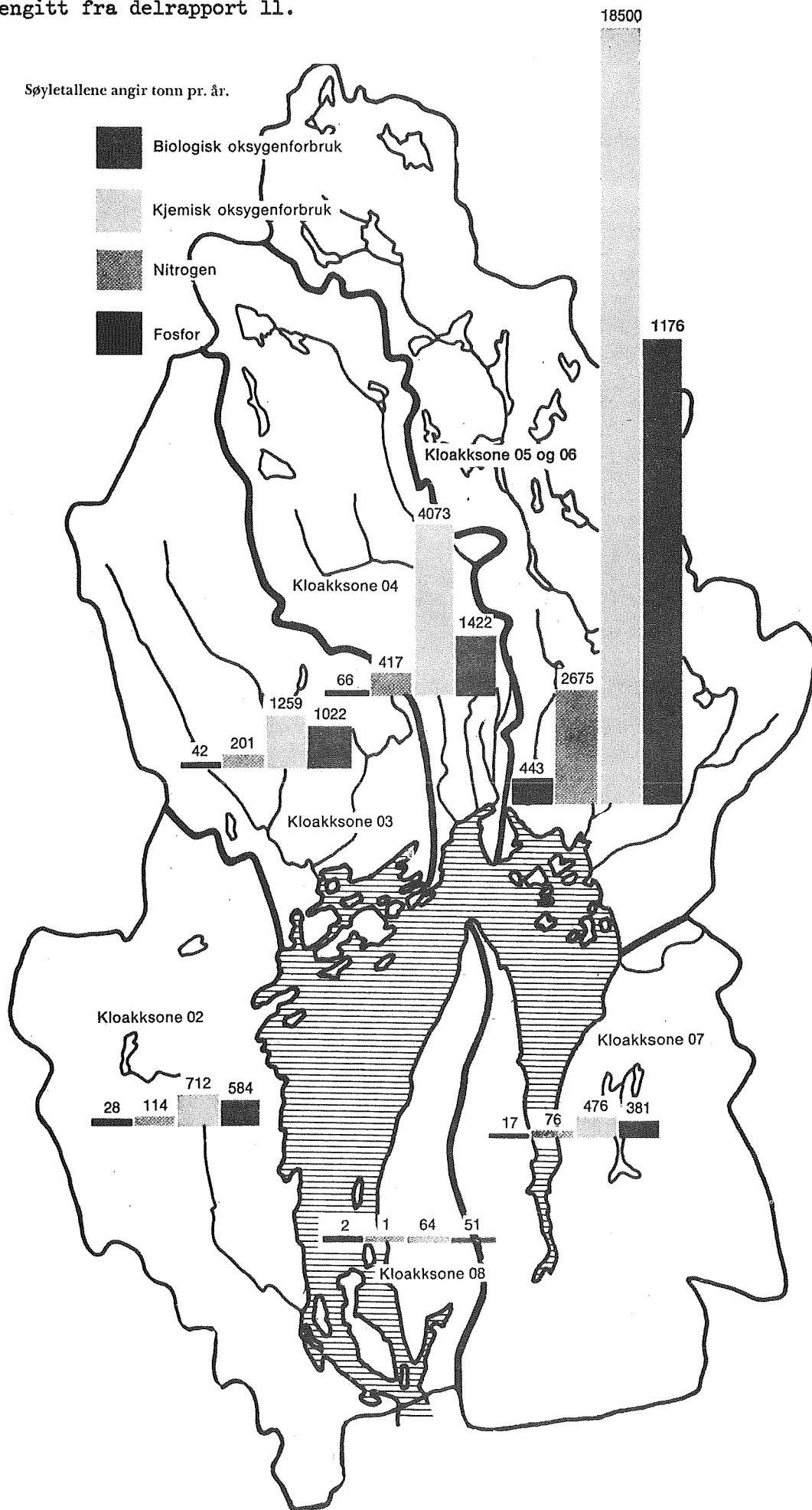
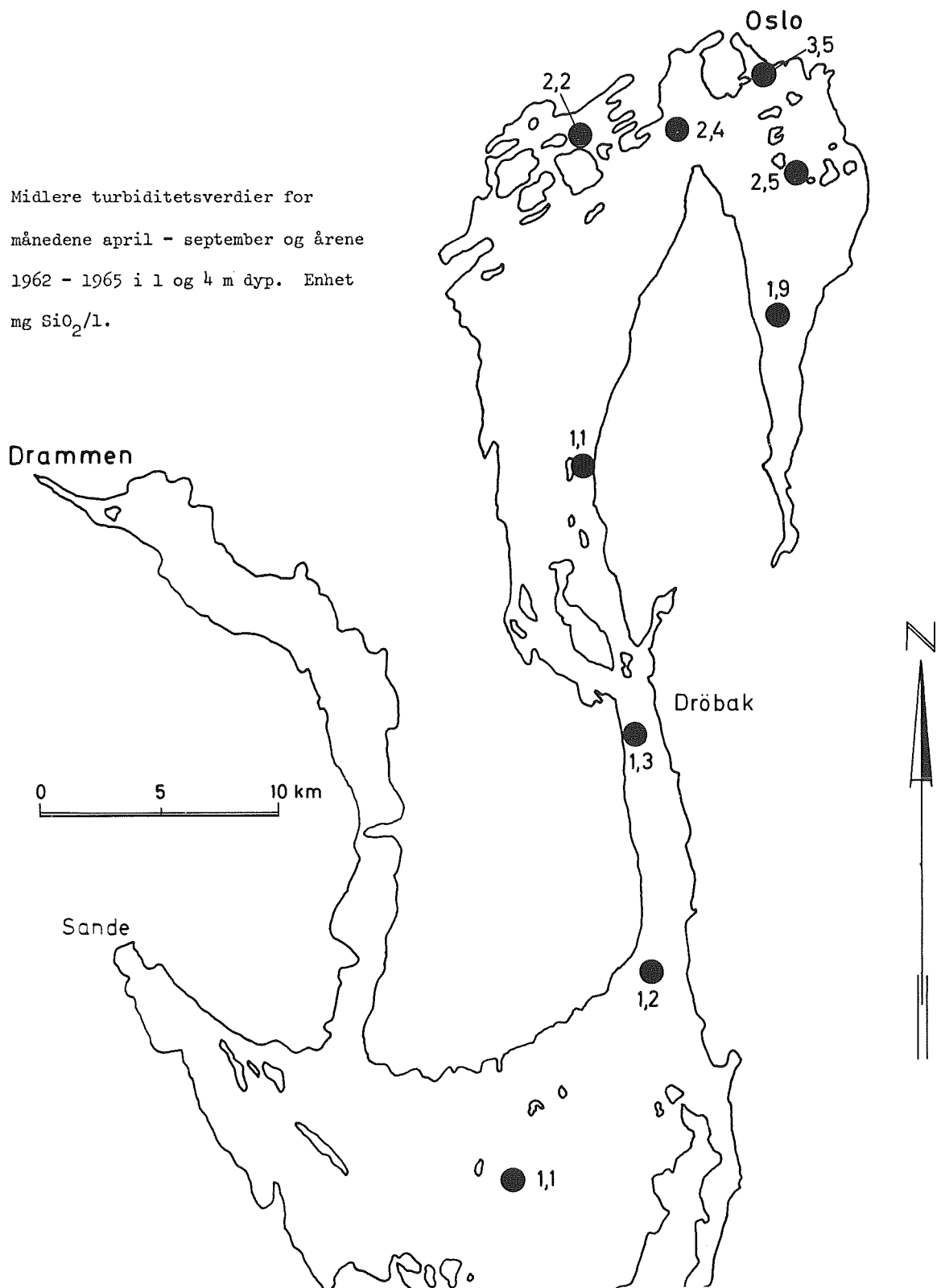


Fig. 10. BELASTNINGSFORDELING FRA ORGANISK VEKST I OVERFLATELAGET -
BELYST VED TURBIDITETSVERDIER



Figuren viser midlere partikkelinnhold (målt som turbiditet) på de hydrografiske rutinestasjoner somrene 1962 - 1965 og er basert på tabell 5 i delrapport 1. Selv om også andre partikkeltyper spiller en viss rolle, er det antatt at de mikroskopiske planter (planktoniske alger) som vokser i sjøen er den dominerende turbiditetsfaktor i fjorden. Fordi det også er grunn til å tro at den mengde av alger som dør og synker på et sted i fjorden, er noenlunde proporsjonal med mengden av alger tilstede, gir figuren et bilde av den omtrentlige belastningsfordeling fra organisk vekst i sjøen.

Fig. 11 Fjordens vertikale lengdesnitt i forenklet utgave

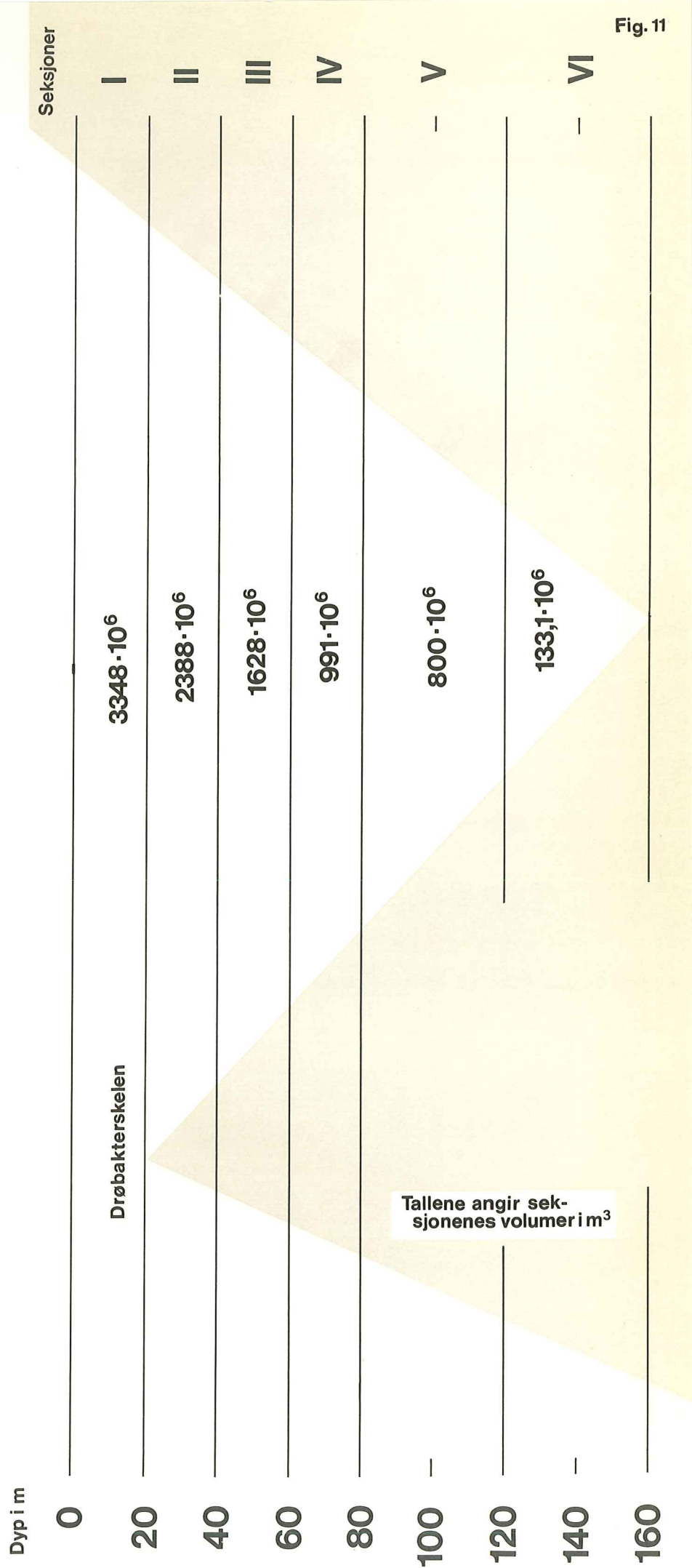


Fig. 12 Det generelle flytediagram for sommerhalvåret

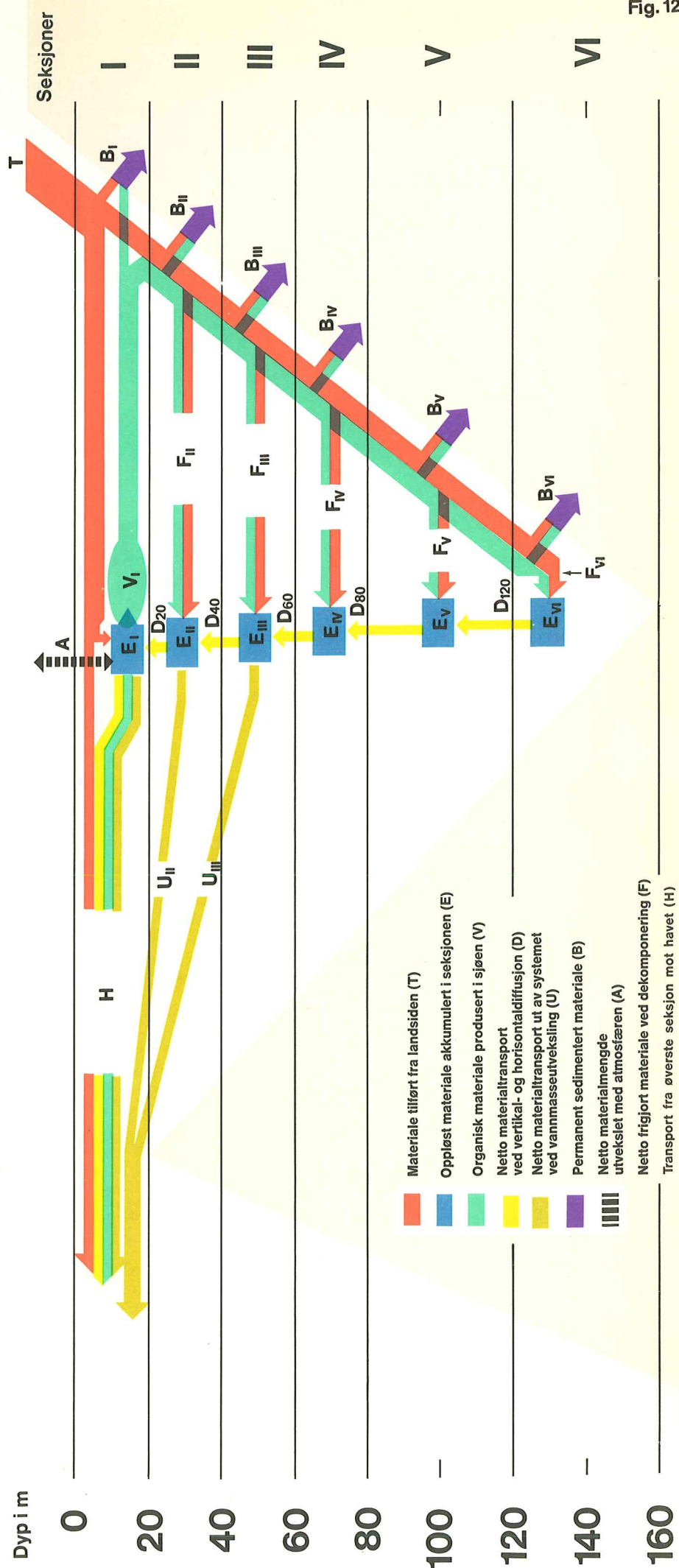


Fig. 13 Flytediagram for fosfor i sommerhalvåret

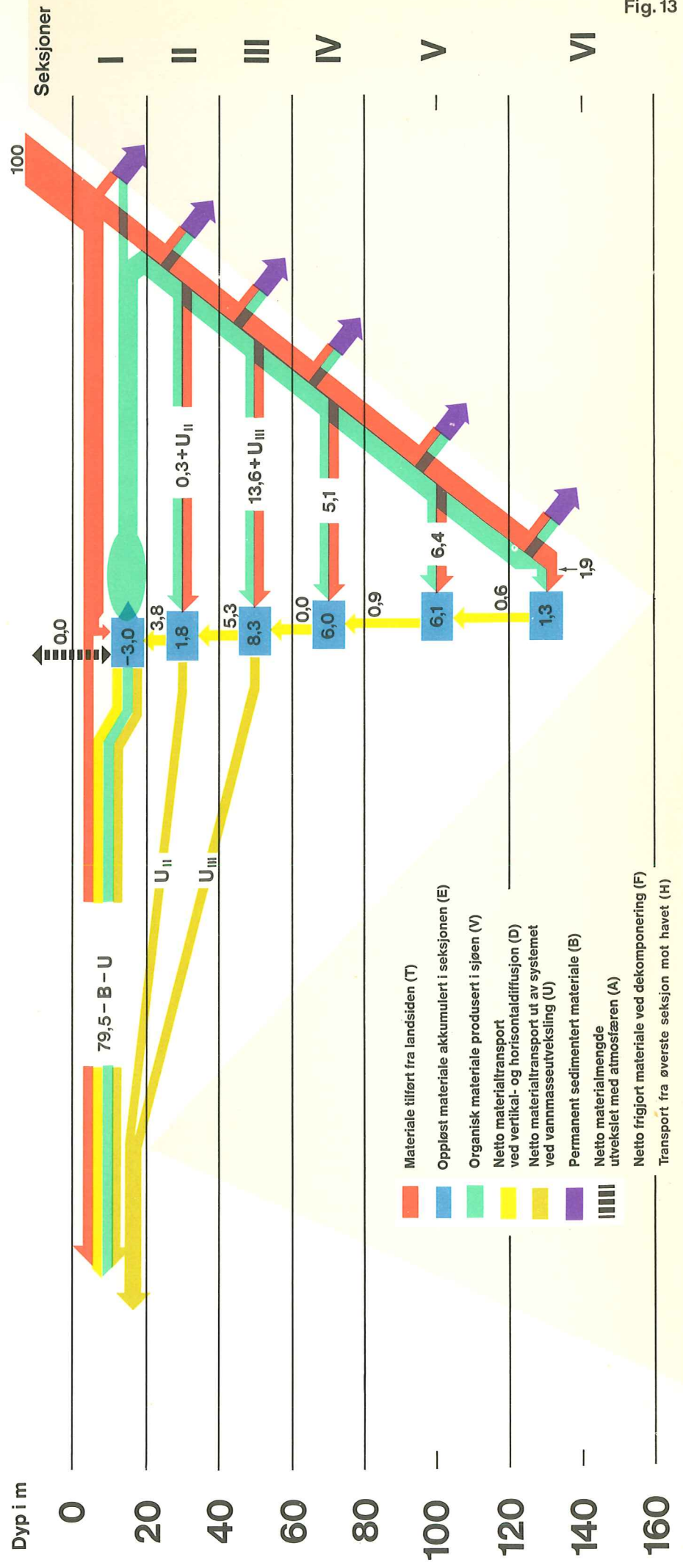


Fig. 14 Flytediagram for nitrogen i sommerhalvåret

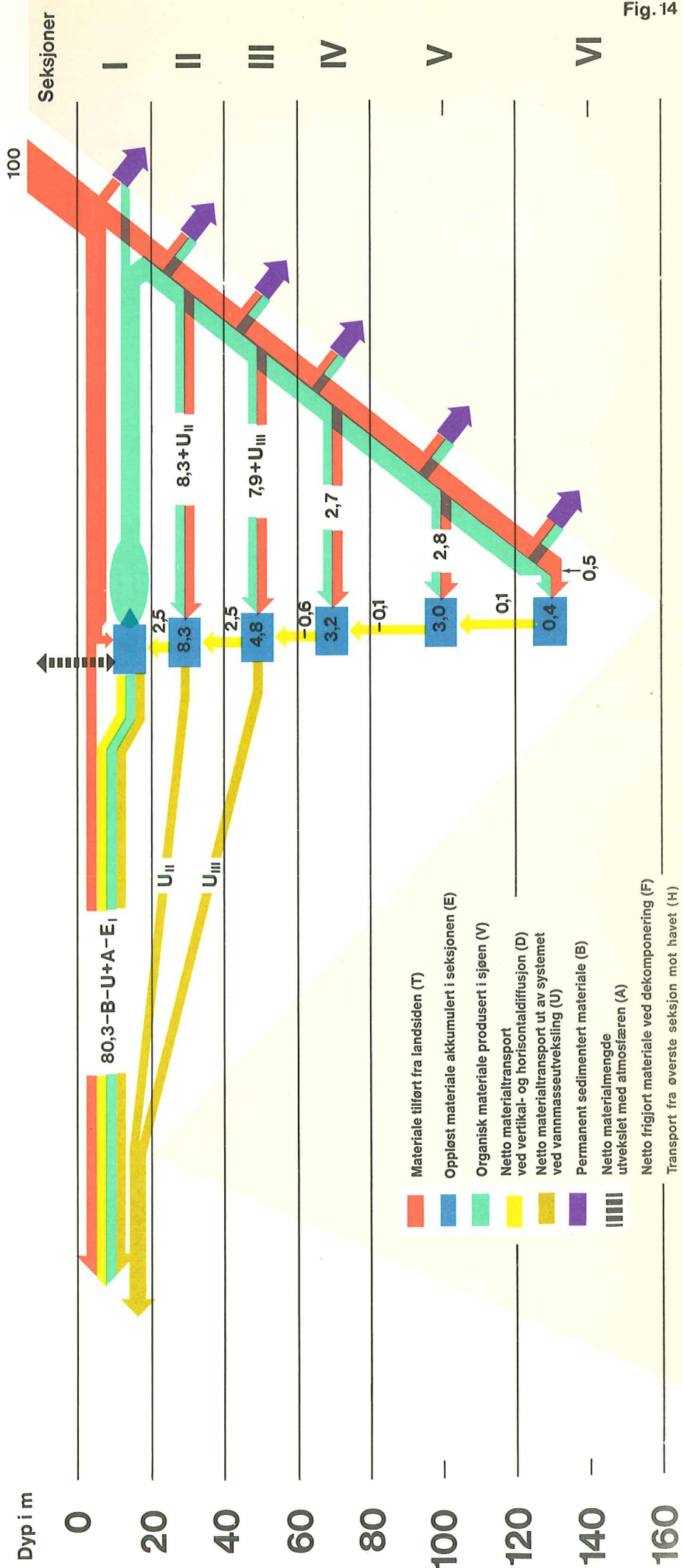
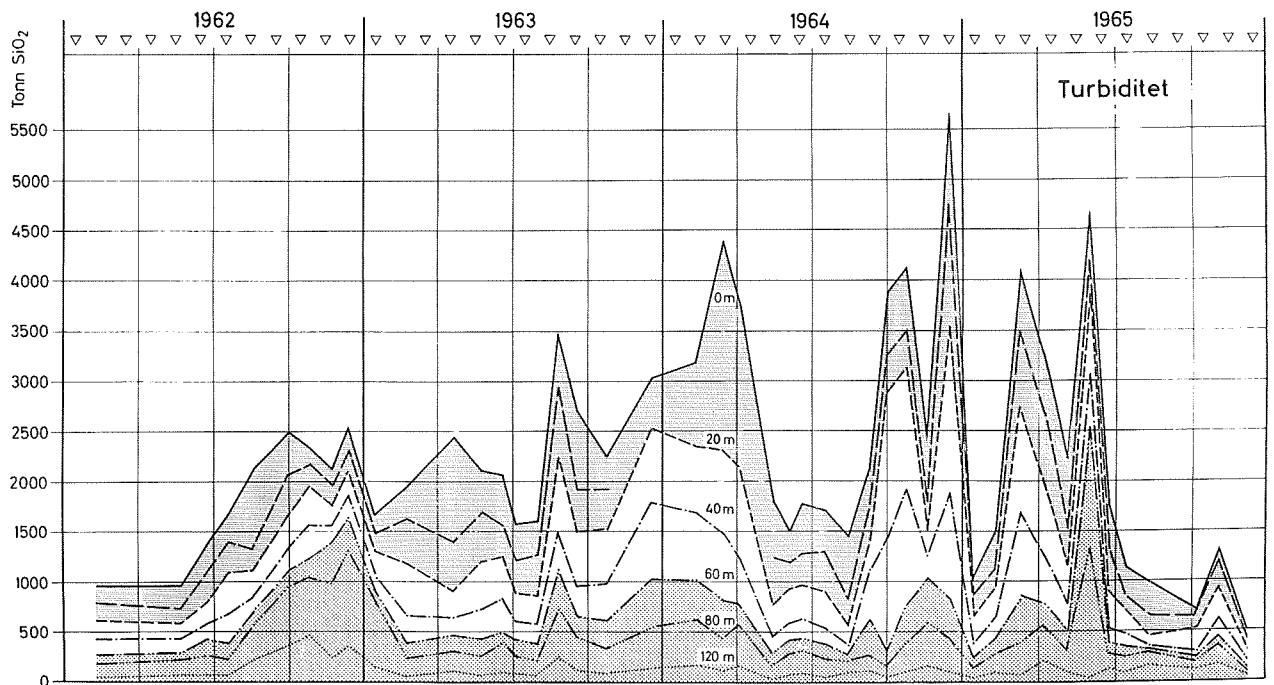
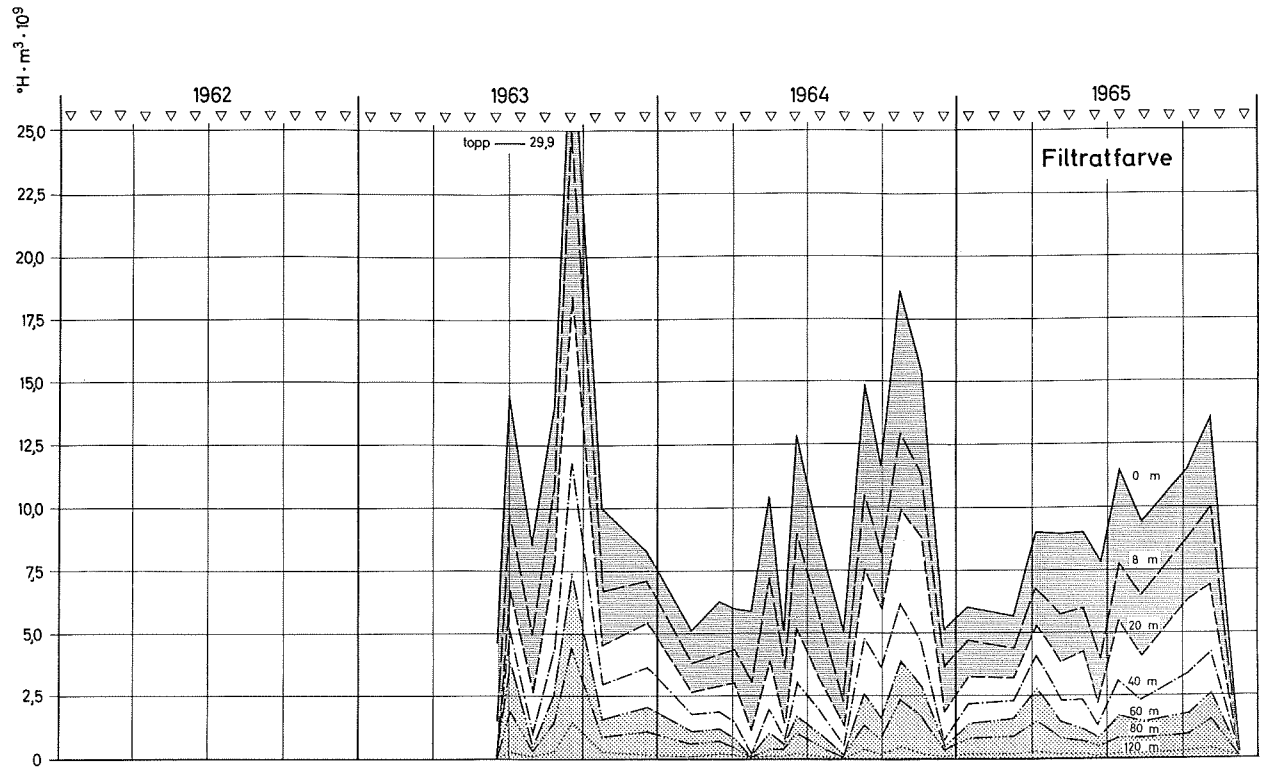


Fig. 14

Fig. 16 AKKUMULERTE FARVESTOFF- OG PARTIKKELMENGDER SOM FUNKSJON AV TIDEN
 - basert på optiske målemetoder



Bilag 1 KOMPONENTKONSENTRASJONER SOM FUNKSJON AV TID OG DYP I DE ENKELTE
BASSENGER

Isopleter av denne type er tegnet for alle bassengavsnitt og de fleste parametre gjennom prosjektperioden. Bare et utvalg som dekker de to bassenger Bunnefjorden og S/m Vestfjorden og de tre parametre P, N og O er tatt med i dette bilag.

Diagrammene, som er beregnet og tegnet av en EDB-maskin, viser beregnede isolinjer for de respektive parametre som funksjon av dyp og tid. Beregningene er utført ved lineær inter- og ekstrapolering på basis av observasjonspunktene. Observasjonspunktene er markert med piler langs tid- og dybdeakse. Isolirjenes verdier er angitt i den indre marg rundt kurvefeltet og i 40 m dyp. For parameteren O er disse verdier angitt direkte som "mg/liter" - for parameteren P og N som "10-logaritmer av mikrogram/liter". Linjenes små krusninger (på $< 1 \text{ mm}^{10}$ amplitude) er ikke relevante. Hvert diagram gjelder for ett kalenderår. Stasjon Dp 99 representerer bassenget Bunnefjorden og Fl 1 Vestfjorden. Diagrammenes identifikasjonsopplysninger er samlet i rammen øverst.

En utførlig orientering om diagramtypen finnes i delrapport 17.

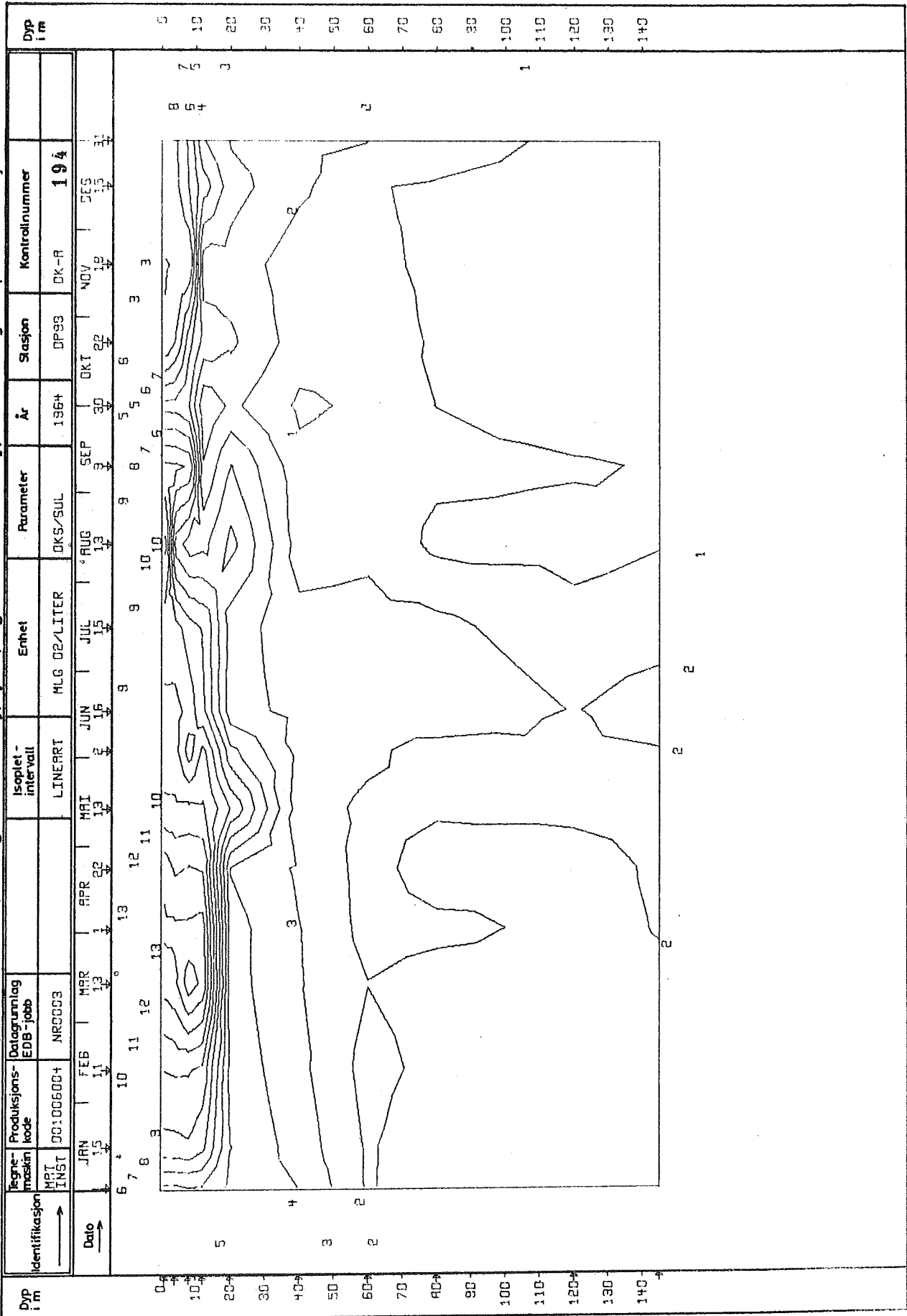
NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



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



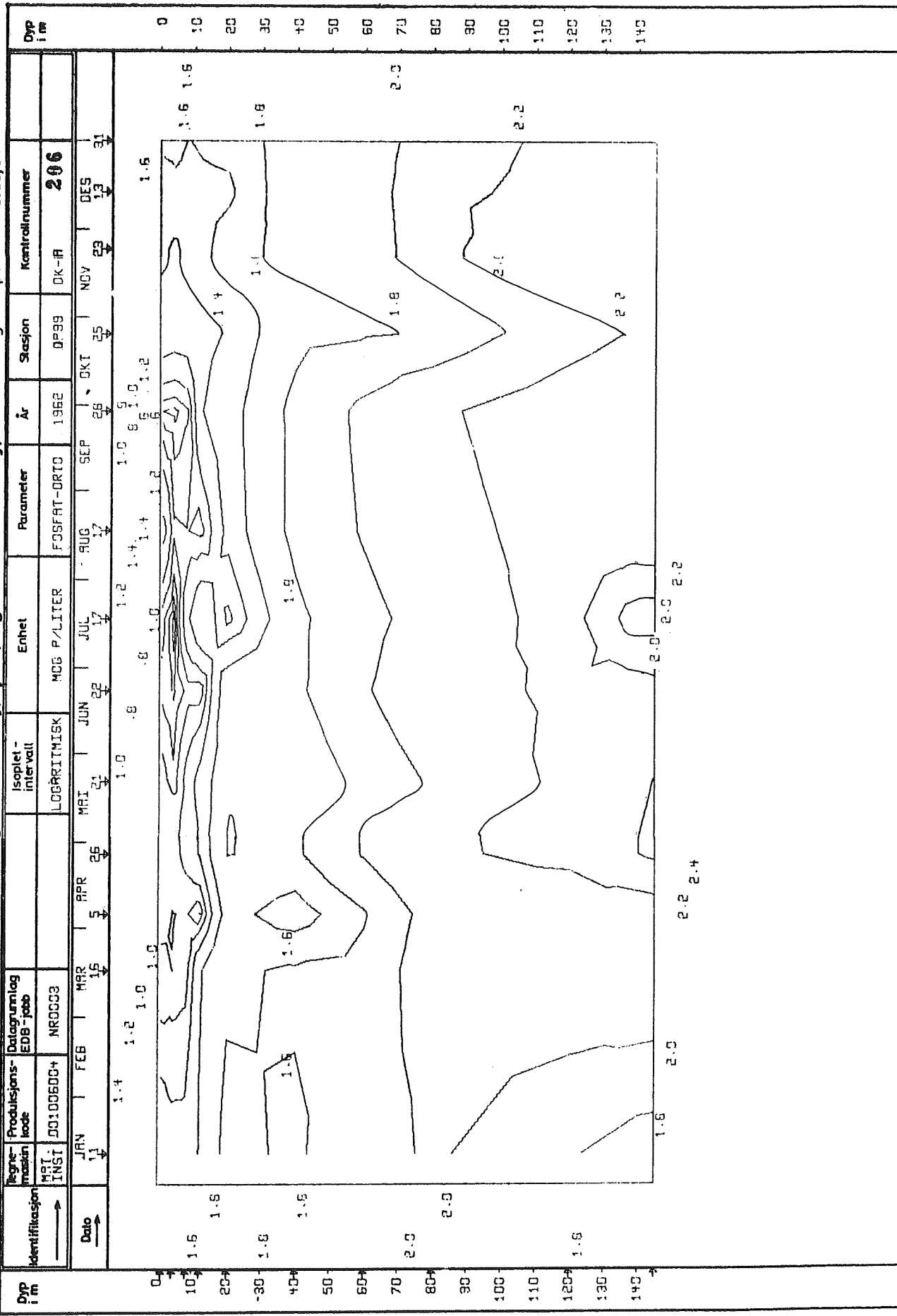
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A: år og tid på enkeltstasjoner



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

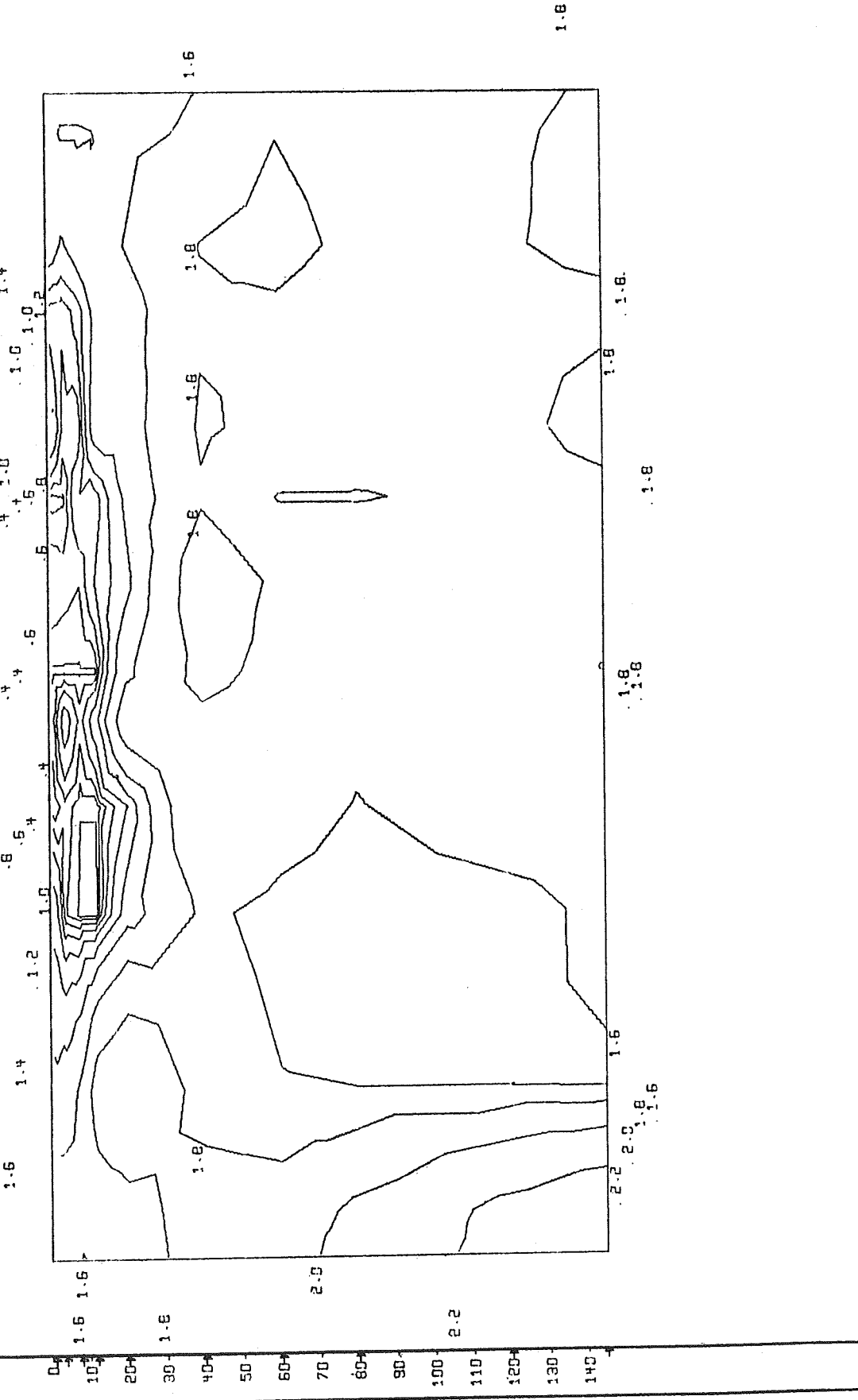


NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A: år og tid på enkeltstasjoner

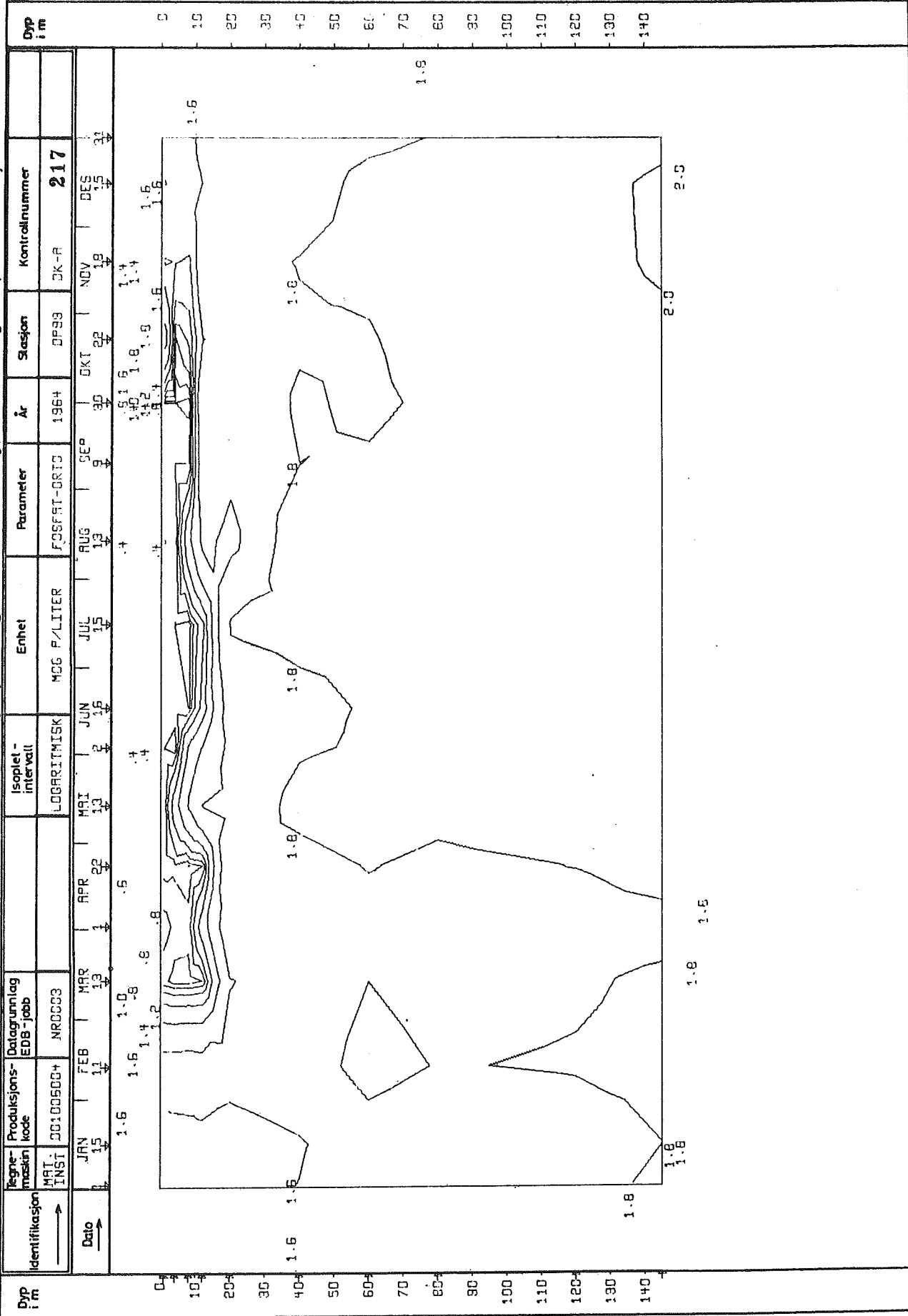


NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A.: år og tid på entlektstasjoner

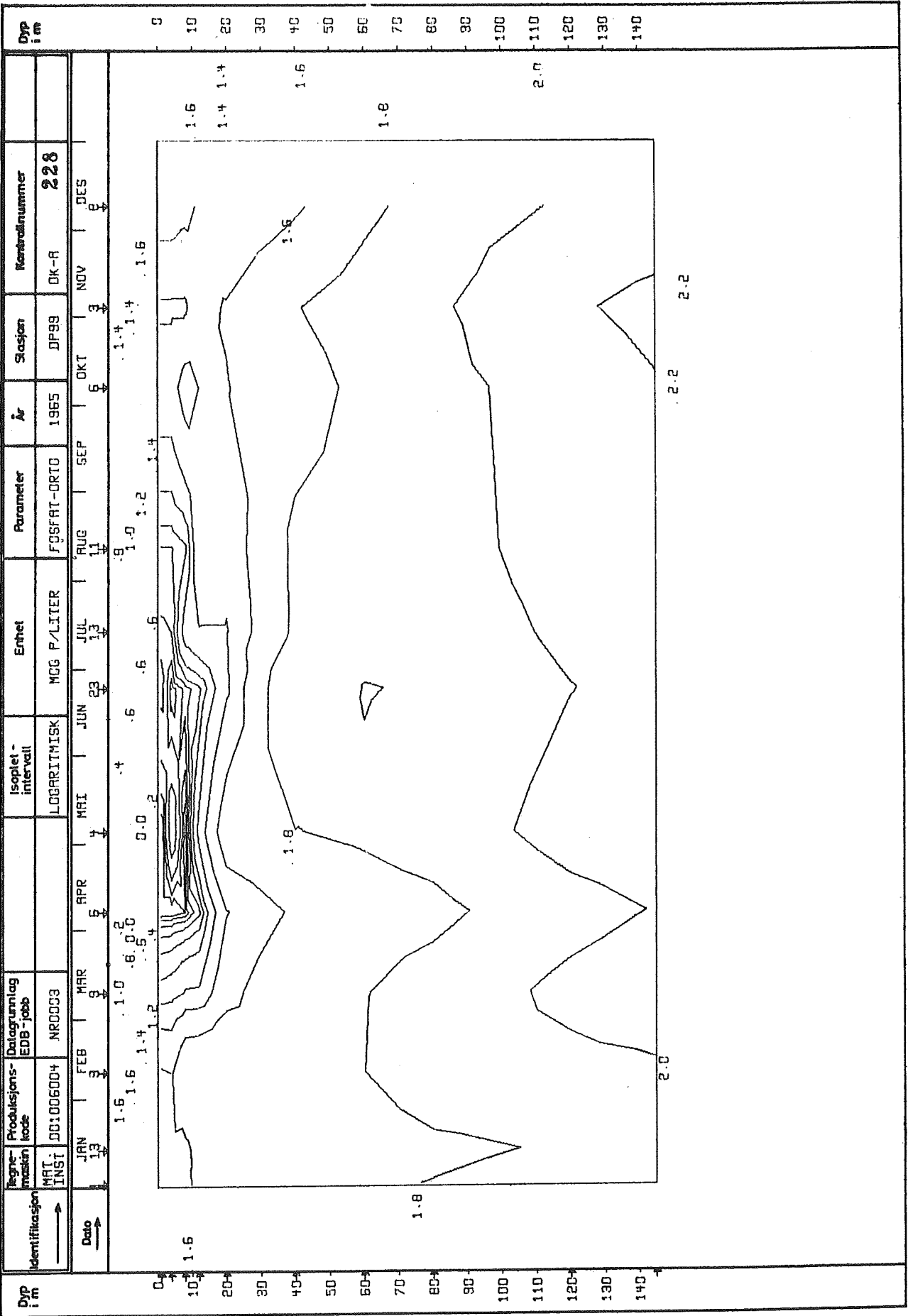
Regne- maskin	Produksjons- kode	Datagrunnlag EDB - jobb	Isopleth- intervall	Enhet	Parameter	År	Stasjon	Kontrollnummer
MAT INST	001006004	NR0003	LOGARITMISK	MCG P/LITER	FOSPAT-ORTO	1963	DP99	DK-A 188



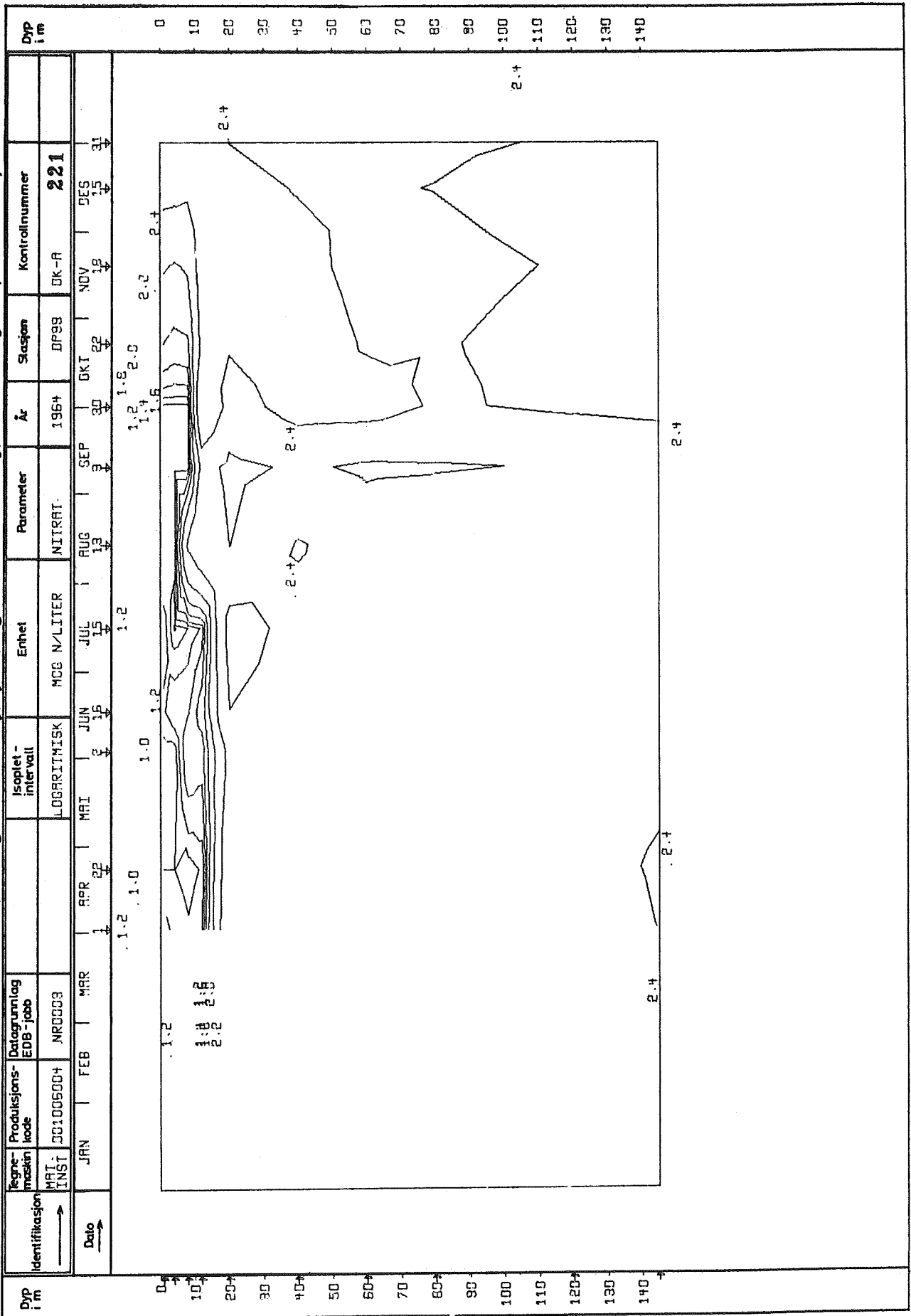
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A: år og tid på enkeltstasjoner



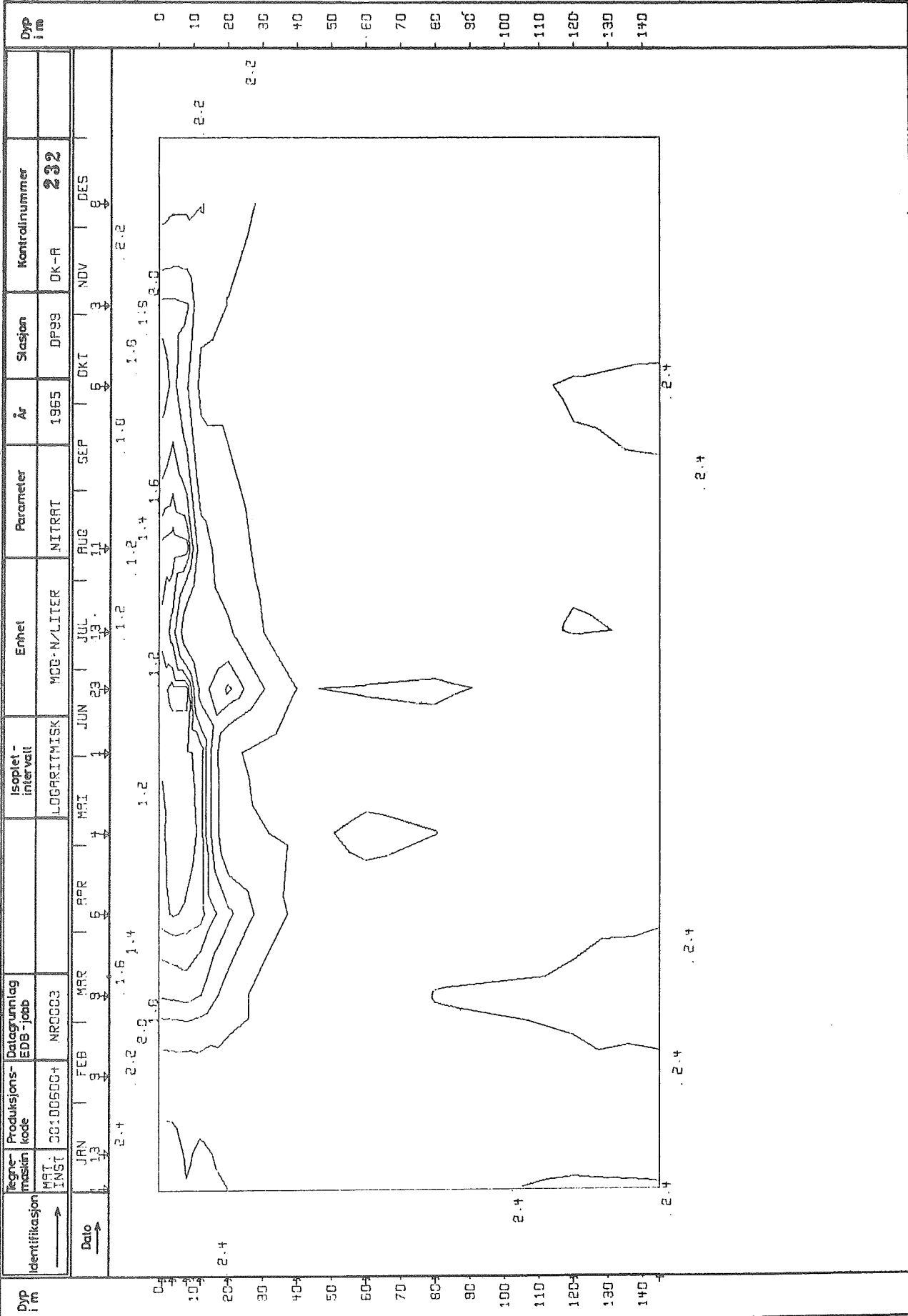
NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dykkjemi-programmet": Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



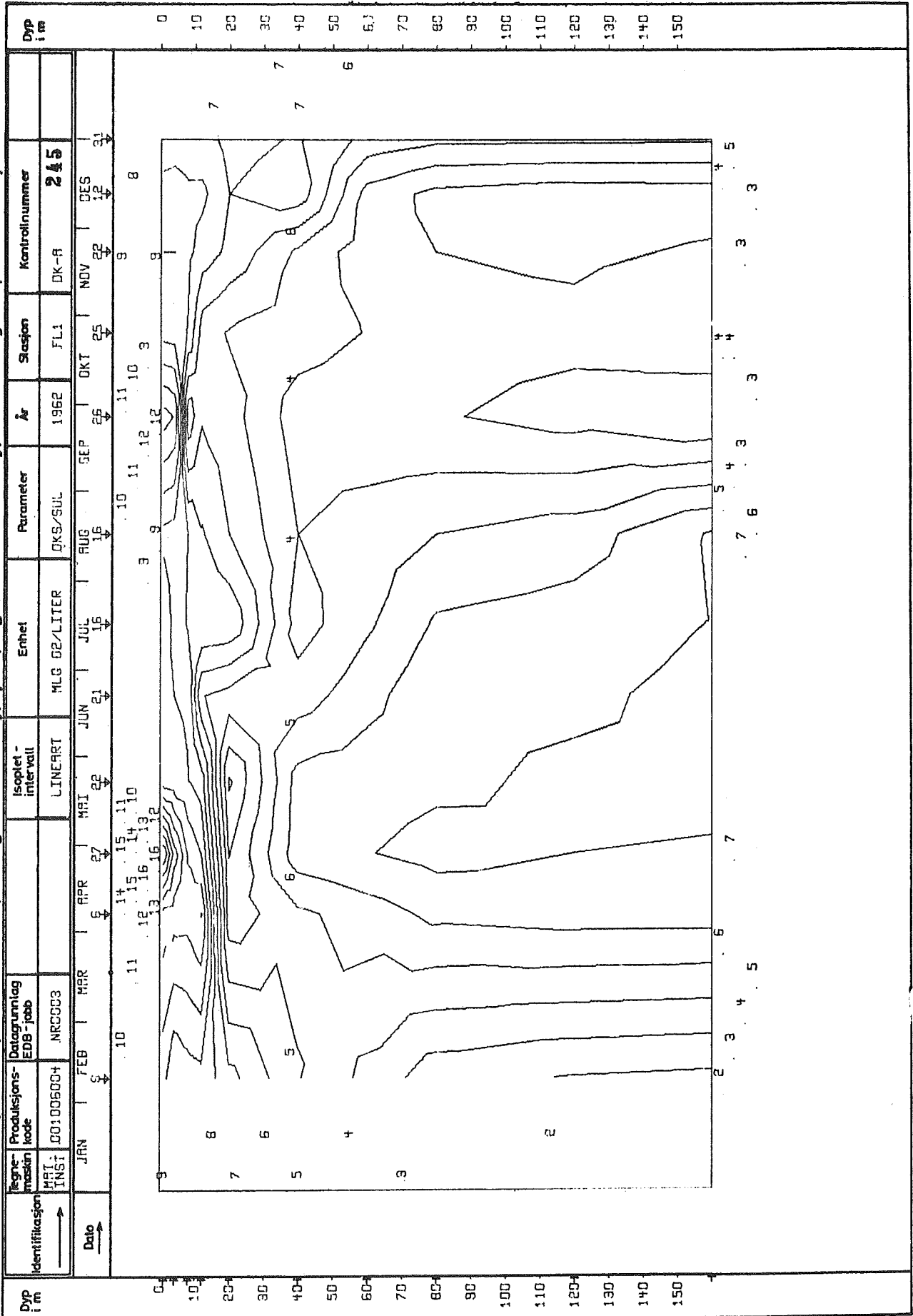
NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dypkjemi-programmet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



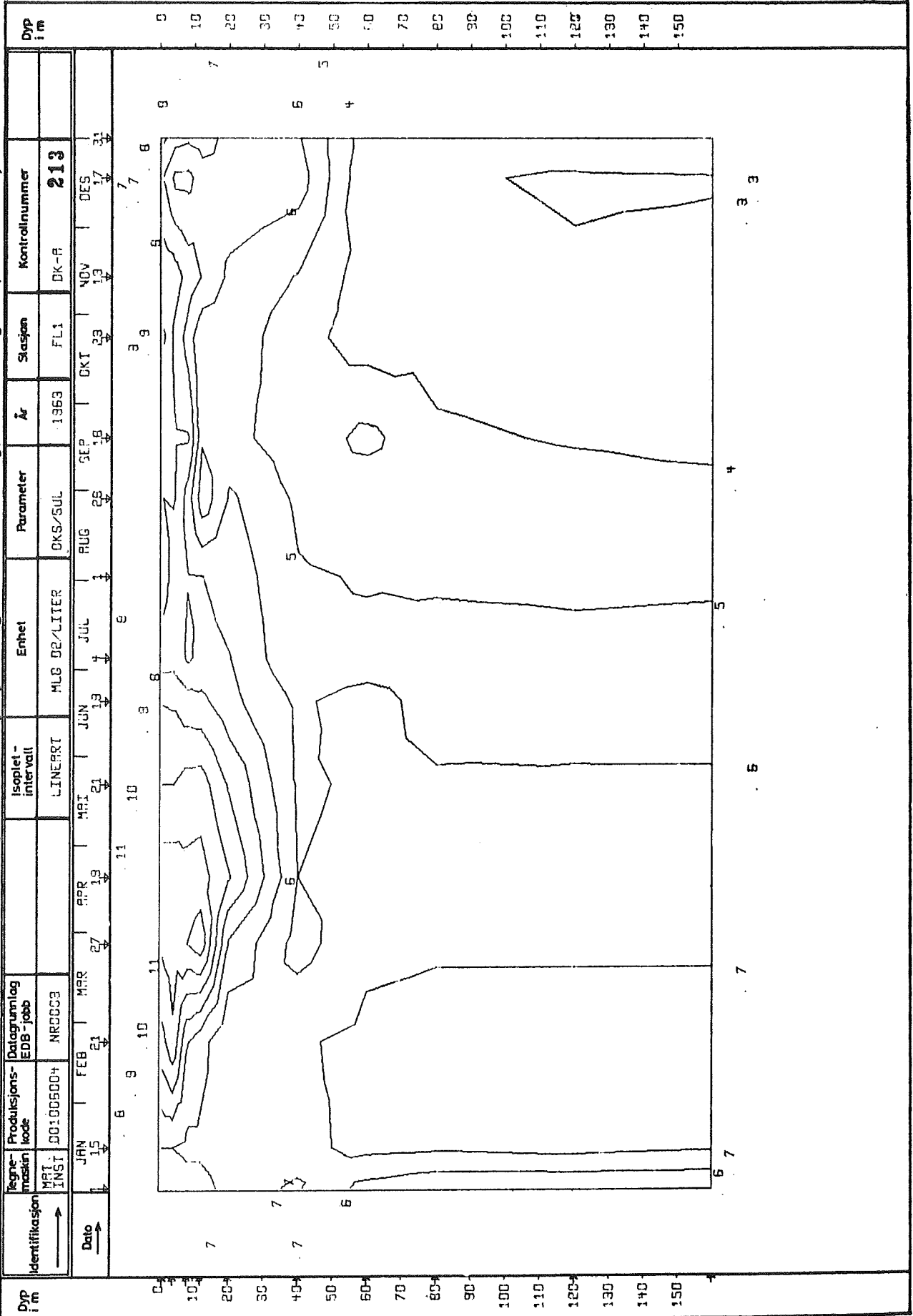
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



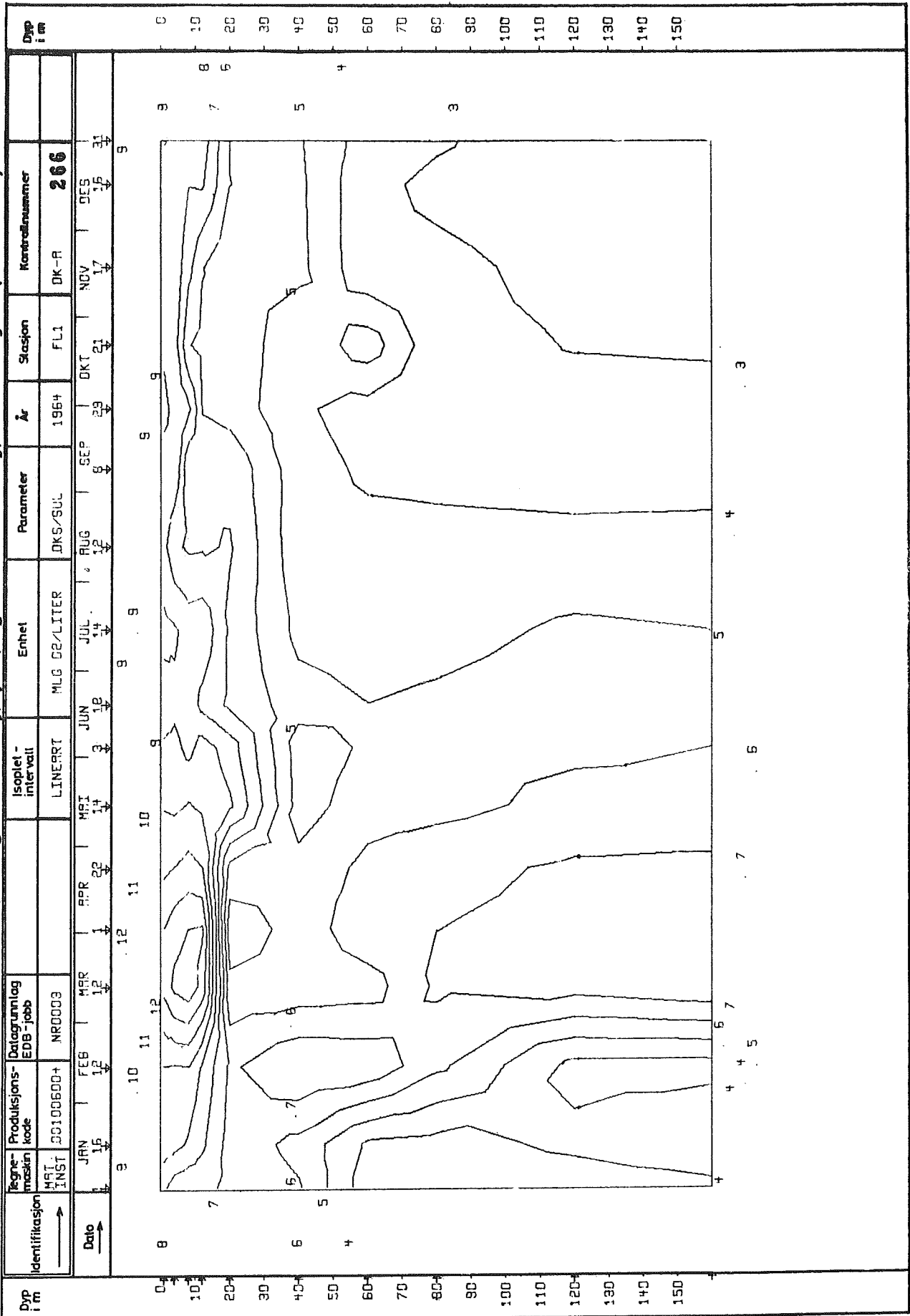
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dypkjemiprogrammet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



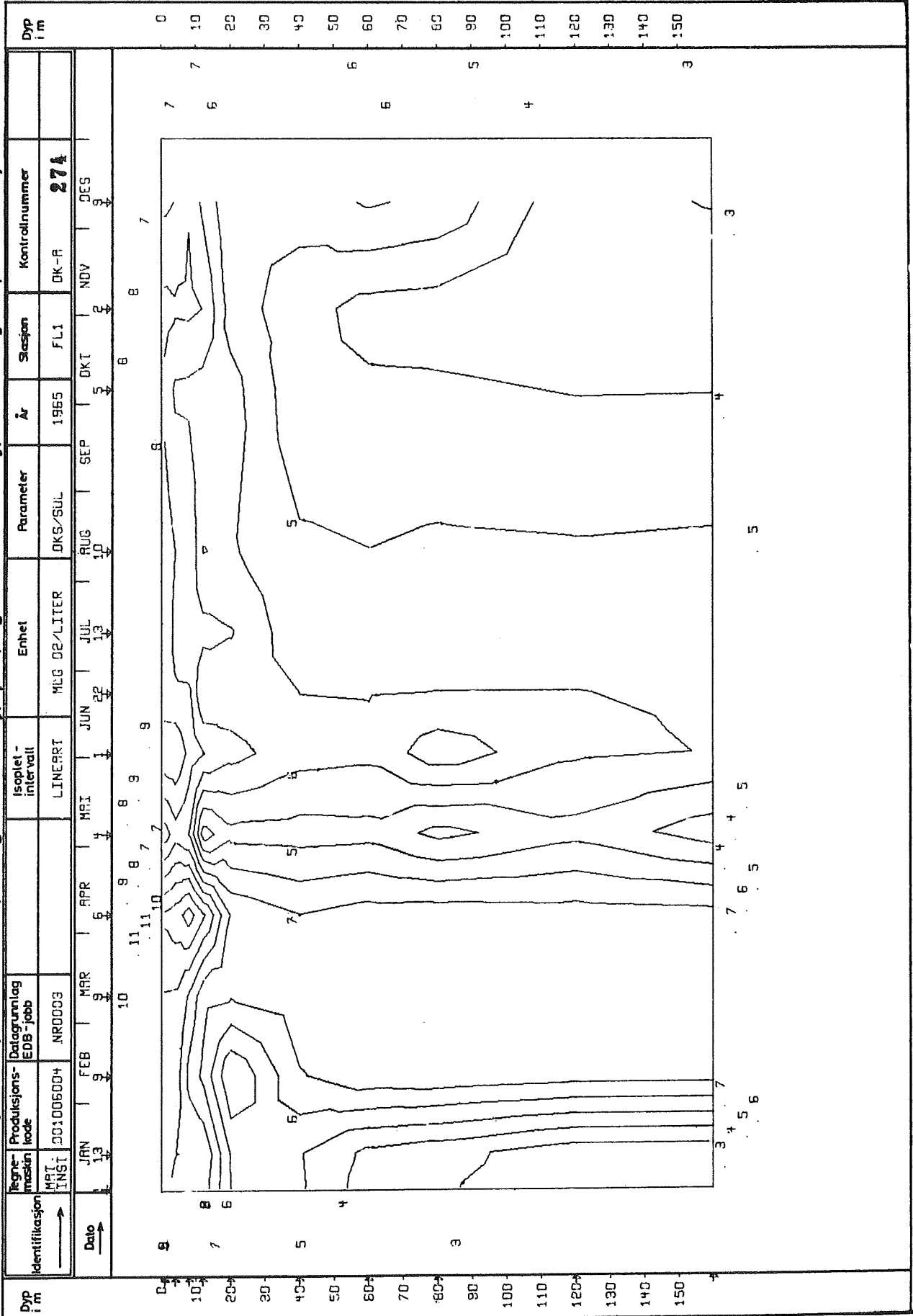
NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dyppkjemiprogrammet" Type A: år og tid på enkeltstasjoner



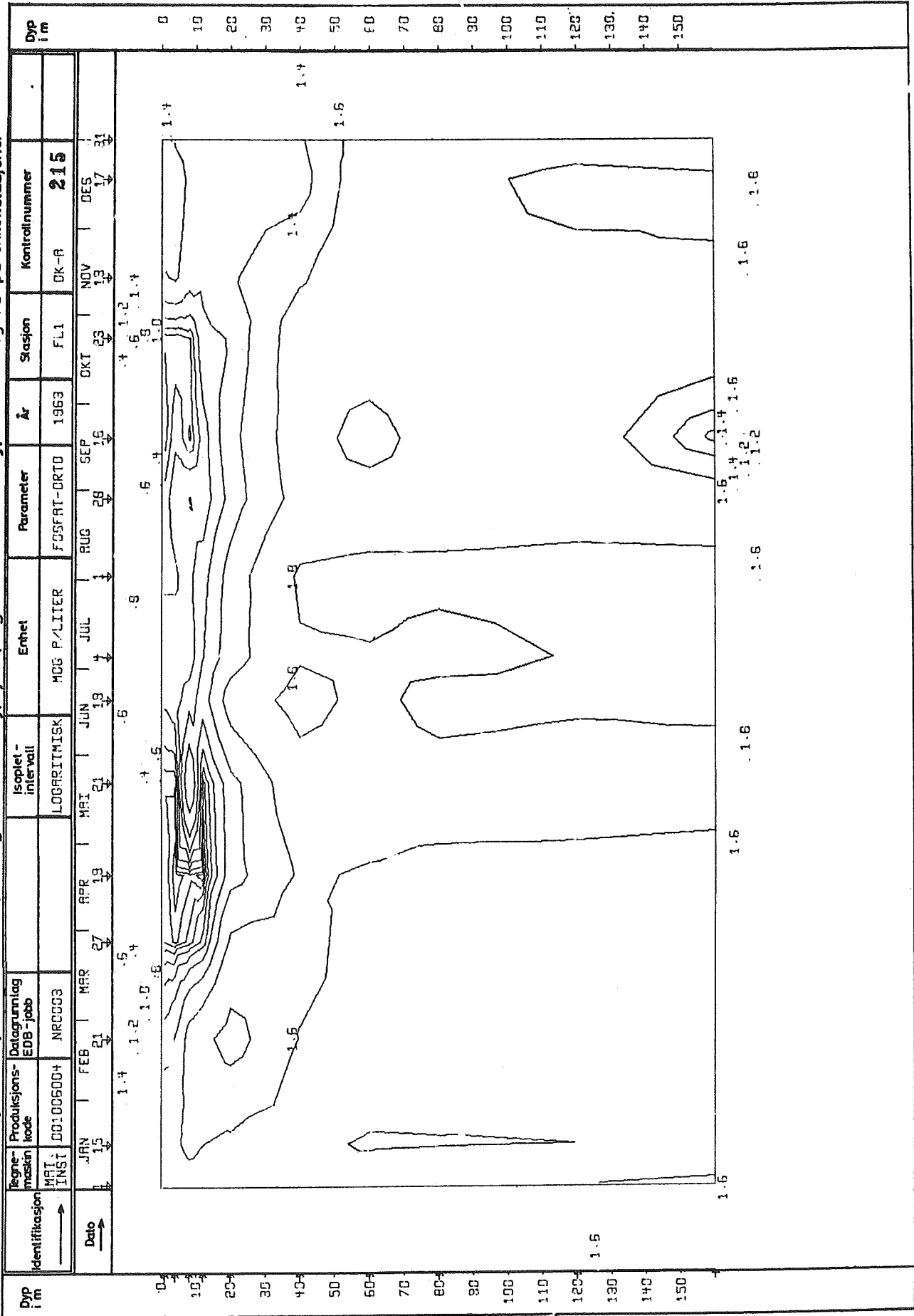
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dykkjemiogrammet" Type A: år og tid på enkeltstasjoner



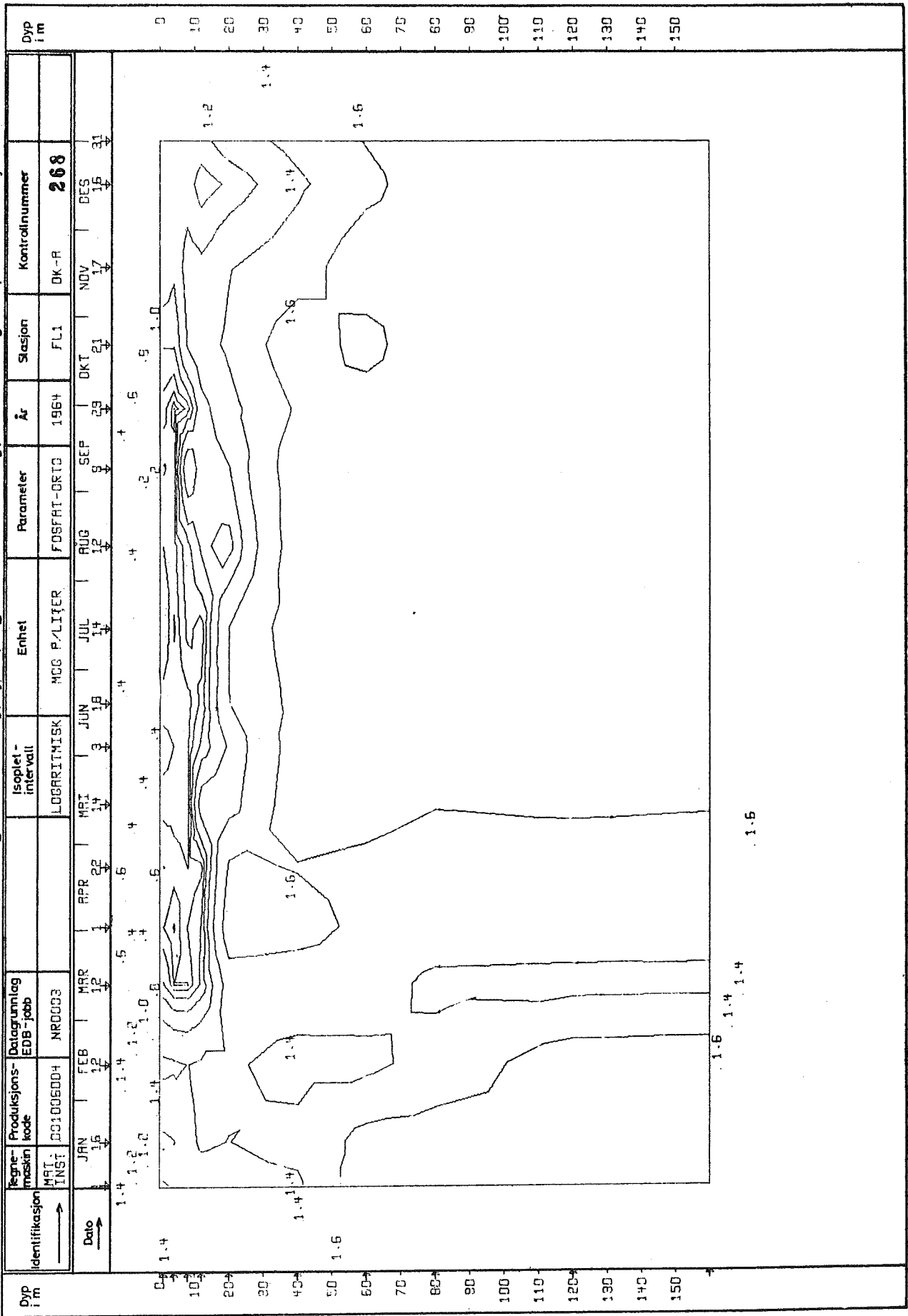
NIVA 0 - 201 Oslofjordprosjektet Isoplethdiagram fra "dypkjemi-programmet" Type A.: år og tid på enkeltstasjoner



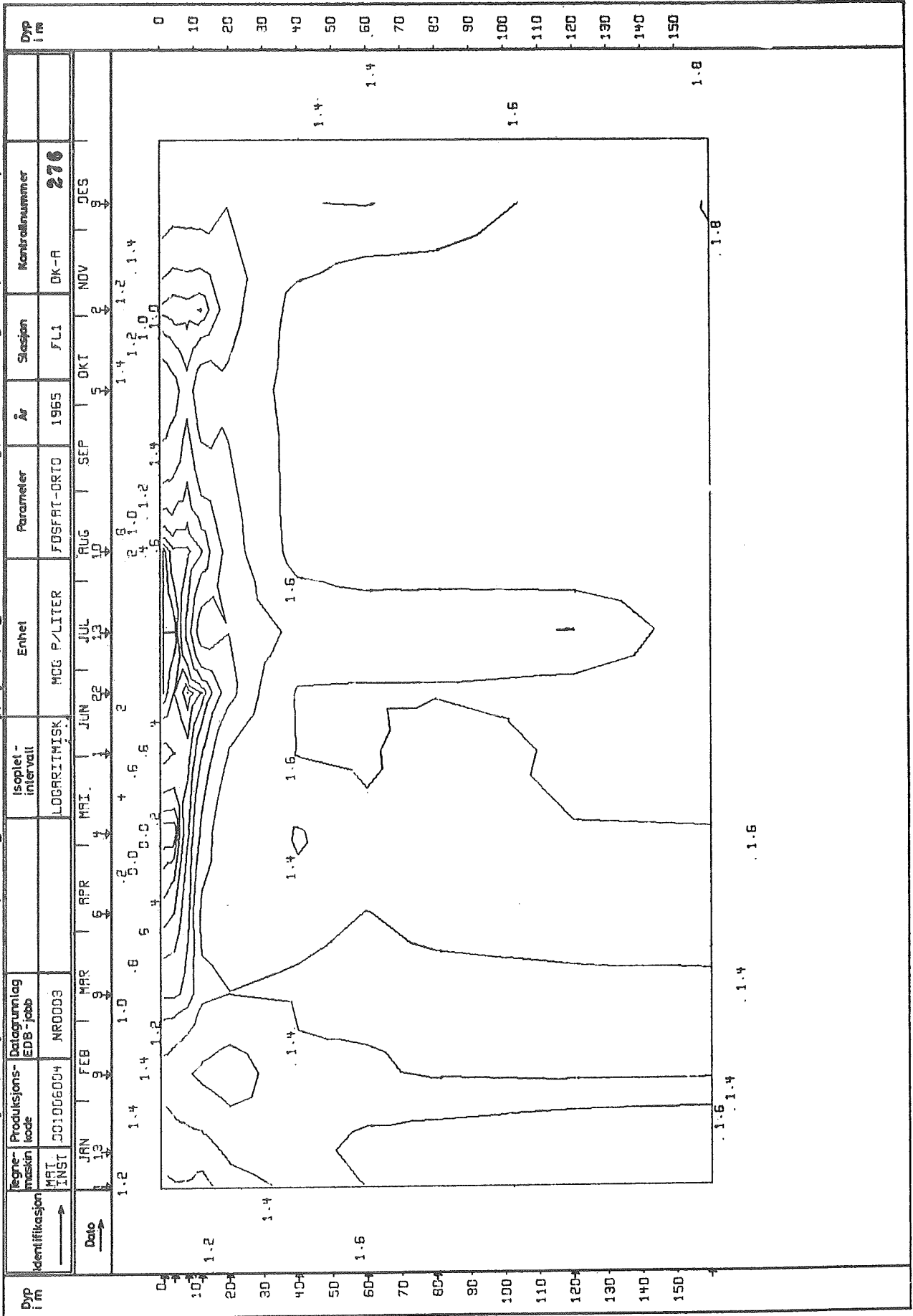
NIVA O - 201 Oslofjordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet." Type A: år og tid på enkeltstasjoner



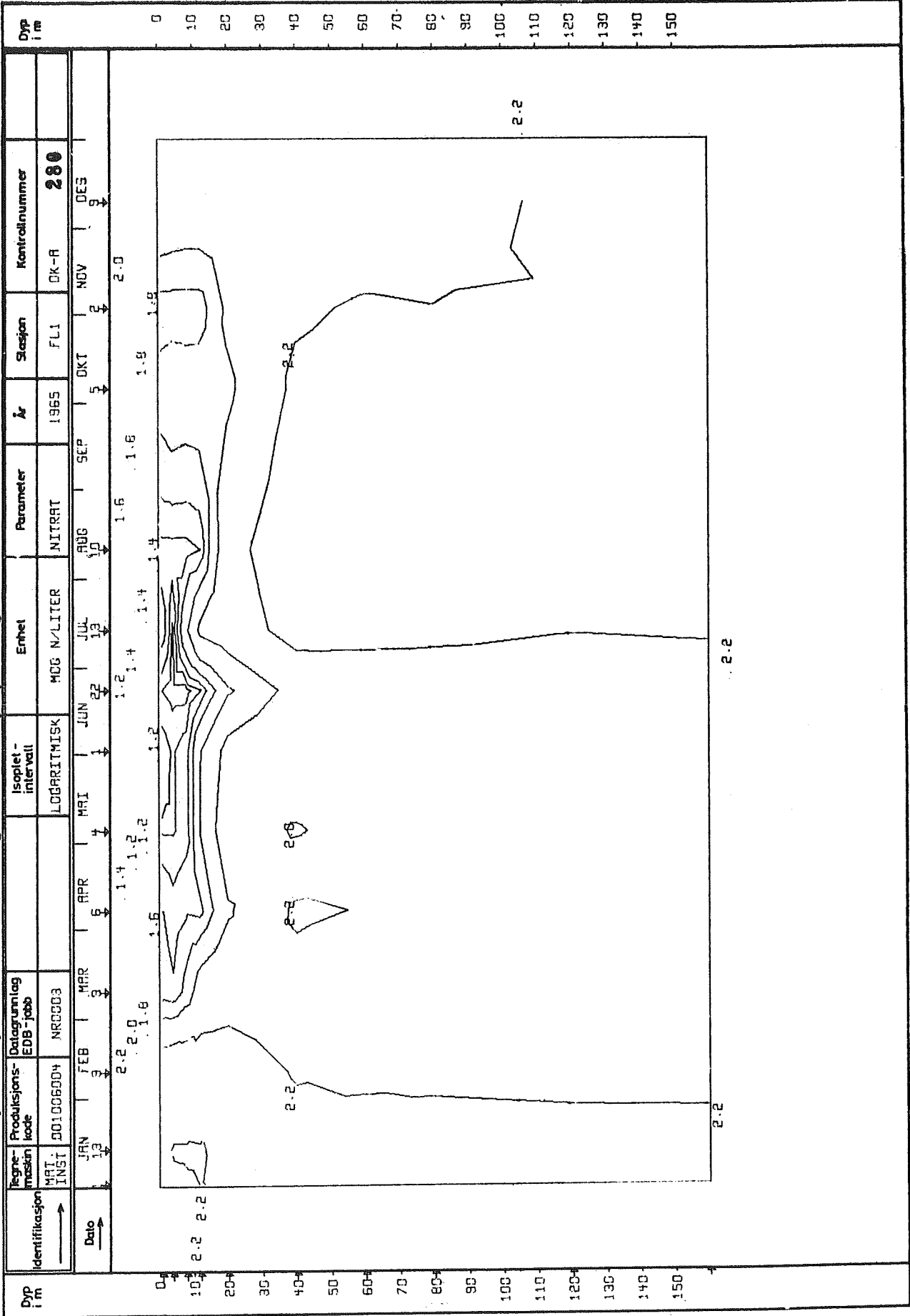
NIVA O-201 Oslojordprosjektet Isopletdiagram fra "dypkjemiprogrammet": Type A: år og tid på enkeltstasjoner



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



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



Bilag 2 METODE FOR BEREGNING AV REDUKSJONSFAKTOREN "r"

Grunnlaget for beregning av r var primært den interne saltligning basert på gradientsett a. For å få en kontroll av verdiene, ble imidlertid r-beregningene også utført med saltligninger basert på gradientmetodene b og c. r-verdiene ble beregnet for hvert år, hvert basseng og hver seksjon for seg.

Prinsippet er belyst med utgangspunkt i rapportens tabell 6, som viser saltligningen for Bunnefjorden 1964, gradientsett a. I vedlagte tabell 1 (som beskriver metoden) er den nevnte tabell inkorporert (innrammet med tykk strek).

Vedlagte tabell 2 angir primærresultatene av disse beregninger (r-verdiene for år, basseng, seksjon og gradientsett hver for seg) og dessuten de samme verdier trukket sammen til 4-års midler. De primære r-verdier viser betydelig spredning, men danner likevel et visst mønster:

De to dypvannsseksjoner IV (60-80 m) og V (80-120 m) viser stor spredning mellom de forskjellige år, men god parallellitet mellom de tre metoder. For seksjon VI(120 m-b) gjelder det samme, bortsett fra at metode b gir sterkt avvikende og urimelige verdier. (Dette siste resultat kan muligens henge sammen med at metode b under visse forhold har den egenskap at den gir dårlig kurvetilpasning i en datarekkes begge endepunkter, men dette forhold er ikke nærmere undersøkt). Seksjon III i mellomterskeldypet.(40-60 m) og den overliggende seksjon II (20-40 m) viser begge stor parallellitet. Den førstnevnte viser beskjedne spredning mellom årene med et tallnivå omtrent som seksjonen under, mens den sistnevnte viser større spredning og jevnt over høyere tall. (Ligningen er som tidligere nevnt egentlig ikke gyldig for de to sistnevnte seksjoner).

Tallene i de tre midtseksjoner III, IV og V er markert høyere de to første år enn de to siste.

Verdispredningen mellom de tre midterste seksjoner er liten; den midterste har noe høyere tall enn de to andre.

Verdiene for Vestfjorden er ikke vesentlig forskjellig fra den i Bunnefjorden.

Samlet viser denne tabell at diffusjonsleddet D , slik som vår materialbalanseligning er formulert, gir for høye verdier i alle seksjoner. Dette gjelder uansett hvilken av de tre gradientmetoder man bruker. Ved å innføre en fast midlere reduksjonsfaktor r i ligningen for D , kan man få ligningen til å gå noenlunde bra opp i alle seksjoner. Den optimale størrelse av r vil ligge et sted mellom 0,4 og 0,5. Verdien 0,5 ble valgt for å lette de videre beregninger, som alle måtte utføres for hånd.

Vedlagte tabell 3 viser et sammendrag av beregningsresultatene fra den interne ligning - beregnet uten reduksjonsfaktor. (Samme tabell beregnet med reduksjonsfaktor finnes som rapportens tabell 10).

Bilag 2 - tabell 1 BEREGNING AV REDUKSJONSFAKTOREN "r"

Seksjons- grense i meter -		-End- ring (-E)	Original			Korrigert		Ny "F"-verdi etter korrek- sjon av nedre, men ikke øvre, diffusjonsledd	Mellom- regning	Reduksjons- faktoren "r" =	Kontrollsum skal være = 0
			øvre diffu- sjon (D _ø)	nedre diffu- sjon (D _n)	frigjøring (+) eller forbruk (-) (F)	øvre diffu- sjon	nedre diffu- sjon				
øvre	nedre	a	b	c	d = -(a+b+c)	e=b·i	f=c·i	g = -(a+b+f)	h= $\frac{E}{b}$	i=(1 + $\frac{E}{b}$)	j = -(a+e+f)
	20			+740			+347				
20	40	+100	-740	+860	-220	-347	+247	-393	-0,531	+0,469	0,0
40	60	+190	-860	+315	+355	-247	+ 57	+613	-0,713	+0,287	0,0
60	80	+ 30	-315	+186	+ 99	- 57,0	+ 27,0	+258	-0,819	+0,181	0,0
80	120	+ 20	-186	+ 21,9	+144,1	- 27,0	+ 6,97	+159	-0,855	+0,145	0,0
120	bunn	+ 7	- 21,9	0	+ 14,9	- 6,97	0	+ 14,9	-0,682	+0,318	0,0

Beregningsformål og prinsipp:

For alle seksjoner er leddet F (kolonne d) forskjellig fra 0, mens det skulle ha vært = 0. Formålet er å finne korreksjonsfaktorer (r) for de to D-ledd (kolonne b og c) slik at F-leddet blir =0. Fordi det dermed er to ukjente i hver ligning (linje), er disse uløselige. Den mulighet foreligger imidlertid å løse nederste ligning først, fordi en av de ukjente der, $r(D_n)$, alltid må falle bort (fordi D_n der alltid skal være =0.). Den annen ukjente, $r(D_\phi)$, kan derfor bestemmes. Fordi D_n i en linje alltid = $-D_\phi$ i linjen under, har man dermed funnet den ukjente $r(D_n)$ i nest nederste linje. Dermed er også denne ligning løsbart, og man kan fortsette trinnvis oppover.

Beregningsforløpet:

1. (Nederste linje.) Kolonnene beregnes i rekkefølge g, h, i, e, j.
2. (Nest nederste linje.) f gis verdien fra e nedenfor med motsatt fortegn. Dernest beregningsrekkefølge som ovenfor.
3. Videre oppover beregnes linjene analogt med nest nederste linje.

Bilag 2 - tabell 2 DE BEREGNEDE "r"-VERDIER FOR PARAMETEREN SALT

Gradient- sett	Basseng	År	Årsverdier i seksjon					4-års-midler i seksjon				
			II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120m-b	II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120 m-b
a	Bunne- fjorden	1962	1,446	0,400	0,865	0,725	0,476	1,280	0,395	0,519	0,447	0,302
		1963	0,990	0,517	0,659	0,701	0,495					
		1964	0,469	0,287	0,181	0,145	0,318					
		1965	2,107	0,375	0,371	0,217	-0,084					
b	"	1962	1,259	0,517	0,872	0,699	0,891	1,095	0,506	0,547	0,430	-1,495
		1963	0,870	0,649	0,732	0,672	-6,3					
		1964	0,411	0,372	0,166	0,144	-0,42					
		1965	1,850	0,483	0,419	0,211	-0,15					
c	"	1962	1,129	0,400	0,865	0,619	0,530	0,997	0,395	0,520	0,373	0,350
		1963	0,796	0,517	0,662	0,573	0,625					
		1964	0,374	0,287	0,182	0,114	0,338					
		1965	1,689	0,375	0,371	0,186	-0,091					
a	S/m Vest- fjorden	1962	0,539	0,179	0,111	0,126	0,126	0,747	0,281	0,3201	0,570	0,541
		1963	0,278	0,011	0,045	0,027	-0,092					
		1964	0,559	0,369	0,516	0,877	0,856					
		1965	1,552	0,566	0,609	1,250	1,274					

HMK/bri - mai 1966/august 1968.

Bilag 2 - tabell 3 SAMMENDRAG AV BEREGNINGSRISULTATENE FRA DEN INTERNE LIGNING - BEREGNET UTEN REDUKSJONSFAKTOR 1) 2)

Para- meter 3)	Bunnefjorden (stasjon Dp 98)												S/m Vestfjorden (stasjon Fl 1)											
	Enkeltseksjon						Summerte seksjoner						Enkeltseksjon						Summerte seksjoner					
	II	III	IV	V	VI		II-VI	III-VI	IV-VI	V-VI	VI		II	III	IV	V	VI	II-VI	III-VI	IV-VI	V-VI	VI		
E = økning (+)	20-40	40-60	60-80	80-120	120-b		20-b	40-b	60-b	80-b		20-40	40-60	60-80	80-120	120-b	20-b	40-b	60-b	80-b		20-b	40-b	
eller minskning (-)	m	m	m	m	m		m	m	m	m		m	m	m	m	m	m	m	m	m		m	m	
i seksjonen																								
Ort-P	+16,9	+33,7	+29,3	+41,1	+16,2		+137	+120	+86,6	+57,3		+8,9	+88,2	+66,1	+59,0	+5,0	+227	+218	+130	+64,0		+227	+218	
NO ₃ -N	+254	+137	+68,8	+61,8	+12,2		+533	+280	+142,9	+74,1		+423	+271	+228	+229	+24,7	+1175	+752	+481	+253		+1175	+752	
Oks.	-6770	-4570	-2600	-1960	-326		-16244	-9469	-4891	-2286		-5960	-11260	-9400	-8420	-910	-35960	-29990	-18730	-9330		-35960	-29990	
D _n - D _ø = netto	+26,6	-15,3	+6,5	-15,7	-20,3		-18,1	-44,8	-29,5	-36,0		+25,1	-136,3	+22,8	-3,0	+7,5	-83,8	-109	+27,3	+4,5		-83,8	-109	
tilgang (+) eller	NO ₃ -N	-11,2	+38,2	-2,8	-23,1		-64,1	-52,9	+12,3	-25,9		+48,0	-466	+56,1	+42,8	+3,1	-316	-364	+102	+45,9		-316	-364	
avgang (-) ved	Oks.	-440	+1060	+270	+820		+2100	+2540	+1480	+1210		+4450	+12420	-4510	-3200	-160	+9000	+4550	-7870	-3360		+9000	+4550	
diffusjon til og	fra seksjonen																							
F = frigjøring (+)	Ort-P	-9,7	+49,0	+22,8	+56,8		+155	+165	+116	+93,3		-16,2	+225	+43,3	+62,0	-2,5	+311	+327	+103	+59,5		+311	+327	
eller forbruk (-)	NO ₃ -N	+265	+202	+31	+65		+597	+333	+131	+100		+375	+737	+172	+186	+22	+1491	+1116	+379	+207		+1491	+1116	
i seksjonen	Oks.	-6330	-5630	-2870	-2350		-18300	-12010	-6370	-3500		-10400	-23700	-4900	-5200	-800	-45000	-34500	-10800	-5900		-45000	-34500	

1) Tabellen angir middelverdier som representerer årstiden vår - sommer - høst gjennom 2 eller 4 år (årene 1964 - 1965 for NO₃-N, årene 1962 - 1965 for Ort-P og Oks.).

2) Beregningene er basert på: Data fra EDB-utskriftene NR 0023/8 og 9.

Gradientmetode a (lineær)
Diffusjonskoeffisienter fra delrapport 2 - uten reduksjonsfaktor

3) Ort-P = ortofosfat angitt som kg P/døgn
NO₃-N = nitrat " " kg N/døgn
Oks. = oksygen " " kg O₂/døgn

4) Diffusjonstallene for de enkelte seksjonsskilleflater kan leses ut fra disse linjer under kolonnene "summerte seksjoner", idet jo D_n-verdiene for bunnen alltid = 0.

Bilag 3 HJELPETABELLER TIL RAPPORTENS AVSNITT "KRITISK VURDERING AV DEN INTERNE LIGNINGS RESULTATER"

Bilag 3 tabell 1. EKVIVALENTFORHOLDET MELLOM DE VIKTIGSTE KJEMISKE KOMPONENTER SOM INNGÅR I FORRÅTNELSES-PROSESSEN FOR ORGANISK STOFF I SJØVANN

Sjøens oksygen-situasjon ↓	Kjemiske elementer og komponenter (angitt i ekvivalenter) som inngår i forråtnelsesprosessen ¹⁾																
	fra det organiske stoff					fra sjøens eget forråd av O ₂ , HNO ₃ eller SO ₄ ²⁻				som sluttprodukter og tilføres sjøen i form av							
	C	H	O	N	P	H	O	N	S	CO ₂	H ₂ O, H ₃ PO ₄ , NH ₃ og/eller HNO ₃	CO ₂ , H ₂ O, H ₃ PO ₄ og event. HNO ₃	HNO ₃	N ₂ (gass)	NH ₃	S	H ₃ PO ₄
Tilstrekkelig oksygen (O ₂) er tilstede i oppløst form	106	263	110	16	1	-	276	-	-	106	263	386	16	-	-	-	1
Oksygenet er oppbrukt, og sjøens forråd av nitrat (i form av salpetersyre HNO ₃) brukes som oksygenkilde. To alternative tallrekker er vist - man vet ikke sikkert hvilken av dem som er den riktige. ²⁾	106	263	110	16	1	84,8	254,4	84,8	-	106	347,8	364,4	-	84,4	16	-	1
	106	263	110	16	1	94,4	283,2	94,4	-	106	357,4	393,2	-	110,4	-	-	1
Både oksygenet og nitraten er oppbrukt, og sjøens forråd av sulfatjoner (SO ₄ ²⁻) brukes som oksygenkilde.	106	263	110	16	1	-	212	-	53	106	263	322	-	-	16	53	1

¹⁾ Elementenes atomsymboler og navn

C = karbon
H = hydrogen
O = oksygen
N = nitrogen
S = svovel
P = fosfor

Komponentenes symboler og navn

CO₂ = kullsyre (gass - lite oppløselig i vann)
H₂O = vann
O₂ = oksygen i gassform (noe oppløselig i vann)
NO₃⁻ = nitrat - i likevekt med salpetersyre (HNO₃) i vann
N₂ = nitrogen i gassform. Lite oppløselig i vann
NH₃ = ammonium. Gass. Lett oppløselig i vann.
SO₄²⁻ = sulfatjon - i likevekt med svovelsyre i vann
S = svovel. Uoppløselig i vann
PO₄³⁻ = ortofosfat - i likevekt med fosforsyre H₃PO₄ i vann

Organisk stoff er sammensatt omtrent slik: (CH₂O)₁₀₆ (NH₃)₁₆ H₃PO₄, men inneholder også andre kjemiske elementer i mindre mengder.

²⁾ Muligens kan begge prosessveier eksistere, men slik at det kjemiske miljø er bestemmende for om den ene, den andre eller begge samtidig er aktive.

Bilag 3 - tabell 2. EKVIVALENT- OG VEKTFORHOLD MELLOM EN DEL KJEMISKE ELEMENTER SOM INNGÅR I FOR-
RÅTNELSESPROSESSEN FOR ORGANISK STOFF I SJØVANN (BASERT PÅ BILAGETS TABELL 1).

Forholdet	Sjøens oksygen- situasjon	Kjemiske elementer og komponenter som inngår i forråtnelsesprosessen									
		fra det organiske materiale			fra sjøens eget forråd av O_2 , HNO_3 eller SO_4		som sluttprodukter og tilføres sjøen i form av				
		O	N	P	O	N	CO ₂ , H ₂ O H ₃ PO ₄ og event. HNO ₃	HNO ₃	N ₂	NH ₃	H ₃ PO ₄
beregnet som ekvi- va- lenter (hentet fra tabell 1)	Oksygen (O ₂) tilstede (friskt vann)	110	16	1	276	-	386	16	-	-	1
	Oksygen mang- ler - nitrat (HNO ₃) er oksygenkilde 2 alternativer	110	16	1	254,4	84,8	364,4	-	84,8	16	1
		110	16	1	283,2	94,4	393,2	-	110,4	-	1
	Oksygen og nitrat mangler -sulfatjonet (SO ₄ ⁻⁻⁻) er oksygenkilde	110	16	1	212	-	322	-	-	16	1
omregnet til vekt- forhold (mengde P satt = 1) 1)	Oksygen (O ₂) tilstede (friskt vann)	56,8	7,2	1	142	-	199	7,2	-	-	1
	Oksygen mang- ler - nitrat (HNO ₃) er oksygenkilde 2 alternativer	56,8	7,2	1	132	38,3	189	-	38,1	7,2	1
		56,8	7,2	1	146	42,7	203	-	49,8	-	1
	Oksygen og nitrat mang- ler - sulfat- jonet (SO ₄ ⁻⁻⁻) er oksygen- kilde	56,8	7,2	1	109	-	166	-	-	7,2	1

1) Elementenes ekvivalentvekter er: O = 16, N = 14, P = 31

Bilag 4 FEILENE I "E"-VERDISETTET PÅ GRUNN AV UNØYAKTIG "Q"-FORMEL
OG DERES BETYDNING

Som omtalt i rapportens avsnitt 2.51 var det ved en misforståelse blitt anvendt en unøyaktig formel ved beregning av materialbalansens Q-ledd. Feilen ble oppdaget for sent til at det var mulig innenfor tidsrammen å gjennomføre en ny materialbalanseberegning på det korrekte grunnlag. En skjønsmessig vurdering, viste imidlertid at feilen ikke var så stor at den ville få betydning for materialbalansens hovedkonklusjoner.

For å kontrollere denne skjønsmessige vurdering er de korrekte Q-verdier senere beregnet, og på grunnlag av dem de korrekte "E"-verdier bestemt.

I tabellen nedenfor er de "benyttede" E-verdier stilt sammen med de senere beregnede "korrekte"verdier. Hvert av tallene er middeltall for alle observasjonsår. Enheten er kg/døgn for alle parametre.

Parameter	Basseng	Formel	S E K S J O N				
			II 20-40 m	III 40-60 m	IV 60-80 m	V 80-120 m	VI 120m-b
Orto- fosfat	Bunne- fjorden	Benyttet	16,9	33,7	29,3	41,1	16,2 ^x
		Korrekt	16,3	33,6	29,5	39,6	12,0
	S/m Vest- fjorden	Benyttet	8,9 ^{xxx}	88,2	66,1	59,0	5,0
		Korrekt	3,0	90,5	65,4	58,3	5,2
Ni- trat	Bunne- fjorden	Benyttet	253	137	68,8	61,9	12,2
		Korrekt	253	140	68,0	64,9	12,6
	S/m Vest- fjorden	Benyttet	423	271	228	229	24,7 ^x
		Korrekt	420	272	218	228	21,8
Oksy- gen	Bunne- fjorden	Benyttet	-6780	-4580	-2610	-1960	- 326 ^{xxx}
		Korrekt	-6580	-4610	-2630	-2010	- 630
	S/m Vest- fjorden	Benyttet	-5970	-11260	-9400	-8400	- 910 ^x
		Korrekt	-6110	-11170	-9250	-8230	- 790
Salt	Bunne- fjorden	Benyttet	-2701	-1121	- 285	- 138 ^x	- 25,2
		Korrekt	-2782	-1140	- 274	- 123	- 25,5
	S/m Vest- fjorden	Benyttet	-7051	-1554	-1104	- 867	- 82,3 ^x
		Korrekt	-7293	-1546	-1119	- 879	-103,0

Tabellen viser at feilen stort sett varierer i området 0-10 rel % feil. Om man tenker seg tallverdiene i figuren 13, 14 og 15 korrigert med \pm 10 rel %, og deretter diskusjoner i rapportens kapitel 6 gjennomført

på dette nye grunnlag, vil man finne at de konklusjoner som er trukket, ikke er influert av feilene.

I fem tilfeller viser tabellen feil i området 10 - 25 rel %. (Disse er merket med x i tabellen). Hvis man tar for seg hv er av disse og studerer dens effekter, finner man at heller ikke de har noen innflytelse på de trukne konklusjoner.

I to tilfeller - merket xx - er feilen større enn 25 rel %. Den ene av dem - oksygen Bunnefjorden seksjon VI - blir sterkt redusert ved sammen-
slagning med Vestfjorden, som har en motsatt rettet feil. Den annen -
ortofosfat S/m Vestfjorden 0 - 20 m - får den lille og uvesentlige effekt
at F-verdien i fig. 13 endres fra $+0,3 + U_2$ til $\approx -0,2 + U_2$.

Bilag 5 FORSØK PÅ Å ANSLÅ DE UKJENTE LEDD B (SEDIMENTASJON) OG U (IKKE-DIFFUSIV UTSKIFTNING) I DEN TOTALE BALANSE

Generelt

I der totale materialbalanseoppstilling for indre fjord (vist i rapportens fig. 12) er alle B-leddene og U-leddene for seksjonene II og III ukjente størrelser, idet det foreliggende observasjonsmateriale ikke slik som for de andre parametre gir noen mulighet for å beregne dem.

Å kjenne disse ledd ville være meget verdifullt, både ut fra vitenskapelige og praktiske interesser. På basis av observasjoner som det lar seg gjøre å fremskaffe kan man få fastlagt deres omtrentlige størrelser. B-leddet vil i denne forbindelse kreve spesielle sedimentundersøkelser, og U-leddet nærmere studier av mellomskiktets, sprangskiktets og overflatelagets hydrodynamiske forhold.

For å få en slags idé om de to ledds størrelsesorden er det som et eksperiment her forsøkt å anslå dem ut fra foreliggende informasjon. De resultater dette har ført til, synes i og for seg rimelige, men det grunnlag de bygger på er for svakt til at de kan tillegges noen praktisk verdi.

B-leddene

Et stoffs sedimentasjonshastighet på et bunnareal gjennom de siste år kan i prinsippet beregnes om man kjenner det øverste sedimentlags konsentrasjon av dette stoff og dessuten den generelle sedimentasjonshastighet på arealet gjennom de siste år.

Det foreligger forløpig intet grunnlag for noen egentlig beregning av denne art for indre Oslofjord. Noen spredte informasjon finnes dog som kan tjene som basis for meget grove anslag.

Beyer (Delrapport 6) har anslått den generelle sedimentasjonshastighet (d.v.s. økning av sedimentlagets tykkelse) til ca. 1 mm pr. år - d.v.s. ca. $3 \cdot 10^{-6}$ m pr. døgn.

En skotsk Ph.student (Doff 1968) har foretatt noen få stikkprøveanalyser av P- og N-innholdet i sedimentpropper fra Oslofjorden. På

basis av hans analyser har vi grovt anslått midlere konsentrasjoner i det øverste 5 cm tykke sedimentlag i indre fjord til $1,3 \cdot 10^{-3}$ kg P/kg tørrstoff og $3,5 \cdot 10^{-3}$ kg N/kg tørrstoff.

Norges Geotekniske Institutt (Moum 1962) har på vår anmodning foretatt noen stikkprøveanalyser av organisk C-innhold i noen sedimentpropper i Oslofjorden. På basis av disse analyser har vi grovt anslått midlere konsentrasjon i det øverste 5 cm tykke sedimentlag til $19 \cdot 10^{-3}$ kg C/kg tørrstoff.

Det 5 cm tykke øverste sedimentlags midlere tørrstoffinnhold kan på grunnlag av foreliggende analyser grovt anslås til å ligge på ca. 30% - og vanninnholdet dermed på ca. 70%.

Sedimentets spesifikke vekt kan anslås på grunnlag av vanninnholdet til ca. 1240 kg/m^3 - idet tørrstoff-fasens spesifikke vekt (i henhold til Norges Geotekniske Institutt) kan settes til 2,75.

Indre fjords horisontalareal er ca. $2 \cdot 10^8 \cdot \text{m}^2$

Det presiseres at alle disse anslag (unntatt det siste) er meget grove, idet de bygger på analyser i et fåtall sedimentprøver hentet fra forskjellige steder i fjorden. Vi har ingen sikkerhet for at disse få steder representerer indre fjord på beste måte.

På dette grunnlag er mengde sedimentert tørrstoff/døgn i indre fjord beregnet slik:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Bunnareal} & \approx 2 \cdot 10^8 \text{ m}^2 \\
 \text{Sedimentasjonshastighet} & \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\
 \text{Sedimentasjonsvolum} & \approx 2 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \approx 6 \cdot 10^2 \text{ m}^3 / \text{døgn} \\
 \text{Sedimentets sp.vekt} & \approx 1240 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Sedimentasjonsvekt totalt} & \approx 6 \cdot 10^2 \cdot 1240 \approx 7,5 \cdot 10^5 \text{ kg/døgn} \\
 \text{Tørrstoffandel i sediment} & \approx 30 \text{ kg/100 kg} \\
 \text{Sedimenta-} & \text{sjonsvekt} \\
 \text{vekt av tørrstoff} & \approx 7,5 \cdot 10^5 \cdot \frac{30}{100} \approx \underline{\underline{2,3 \cdot 10^5 \text{ kg/døgn}}}
 \end{array}$$

og dernest sedimenteringshastigheten for de tre parametre P, N og C.

$$\begin{array}{llll}
 \text{For P} & 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} & 2,3 \cdot 10^5 & \approx 3,0 \cdot 10^2 \text{ kg/døgn} \\
 \text{For N} & 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} & 2,3 \cdot 10^5 & \approx 8,0 \cdot 10^2 \text{ " } \\
 \text{For org.C} & 19 \cdot 10^{-3} \text{ kg} & 2,3 \cdot 10^5 & \approx 44 \cdot 10^2 \text{ " }
 \end{array}$$

Verdiene av organisk C kan - på basis av tabell 1 i bilag 3 - omregnes til org. OF-verdi:

$$\text{For OF} \quad 44 \cdot 10^2 \cdot \frac{276 \cdot 16}{106 \cdot 12} \approx 1,5 \cdot 10^4 \text{ kg OF/døgn.}$$

Tilslutt er disse resultater omregnet til prosentverdier av tilført P, N og OF slik at de er direkte sammenlignbare med tallene i figurene 13, 14 og 15. (Tallene for tilført P, N og OF er hentet fra rapportens tabell 16).

$$\text{For P} \quad B = \frac{3,0 \cdot 10^2}{1640} \cdot 100 \approx 18\%$$

$$\text{For N} \quad B = \frac{8,0 \cdot 10^2}{9600} \cdot 100 \approx 8\%$$

$$\text{For OF} \quad B = \frac{1,5 \cdot 10^4}{68700} \cdot 100 \approx 22\%$$

Leddene U_{II} og U_{III}

Noen noenlunde pålitelig metode for beregning av leddene U_{II} og U_{III} i fig. 13, 14 og 15 foreligger ikke, på grunnlag av det forefinnende observasjonsmateriale. En mer detaljert gjennomgåelse av allerede benyttet observasjonsmateriale fra fjorden kunne muligens avsløre visse lovmessigheter med hensyn til utskiftningsforholdene i seksjonene II og III - og dermed gi holdepunkter for anslag av størrelsene U_{II} og U_{III} . En annen mulighet er antydnet i kapitel 5. Ingen av disse angrepsmåter er foreløpig forsøkt.

En tredje og enklere mulighet er derimot prøvet. Den bygger på følgende betraktninger (kfr. fig. 13, 14 og 15):

1. Det er all grunn til å tro at den i figuren viste verdi F_{II} på 0,3% er meget for liten til å representere den samlede frigjøring i seksjonen. Dette innebærer at det ikke diffusive ledd U_{II} må antas å være stort.
2. U_{III} -verdien antas å være liten i forhold til U_{II} -verdien og settes forsøksvis lik 0. For de dypere seksjoner, hvor U verdiene må antas å være meget små, viser F verdiene - beregnet som spesifikke tall - å være nokså jevnstore. (Kfr. rapportens tabell 12). Det er ikke et helt urimelig utgangspunkt for et

eksperiment å anta at den spesifikke "F + U-verdi" for seksjon II er av omtrent den samme størrelsesorden som midlet av de spesifikke F-verdier nedenfor. Med denne antagelse som utgangspunkt er en forsøksberegning foretatt, idet summen av " $F_{II} + U_{II}$ ", beregnet som spesifikt tall, alternativt er gitt samme verdi som middeltallet av de spesifikke F-tall for seksjonene III, IV og V, det dobbelte av denne verdi og halvparten av denne verdi.

3. På denne basis kan tre alternative sett av " $U_{II} + F_{II}$ "-verdier beregnes, og de korresponderende U_{II} -verdier kan da tilslutt beregnes ved subtraksjon av F_{II} -verdien lik 0,3.

En beregning etter dette opplegg er for parameteren P vist i bilagets tabell 1. Resultatet var følgende:

Hvis den spesifikke frigjøring av P i seksjon II antas lik midlere spesifikke frigjøring i seksjonene II, III, IV og V ganger de respektive faktorer 1, 2, $\frac{1}{2}$, blir verdien av leddet U_{II} henholdsvis 17,34 og 8% av tilført total P.

Tilsvarende beregninger for parametrene N og OF vil ha mindre interesse, fordi vi ikke kjenner omfanget av nitrat- og sulfatjone-utnyttelsene som oksygenkilder.

Bilag 5 - tabell 1 FORSØKSBEREGNING AV LEDDET U_{II} FOR PARAMETEREN P

Seksjon		III m	IV m	V m	
		40-60	60-80	80-120	
Beregnet F-verdi i kg/døgn (fra tabell 15)		a	222	84	105
Seksjonenes volumer i $m^3 \cdot 10^6$ fra tabell		b	1628	990	799
Spesifikk F-verdi beregnet i $kg \cdot 10^{-9}/døgn \cdot m^3 (=a:b)$		c	136	85	131
Alt 1	Midlere spesifikk F-verdi i $kg \cdot 10^{-9}/døgn \cdot m^3$ for seksjonene III, IV og V	d	117		
Alt 2	Det dobbelte av denne verdi ($=d \cdot 2$)	e	234		
Alt 3	Halvparten av denne verdi ($=d \cdot \frac{1}{2}$)	f	58,5		
Seksjon II's volum i $m^3 \cdot 10^6$		g	2388		
Beregnet (U+F)-verdi for seksjon II i kg/døgn for alternativ	1 ($=d \cdot g$)	h	279		
	2 ($=e \cdot g$)	i	559		
	3 ($=f \cdot g$)	j	140		
Korresponderende T-verdi i kg/døgn (fra tabell 16)		k	1640		
Beregnet (U+F)-verdi for seksjon II som % av T for alternativ	1 ($=h : k$)	l	17		
	2 ($=i : k$)	m	34		
	3 ($=j : k$)	n	8,5		
Beregnet U-verdi for seksjon II som % av T (ved fradrag av F_{II} verdien = 0,3) for alternativ	1 ($=l - 0,3$)	o	16,7		
	2 ($=m - 0,3$)	p	33,7		
	3 ($=n - 0,3$)	q	8,2		