

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 12

ELDRE KJEMISKE UNDERSØKELSER

av

Ernst Føyn

Institutt for Marin Biologi avd. C,
Universitetet i Oslo

OSLOFJORDPROSJEKTET
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
BLINDERN

Redaksjonen avsluttet januar 1962

FORORD

Hensikten med denne rapport er å presentere det viktigste av det kjemiske observasjonsmateriale fra Oslofjorden som i perioden 1946 - 61 er innsamlet ved Institutt for Marin Biologi, og å gi de konklusjoner vi har kunnet trekke av dette materiale, slik at det kan komme til nytte ved de videre undersøkelser av fjorden som nå etter oppdrag av Oslo og Bærum kommuner skal utføres av NIVA.

Det viste seg etterhvert at de forhold som skulle undersøkes i Oslofjorden ofte var så forskjellige fra det som ellers studeres i oseanografien at de vanlige brukte metoder ikke strakk til og at det ble nødvendig å utvikle spesiell metodikk og apparatur.

Disse metoder og apparater er beskrevet i egne publikasjoner og vil derfor bare kort bli omtalt i kapitlet om metodikk og apparatur. Instituttets forskningsfartøy Gunnar Knudsen ble benyttet til feltarbeidet.

Undersøkelsene har nytt godt av årlig bidrag av Borgestad legat, uten hvis hjelp de ikke hadde kunnet gjennomføres.

Nansenfondet og Fiskeribedriftenes forskningsfond har ydet økonomisk støtte til enkelte spesialundersøkelser.

Fra Woods Hole oseanografiske institutt har vi hele tiden hatt til utlån 2 bathythermographer til temperatur-registrering.

Oslo i desember 1962.

Ernst Føyn.

	Side:
FORORD	2
1. INNLEDNING	5
2. METEOROLOGI OG TOPOGRAFI	5
3. APPARATUR OG METODIKK	8
4. HYDROGRAFISKE UNDERSØKELSER	11
5. UNDERSØKELSER OVER AMMONIUM, NITRIT OG NITRAT NITROGEN PÅ ST. B I TIDEN OKTOBER 1949 TIL JANUAR 1951	14
6. KONTINUERLIG REGISTRERING AV TETTHET OG OPPLØST OKSYGEN I OSLOFJORDEN	18

T A B E L L E R:

1. Data fra perioden juli 1946 - oktober 1947. (Temperatur, salinitet, oksygen og ortofosfat).	29
2. Data fra årene 1948 - 1951. (Temperatur, salinitet og oksygen).	33
3. Gjennomsnittsverdier for dypene 0-10, 10-40 og 40-100 meter bygget på oksygenregistreringer på forskjellige stasjoner i årene fra 1954-1961.	36
4. Variasjon med tiden av oksygenmiddelverdien mellom H i 40-100 meter dyp. st.S og	37

F I G U R F O R T E G N E L S E:

1. Kart over indre og midtre Oslofjord.
2. Bunnprofil av Oslofjorden
3. Sammenligning av hydrazin- og sinkmetoden.
4. Variasjoner i oksygenkonsentrasjonen på indre og ytre stasjon i tiden juni 1946 - august 1947.
5. Næringssaltdata fra Bunnefjorden (stasjon B) i tiden september 1949 - januar 1951.
- 6.
7. Eksempel på densi- og oksygrammer fra Oslofjorden 1954-1955.
8. Oksygenregistreringer på stasjon S (Steilene)
9. Sprangsjiktets struktur belyst ved oksygenregistreringer ca. hver 3. time. Målt på stasjon L (Lysaker).

1. INNLEDNING

Oslofjorden er den viktigste, mest omstridte og best utforskede fjord i Norge.

Vitenskapelige undersøkelser som bygger på biologisk materiale hentet i fjorden er beskrevet i tallrike publikasjoner, den første av O.Fr. Müller allerede i 1776. Fra forrige århundre kjenner vi en rekke arbeider blant annet av Michael og G. O. Sars. Etter århundreskiftet ble arbeidet med å studere fjorden og dens dyre- og planteliv fortsatt av forskere som Johan Hjort, H.H. Gran og Hjalmar Broch. I de senere år har studiet av fjorden vesentlig vært knyttet til Den biologiske stasjon i Drøbak og til Universitetets institutter for marin biologi. Professor Braarud og hans medarbeidere og elever har utført en rekke undersøkelser over de botaniske forhold i Oslofjorden, mens professor Ruud og hans institutt har studert fjordens marine zoologi og dens kjemiske oseanografi.

Sammen utførte forøvrig Braarud og Ruud allerede i 1934 den første store helårsundersøkelse av fjordens hydrografi. Slike undersøkelser er så senere blitt gjentatt, først av de marinbiologiske institutter i 1946 og 1947 og så for året 1959 av Herman Gade, som da var assistent ved Oseanografisk institutt hos professor Fjeldstad.

I tillegg til disse helårsundersøkelser har vi hvert år etter krigen, både sommer og vinter, foretatt hydrografiske tokter i fjorden, dels som ledd i andre forskningsprogrammer, dels som øvelsestokter for våre studenter, slik at vi på denne måte har kunnet holde oppsikt med fjorden og forholdene der.

2. METEOROLOGI OG TOPOGRAFI

De meteorologiske forhold i Oslofjordområdet og fjordens topografi er beskrevet i detalj i mange publikasjoner, således av Braarud og Ruud (1937), av Braarud (1945) og av Sundene (1953), og behøver derfor ikke omtales særlig inngående.

Fig. 1 er et kart over indre Oslofjord, og fig. 2 viser bunnprofilen i et snitt fra Drøbak til Bunnefjorden langs de dypeste partier av

Fig.1 Kart over indre og midtre Oslofjord

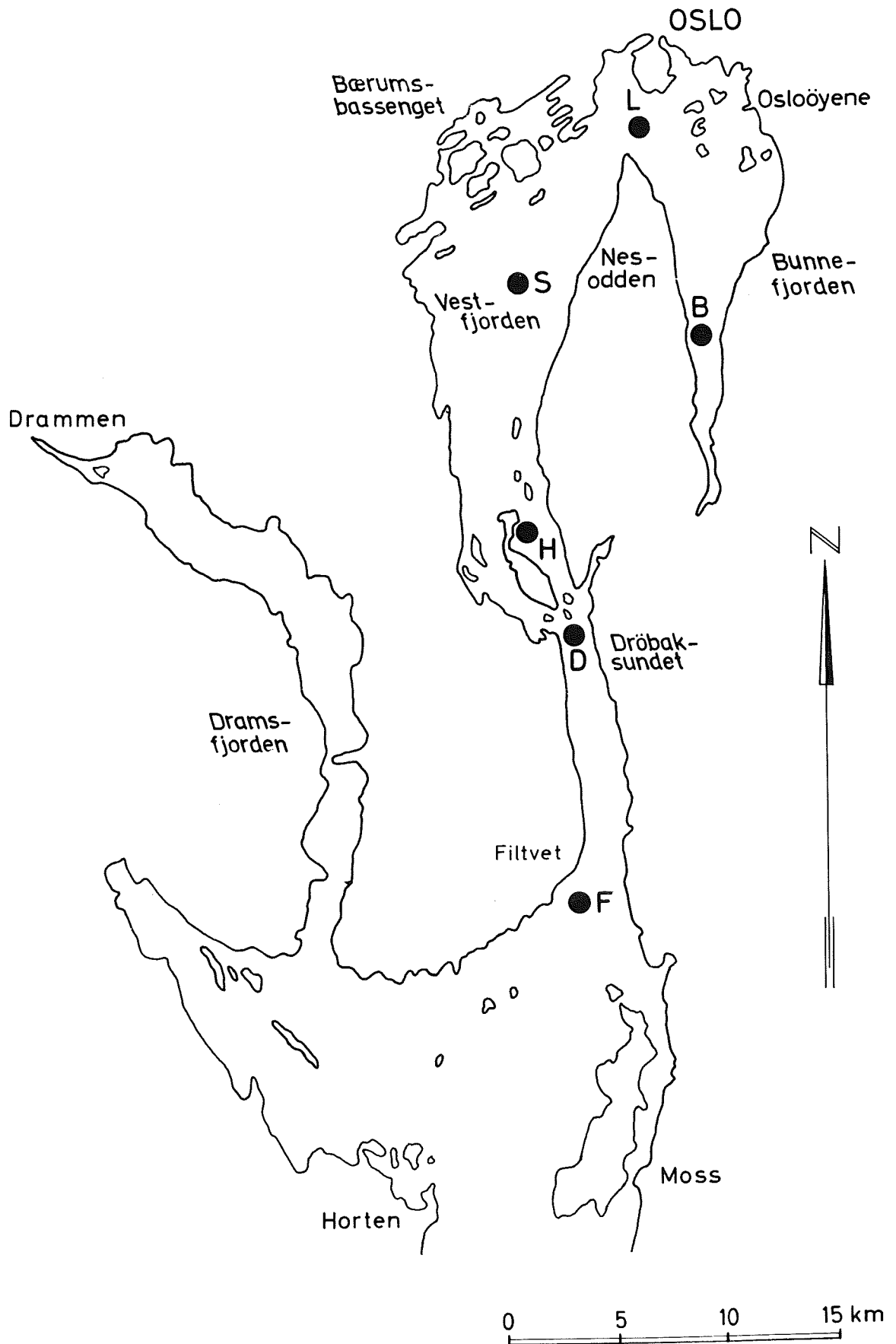
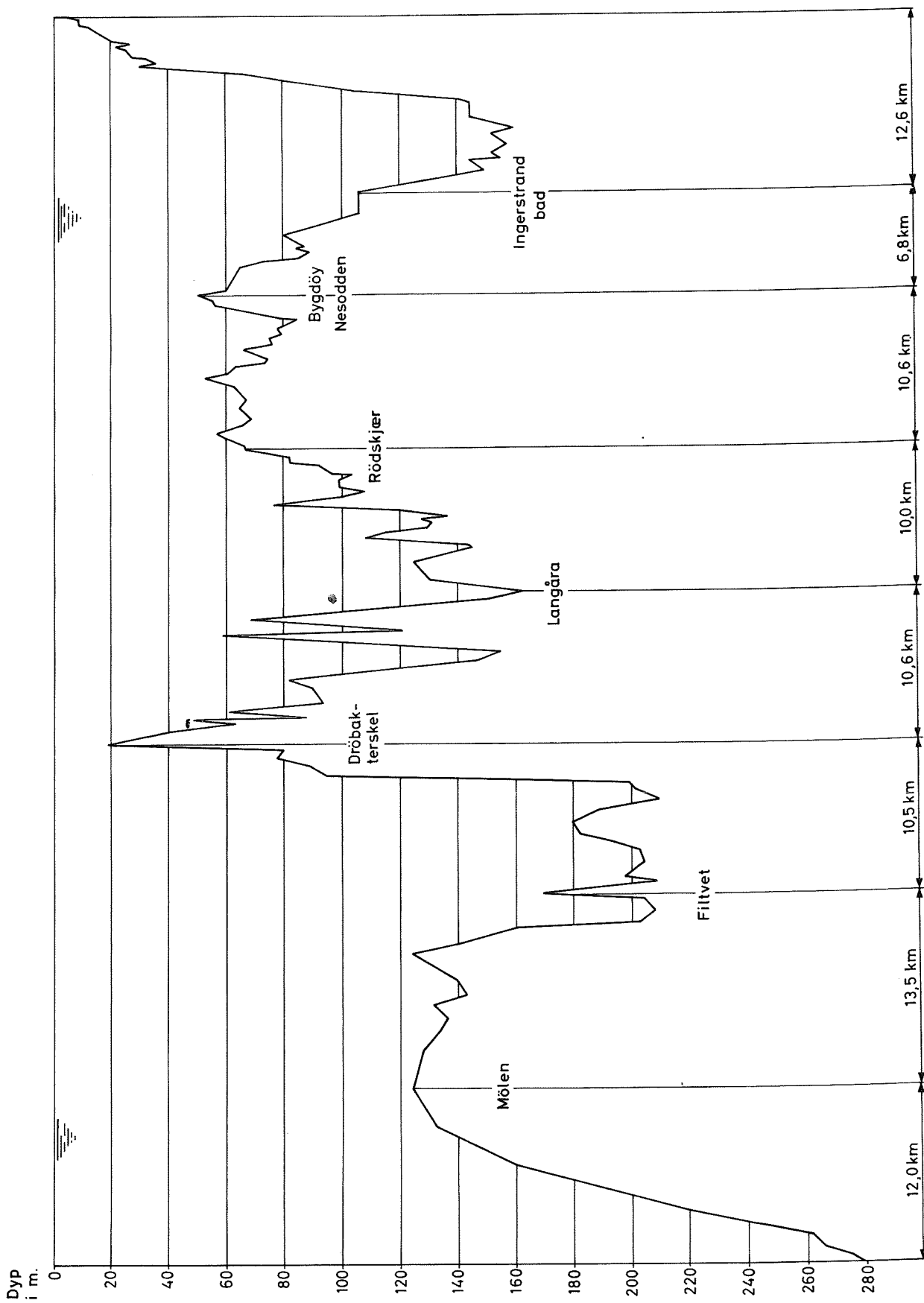


Fig. 2 Bunnprofil av Oslofjorden.



fjorden. Det kan bare pekes på at terskelen ved Drøbak og terskelen mellom Nesodden og Bygdøy er av stor betydning for fjordens hydrografi.

Avrenningen til indre Oslofjord er liten og er i gjennomsnitt beregnet til ca. 25 m^3 pr sek., derav utgjør kloakk og avfallsvann nesten $1/5$ del. Tidevannsforskjellen er i gjennomsnitt ca. 30 cm, men fordi vindretningen i fjorden fortrinnsvis er mot nord eller sør, kan vanntransporten med vinden spille en stor rolle. Særlig vind kan føre til oppstuvning av vannmassene og høyvann inne i fjorden, og det er her av betydning at to av Norges største elver, Glomma og Dramselva, har sitt utløp i fjordens ytre del. Særlig i sommerhalvåret da særlig vind er fremherskende, vil saltfattig vann fra overflatelagene i ytre fjord blåses inn i de indre partier og der bygge opp et overflatelag av brakkvann.

3. APPARATUR OG METODIKK

Til undersøkelsene ble det benyttet vanlige Nansen-vannhentere med vendetermometre og de to bathythermographer som var stilt til disposisjon fra Woods Hole Oceanographic Institution.

Vannprøver ble til å begynne med tatt i de samme dyp som var valgt ved tidligere undersøkelser. Senere ble prøvene supplert med eller erstattet av vannprøver fra dyp som ble valgt på grunnlag av opplysninger fra registrerende målinger som ble foretatt. Saltholdighetsanalyser ble utført etter standardmetodene ved titrering med sølvnitrat og bruk av standard sjøvann som sammenligningsvæske. På grunn av de store vekslinger i saltholdighet var det ikke praktisk å benytte den foreskrevne Knudsenbyrette, og titreringene ble utført med vanlig laboratoriestyr.

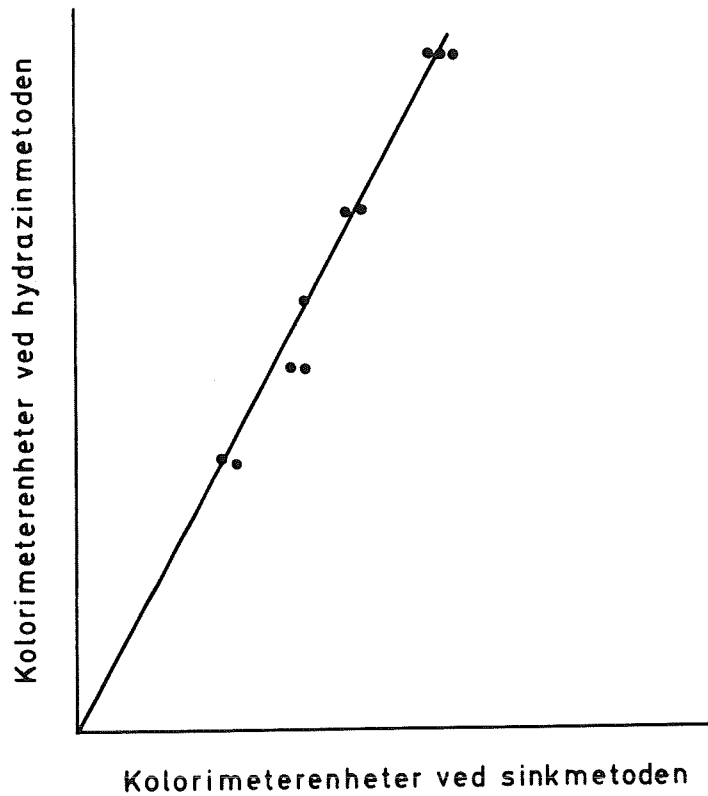
Oksygenbestemmelsene ble på alle vannprøver utført etter Winklers metode slik den er beskrevet for sjøvannsanalyser av Gaarder (1916). Da det var reist tvil om denne analysemetodikkens nøyaktighet ved bruk i sterkt forurenset vann, ble det utført en mindre spesialundersøkelse for å bringe dette forhold på det rene. Oksygeninnholdet i vannprøver fra forskjellige steder av fjorden ble bestemt både ved Winklers metodikk og ved en gassanalytisk metode hvor det oppløste oksygen i vannprøven ble trukket ut ved undertrykk og derpå analysert. Bortsett fra vannprøver tatt direkte i kloakkutløp viste resultater oppnådd med de to

metoder så god overensstemmelse at Winkler-metoden ble besluttet brukt uforandret.

Fosfor og nitrogen-forbindelsen ble bestemt kolorimetrisk. Som kolorimeter ble benyttet et apparat beskrevet av Braarud og Klem (1931) og modifisert av Klem. Senere ble et Hilgerabsorbsjometer anskaffet til de målingene som kunne foretas på laboratoriet, mens Braarud og Klems apparat viste seg utmerket egnet til feltbruk. Både fosfat-fosfor og nitrit-nitrogen ble bestemt kolorimetrisk, slik disse er angitt av Czerny (1943). De oppnådde resultater for nitrit analyser er bearbeidet og beskrevet i en tidligere publikasjon av Braarud og Føyn (1951) og vil ikke bli referert her. Analysen av ammoniumnitrogen hadde da disse undersøkelser ble utført, gitt spesielle vanskeligheter. En metode foreslått av Wattenberg syntes å by de største fordeler, men Braarud og Klem (1931) som benyttet metoden i sine undersøkelser på Møre, hadde en del uheldige erfaringer fordi vannprøvene av og til ble grumset av utfelt hydroksyd. Forholdene ble studert ved laboratorieforsøk, og det lyktes å finne en modifisert fremgangsmåte hvorved hydroksydbufelling ble unngått. Føyn (1950).

Bestemmelsen av nitratnitrogen i sjøvann ble da disse undersøkelser ble foretatt, utelukkende utført ved en kolorimetrisk metode med stryknidinsulfat, slik den er beskrevet av Harvey (1945). Vanskeligheter med fremstilling av reagenset og det forhold at metodikken ikke egnet seg til bruk i prøver med organiske forurensninger gjorde det påkrevet å forsøke og finne en mere egnet analysemetode. En ny metode ble utviklet der en bestemt prosentvis del av nitratinnholdet ved reduksjon med granulert sink ble overført til nitrit og målt i denne form. Metoden er beskrevet av Føyn (1951). Denne fremgangsmåte med å overføre nitrat til nitrit ved delvis reduksjon ble senere adoptert av Mullin og Riley (1955) som isteden for sink benyttet hydrazin sulfat som reduksjonsmiddel. Bortsett fra at dette reagens gir et større utbytte og derfor er mer følsom ved analyser av vann med lavt nitratinnhold, byr metoden ikke de samme fordeler som sinkmetoden når denne først er innarbeidet. For kontroll er begge metoder sammenlignet, ved analyser av samme vannprøver. De oppnådde kolorimeterverdiene er oppført i diagrammet på neste side.

Fig.3 Sammenligning av hydrazin-og sinkmetoden



Den gode overensstemmelse mellom parallellene og det forhold at punktene ligger meget tett opp til en rett linje viser at metodene hva resultatene angår, er likeverdige og sammenlignelige.

To nye apparater ble etterhånden utviklet ved Institutt for Marin Biologi. Det ene som måler vannets spesifikke vekt etterhvert som det senkes nedover i sjøen er kalt Densigraphen og er beskrevet av Føyn (1953) Det andre er et oksygenregistrerende apparat, Oksy-metret, (Føyn, 1955). Disse to apparater ble tatt i bruk ved den senere del av undersøkelsene.

4. HYDROGRAFISKE UNDERSØKELSER

I perioden juli 1946 til oktober 1947 ble det gjennomført 10 hydrografiske tokter i fjorden. Det ble samlet prøver bl.a. på de tre stasjoner som er avmerket på kartet som St. B, St. S og St. H, tilsvarende de stasjoner som i de hydrografiske undersøkelser av Braarud og Ruud 1933 - 34 er kalt St. Bunnefjorden, St. Steilene og St. Håøya.

Vannprøvene ble analysert dels ombord, dels på laboratoriet og resultatene er ført opp i tabell 1. I tabell 2 er det ført opp resultater fra prøver innsamlet i 1948 - 51 i forbindelse med andre undersøkelser.

Resultatene gir i hovedtrekkene det samme bilde av de hydrografiske forhold som ble funnet av Braarud og Ruud ved undersøkelsen i 1934.

Inne i fjorden består vannmassene størstedelen av året av et overflate-lag og et dypvannslag. I overgangsskiktet øker saltholdigheten og dermed den spesifikke vekt raskt. Dette vannlaget er derfor meget stabilt, mens overflatelaget og dypvannslaget, er karakterisert ved langt mere homogene tetthetsforhold, og derfor består av mere ustabile vannmasser.

I det øverste vannlag er det tildels store variasjoner i saltholdigheten gjennom året. Mens vannet i 0 og 5 meters dyp kan ha en saltholdighet i sommerhalvåret på under 20 ‰, finner vi i vinterhalvåret verdier helt opp til 30 ‰. I de fleste dyp ble det under alle tokter observert en reduksjon av oksygeninnholdet fra ytre til indre stasjon. Det er høye oksygenkonsentrasjoner i overflaten, men oksygeninnholdet minker raskt nedover i dypet. Ofte fantes et minimum i mellomsnittet og økning mot bunnen. De målte variasjoner i overflatelagets oksygen og også fosfatverdier som fremgår av tabell 1 må sikkert ses i sammenheng med vekslingene i fjordens plantevekst til forskjellige årstider. I den lyse periode av året skjer det en fotosyntetisk produksjon av organisk stoff. Carbon, nitrogen og fosfor bygges inn i de levende celler og oksygen frigjøres. Omløpstiden er imidlertid kort. Organismene dør og synker mot bunnen, mens de hele tiden utsettes for biokjemiske nedbrytningsprosesser, hvorved bl.a. fosfat blir frigjort og oksygen forbrukt. Derfor øker fosfatinnholdet mot bunnen, mens oksygeninnholdet avtar. Den plutselige økning i oksygeninnholdet og reduksjon i fosfatinnhold som ble funnet i dyplagene på St. B i mars 1947, kan bare forklares ved at det er skjedd innstrømming av vann utenfra og således en utskiftning

av vannmassene i dette dyp. Allerede Hjort og Gran hadde pekt på at utskiftningen av vannmasser i dypvannslagene bare kan finne sted når den hydrografiske situasjon utenfor Drøbakerskelen er slik at det kommer vann over terskelhøyden som er tyngre enn vannet i dyppartiene inne i fjorden. Da vil det tunge vannet utenfra strømme inn over Drøbakerskelen, synke til bunns og gradvis fortrenge vannet i bunnlaget.

Det er imidlertid klart at innstrømning også kan foregå i andre dyp, og mer alminnelig kan det derfor sies slik: når det over terskeldypet utenfor Drøbak finnes vann med større tetthet enn vannet i tilsvarende dyp innenfor, vil vann utenfra strømme inn over terskelen, synke ned til det dyp der det passer etter sin spesifikke vekt og fortrenge vannmassene der. Disse blir da løftet opp og det blir en utstrømning av vann i et høyere-liggende vannlag. Under denne prosessen vil det naturlig skje en delvis oppblanding av det innstrømmende vann med det vannet det strømmer igjennom. Derfor vil virkningen avta innover i fjorden og nedover i dypet.

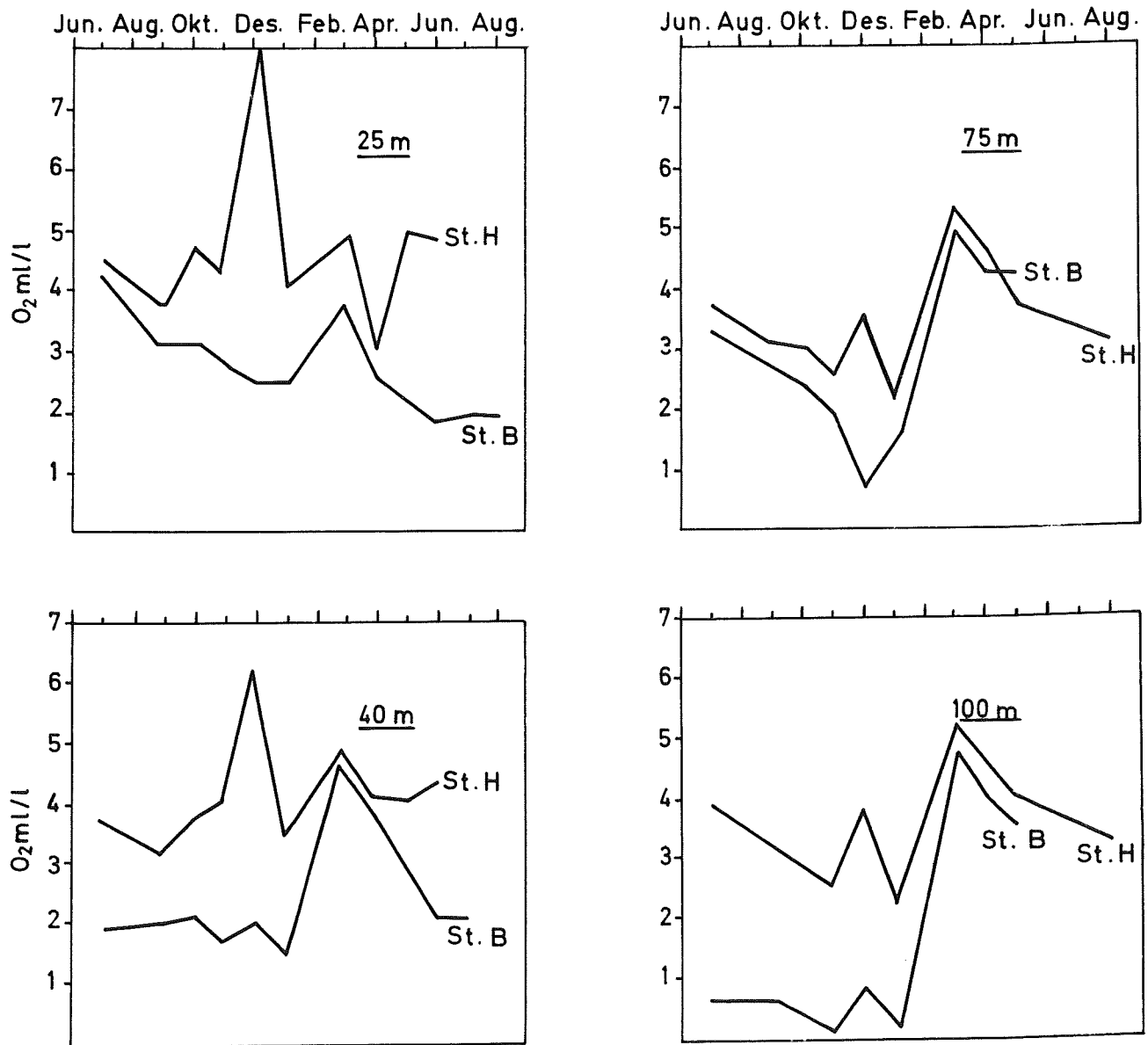
Utskiftningsprosessen foregår som regel i to faser. Først en fortykning av vannet i det aktuelle dyp med lettere vann som tilblandes ved turbulent diffusjon ovenfra. Dernest en innstrømning av vann utenfra.

Da det er forskjellen i vannets spesifikke vekt som er den fysikalske årsak til innstrømningen, kan prosessen følges ved å studere variasjonene i σ_t , men i mange tilfeller er det variasjonene i oksygeninnholdet som gir de mest synlige utslag.

I fig. 4 er oksygenkonsentrasjonene fra tabell 1 på den ytre stasjon, St. H, og den indre stasjon, St. B, tegnet opp i årsdiagram for 25, 40, 75 og 100 meters dyp. Vannet utenfor Drøbakerskelen står i fri forbindelse med de store vannmasser i ytre Oslofjord og Skagerak og har derfor alltid et forholdsvis høyt innhold av oksygen. Innenfor terskelen er det på grunn av forurensningen fra Oslo by et oksygenforbrukende miljø. Vann som strømmer inn og som ikke tilføres oksygen på annen måte, vil derfor litt etter litt miste sitt oksygeninnhold. Dette gjelder spesielt forholdene i de dypere vannlag.

I perioder da kurvene på fig. 4 synker, er mengden av innstrømmende vann ikke stor nok til å ekvivalere oksygenforbruket. Er kurvene vannrette opphever virkningene hverandre, mens innstrømninger vil vise seg ved

Fig.4 Variasjoner i oksygenkonsentrasjonen på indre og ytre stasjon i tiden juni 1946 - august 1947
Angitt for 4 dyp



Indre stasjon: B (Bunnefjorden)
Ytre stasjon: H (Håöya)
Kurvene er basert på tabell 1

stigning av kurveforløpet.

Diagrammet viser at innstrømningen som regel gjør seg sterkest gjeldende i den ytre del av fjorden og at den foregår hyppigere i de øvre vannlag enn dypere ned. Det er imidlertid klart at innstrømningene er avhengig av de meteorologiske forhold og derfor sikkert varierer fra år til år.

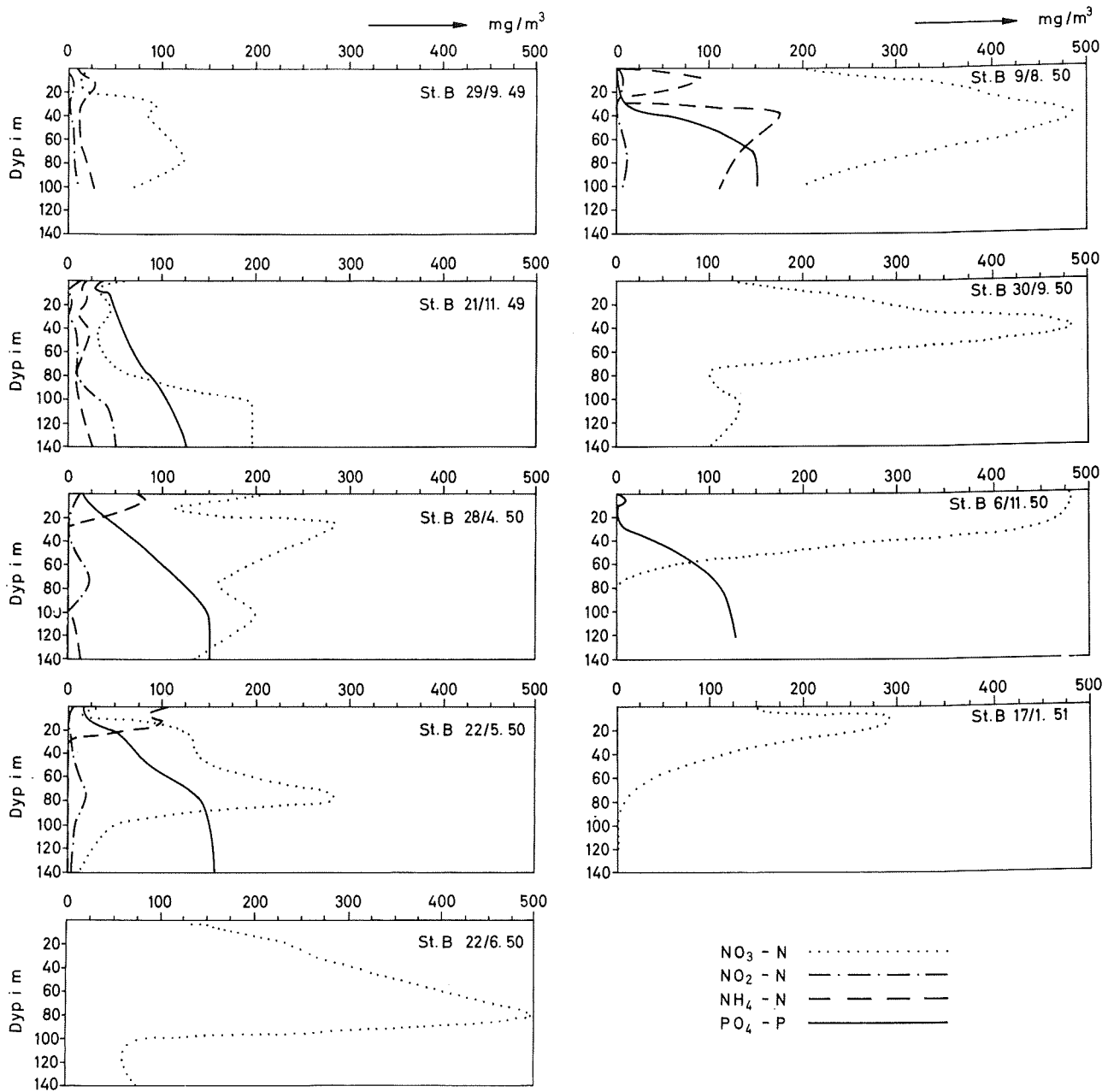
5. UNDERSØKELSER OVER AMMONIUM, NITRIT OG NITRAT NITROGEN PÅ ST. B I TIDEN OKTOBER 1949 TIL JANUAR 1951.

Fosfor og nitrogen er grunnstoffer som er nødvendige for oppbygging av den levende celle, og vannets innhold av fosfor og nitrogenforbindelsen er derfor av de faktorer som er med å regulere de biologiske forhold i en vannmasse.

I undersøkelsene utført i 1946 - 47 ble det foruten de vanlige analyser av saltholdighet og oksygen også foretatt bestemmelser av vannets innhold av oppløst uorganisk fosfat-fosfor og nitrit-nitrogen. Fosfatverdiene er gjengitt i tabell 1 mens nitritverdiene er behandlet i en egen publikasjon av Braarud og Føyn (1951). Når det dengang ikke ble foretatt analyser av vannets innhold av nitratnitrogen og ammonium-nitrogen, skyldtes det som nevnt at den analysemetodikk som fantes ikke var tilfredsstillende under de forhold som skulle studeres. Etter at det hadde lyktes oss å utarbeide egnede analysemetoder såvel for ammonium som nitratnitrogen ble det satt i en ny undersøkelse på St. B for også å få et bilde av de øvrige nitrogenforbindelsers forhold. Denne ble gjennomført i tiden september 1949 til januar 1951. Det ble tatt vannprøver på samme sted og i de samme dyp som tidligere. Vannets innhold av oksygen, fosfat fosfor, nitrat, nitrit og ammoniumnitrogen ble bestemt. Resultatene er angitt i fig. 5 i form av diagrammer.

De tilsvarende verdier for temperatur, saltholdighet og oksygen finnes i tabell 2.

Fig.5 Næringsaltdata fra Bunnefjorden (stasjon B) i tiden september 1949 - januar 1951



Gjennom hele perioden er mengden av nitrit-nitrogen liten i forhold til totalmengden av nitrogenforbindelser, slik at nitritmengden kvantitativt spiller liten rolle.

Den største konsentrasjon av ammonium-nitrogen ble som regel funnet i overflatelaget, men diagrammene viser at mengden avtok raskt med dypet, nådde et minimum allerede i 10 meters dyp for så igjen å øke mot bunnen. Bare på stasjonen 9/8 ble det nedover i dypet funnet nevneverdige mengder av ammonium-nitrogen. I de øverste vannlag viste variasjonene i ammonium-nitrogenmengden oftest et tilnærmet inverst forhold til variasjonen i nitratnitrogen. Dette er særlig godt illustrert i diagrammet 21/11 1949.

Stort sett er det konsentrasjonene av nitratnitrogen som dominerer nesten i alle dyp og over hele perioden. Diagrammene viser at nitratmengden i de forskjellige dyp varierer sterkt med tiden. I tiden fra 3/5 til 22/6 skjedde det således en rask økning av nitratmengden i 75 meterdypet, til en maksimumsverdi på over $500 \text{ mg NO}_3 - \text{N/m}^3$. Av diagrammene for 9/8 og 1/11 ser det imidlertid ut som om dette maksimum blir forskjøvet først til 40 meters dypet i august, og derfra videre til overflatelaget i november. Dette forhold kunne vært forklart ved at det var strømmet vann inn som gradvis hadde løftet det nitratrike vannet fra 75 meter opp mot overflaten. En slik forskyvning skulle imidlertid også vises på en tilsvarende forskyvning av fosfatverdiene. Da dette ikke ble funnet, er denne forklaring lite sannsynlig. Variasjonene i nitratinnholdet kan da søkes forklart ved at det suksessivt er produsert nitrat i enkelte dyp ved oksydasjon av nitrogenholdig organisk materiale samtidig som nitratmengden i tidligere nitratrikt vann er redusert. Det var da å vente at reduksjonen i nitratmengden skulle følges av en tilsvarende økning i mengden av ammonium-nitrogen. Når slik økning ikke ble funnet, kan det bare forklares ved at nitrat-nitrogenet er redusert til forbindelser som ikke er registrert f.eks. at det har reagert videre til molekylært nitrogen.

Fra et biologisk synspunkt er en slik forklaring lite sannsynlig, men prosessen kan foregå og har i de senere år bl.a. funnet anvendelse i kloakkrenseteknikken. I fjorden vil en slik prosess føre til en økning i mengden av fritt nitrogen i de forskjellige dyp, idet en overføring av en mengde på $500 \text{ mg NO}_3 - \text{N/m}^3$ til molekylært nitrogen måtte gi en

økning på $\frac{0,500 \cdot 22,4}{28} = 0,4$ ml oppløst nitrogengass pr.liter vann.

Denne mengde nitrogen er vanskelig å bestemme analytisk fordi den kommer som tilskudd til mengden av nitrogengass som normalt finnes oppløst i vannet. Først ved en massespektrometrisk analysemetode som bestemmer nitrogen/argon og nitrogenisotopforholdet, og er utarbeidet av Benson og Parker (1961) var det mulig å få et mål for den tilførte nitrogen-gass. Det lyktes senere å få utført slike analyser i Oslofjordvann, men fordi Bunnefjorden med St. B er utsatt for uregelmessige fornyelser av vannmassene ble Dramsfjord, som er en annen gren av Oslofjorden med mer stagnerende vannmasser, valgt til undersøkelsen. Resultatene er publisert av Richards og Benson (1961) i en avhandling om nitrogenforholdene i Cariaco Trench i Det karibiske hav og i Dramsfjord i Norge, og gir for Dramsfjord verdier for biologisk nitrogen på mellom 0,25 - 0,5 ml/l, altså nettopp av størrelsesorden som det måtte være dannet i Bunnefjord.

Selve prosessen med den oksydative oppbygging av nitratmengder i vannet og reduksjonen til molekylært kvelstoff eller videre til ammonium er prosesser som må ses i sammenheng med vannets innhold av oppløst oksygen. Det er bemerkelsesverdig at dannelsen av nitrat ble funnet i 75 meterdypet i mai og juni til tross for at oksygenkonsentrasjonen 22. mai var så lav som 0,6 ml /l. Den oksygenmengde som er bundet i $500 \text{ mg NO}_3^- \text{ N/m}^3$ tilsvarer 1,2 ml oksygen-gass pr. liter vann, og dette er bare en del av den mengde oksygen som må være forbrukt under dannelsen av nitratmengden. Det fikserte oksygen utgjør således en betydelig del av den mengde oksygen som kan ha blitt tilført med de da innstrømmende vannmasser.

På den annen side er nitratbunden oksygen en lettere tilgjengelig oksygenkilde for mikroorganismer enn f.eks. oksygenet i et sulfatmolekyl. Derfor vil vann som er på overgangen til anaerobe tilstander miste sitt nitratinnhold først. Nitratmengden er derfor en oksygenreserve av betydning for de oksydasjonsprosesser som kan nyttiggjøre seg den. De raske og store vekslinger i konsentrasjonen av nitrogenforbindelser som er påvist i denne undersøkelse, viser at nitrogenforbindelser med forskjellige oksydasjonstrinn kan spille en betydelig rolle i en vannmasses oksygenhusholdning.

6. KONTINUERLIG REGISTRERING AV TETHET OG OPPLØST OKSYGEN I OSLO-FJORDEN.

Under de studier som tidligere ble utført i Oslofjorden, ble vannets spesifikke vekt eller tetthet beregnet på grunnlag av saltholdighetsanalyser og den målte temperatur i de respektive dyp. Temperaturen ble også registrert med en bathythermograph som ga et kontinuerlig bilde av temperaturvariasjonene nedover i dypet. Det viste seg at bathythermogrammene ofte ga et langt mer variert bilde av temperaturfordelingene nedover i dypet enn de kurver som kunne oppnås ved termometeravlesninger under prøvetaking i fastlagte dyp. Dette tydet på at tetthetsvariasjoner kunne være slik at de vanskelig ville finnes ved den vanlige fremgangsmåte. Målingen ble derfor utført med det nye apparat som var utviklet ved laboratoriet, Densigraphen (Føyn 1953). Det måler tettheten når det senkes ned gjennom sjøen. I Densigraphen blir utslagene som måler vannets tetthet avbildet kontinuerlig på en fotografisk plate. Platen beveges av vanntrykket etterhvert som apparatet senkes. Fotografisk er det aktuelle tetthetsdiagram. I det apparat som ble benyttet ved de første undersøkelser, svarte en centimeter på diagrammet til ca. 3 enheter i σ_t . På grunn av måten den fotografiske platen ble beveget på, ble dybden ikke linjer, men variasjonen var på en bestemt måte avhengig av dypet.

I fig. 6 er det gjengitt densigrammer fra stasjoner utenfor og en innenfor terskelen ved Drøbak 2/9 - 1954.

Densigrammene viser at det både utenfor og innenfor terskelen eksisterer et markert skille i vannmassene med et lett overflate-lag og et tyngre bunnvann. Tykkelsen av overflatelaget øker innover i fjorden.

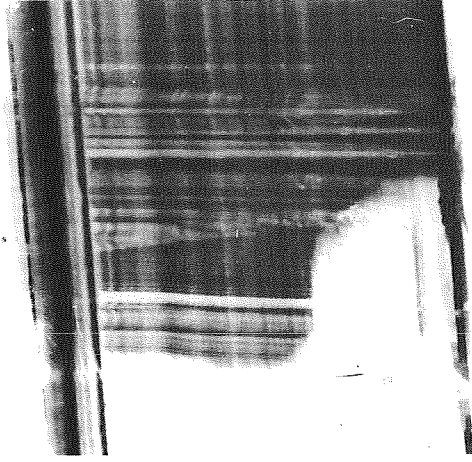
Grensen mellom lagene var ved den gjengitte situasjon så skarp at det er naturlig å betrakte overflatelaget og dypvannslaget som to helt adskilte vannmasser.

I overgangsskiktet mellom disse vannmassene er tetthetsvariasjonene med dypet av størrelsesorden flere enheter σ_t pr. meter. I dette skikt som ofte kalles sprangskiktet er stabiliteten av vannet særdeles høy og dette bidrar til å opprettholde forskjellen mellom overflatelaget og dypvannslaget.

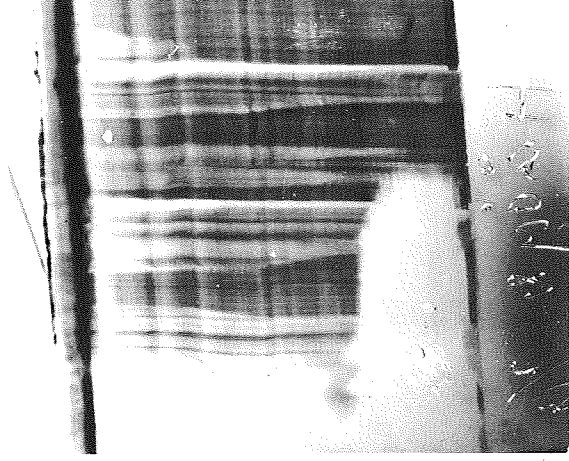
Fig. 6. Fotografisk gjengivelse av densigraf-registreringer utført den 2. sept. 1954.



Stasjon F (Filtvet)



Stasjon D (Drøbak)



Stasjon H (Håøya)

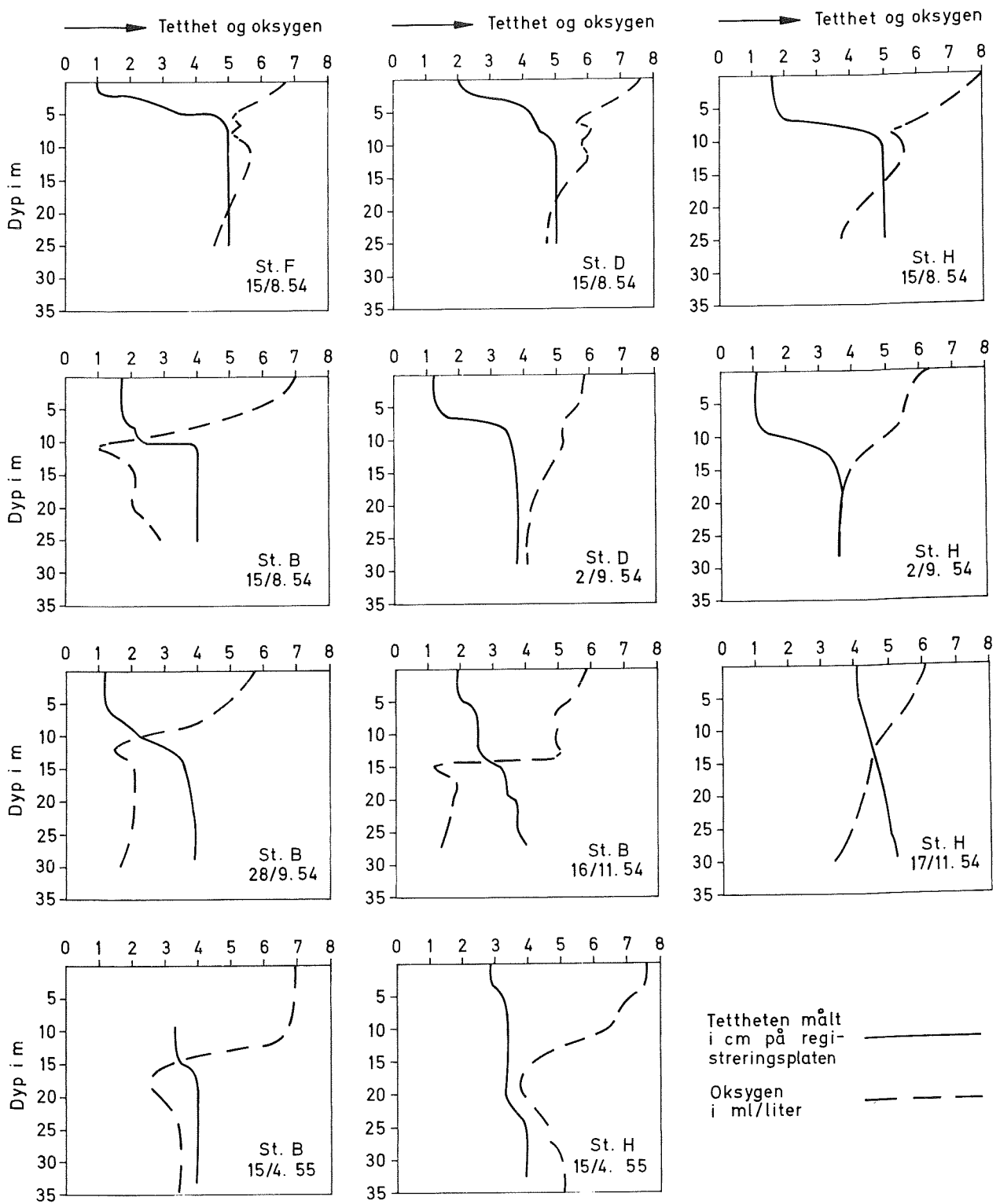
Det er sannsynlig at et utpreget overflatelag, når det opptrer, må få betydning såvel for fjordens hydrografiske som biologiske reaksjoner. Det er i overflatelaget at gassutveksling og temperaturpåvirkningene fra atmosfæren kan gjøre seg gjeldende. Det er også i dette laget at det vesentlige av planteproduksjonen finner sted og at utspeingen av det kloakkvann som kommer fra byen foregår. Virkningen på de underliggende vannmasser må deretter skje gjennom sprangskiktet, hvor den naturlig blir avdempet i styrke. De store tetthetsvariasjoner i sprangskiktet må også virke på oksygenforholdene nedover i dypet.

Året 1954 - 55 ble det utført endel tokter i Oslofjorden. Vannets variasjon i spesifikk vekt ble bestemt med densigrafen og oksygeninnhold med oksymetret som var blitt utviklet ved instituttet samme år (Føyn, 1955). Resultatene fra endel tokter er tegnet opp i diagramform i fig. 7. For densigrammenes vedkommende er dybdeskalaen overført til normal målestokk og tetthetsvariasjonene er gitt direkte ved de verdier som er utmålt i millimeter på densigramplaten. Oksygenverdiene er angitt i milliliter oksygen-gass pr. liter vann.

I hovedtrekkene gir densigrammene det samme bilde av forholdene inne i fjorden som er beskrevet tidligere. I sommerhalvåret består vannmassene av et overflatelag og et dypvannslag, med en utpreget forskjell i de to vannlags spesifikke vekt. Utover høsten avtar denne forskjellen for så å etableres igjen neste år. Densigrammene viser som før at overgangen mellom overflatelag og dypvannslag i sommerhalvåret er langt skarpere enn tidligere antatt, med en økning av tettheten i dette lag som ofte svarer til en økning av σ_t på flere enheter pr. meter.

Diagrammene viser at det er en sammenheng mellom variasjonene i oksygenkonsentrasjonene og tetthetsvariasjonene nedover i dypet. Forandring i tetthetskurven synes alltid å følges av et utslag i oksygenkurven, og det kan trekkes denne konklusjon: Når forholdene er slik som de er i Oslofjorden med oksygenrikt og salt vann som trenger inn i et område hvor vannet er mindre salt og hvor det foregår forbruk av oksygen, vil variasjoner av oksygeninnholdet nedover i dypet som regel indikere forskjeller i vannlagenes tetthet. Hvert vendepunkt av oksygenkurven viser overgangen til et annet vannlag med andre egenskaper og sannsynligvis annen opprinnelse eller påvirkning. Dette er et forhold som det må tas hensyn til ved fremtidige hydrografiske og biologiske undersøkelser i fjorden.

Fig.7 Densigrammer og oksygenregistreringer fra Oslofjorden 1954-1955



Siden 1955 er det foretatt hyppige registreringer av oksygen på forskjellige stasjoner i Oslofjorden i den hensikt å ha et øye med fjordens oksygenforhold. En stor del av disse undersøkelser har vært utført fra en mindre motorbåt som et regulært overvåkningsarbeid, og det har ikke kunnet foretas innsamling av vannprøver for kalibrering av oksygenkurvene. I forbindelse med annet arbeid har det imidlertid vært foretatt leilighetsvise hydrografiske undersøkelser på fjorden med vårt institutts forskningsfartøy Gunnar Knudsen. Ved disse anledninger er det ved siden av oksygenregistreringene også innsamlet vannprøver som er blitt analysert på oksygeninnhold etter Winklers metode. Det er så laget kalibreringskurver, og de registrerte verdier er justert til riktige oksygenkonsentrasjoner.

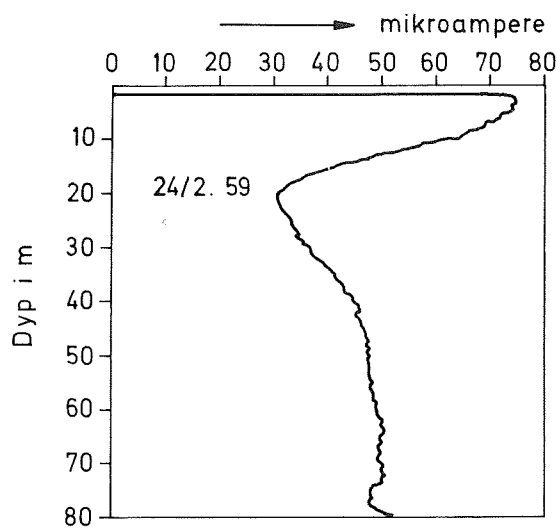
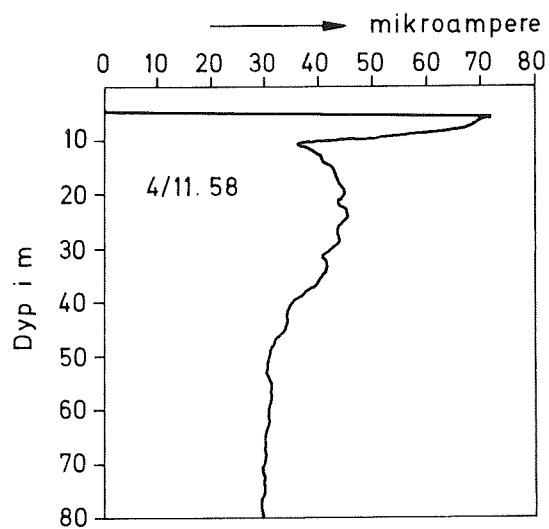
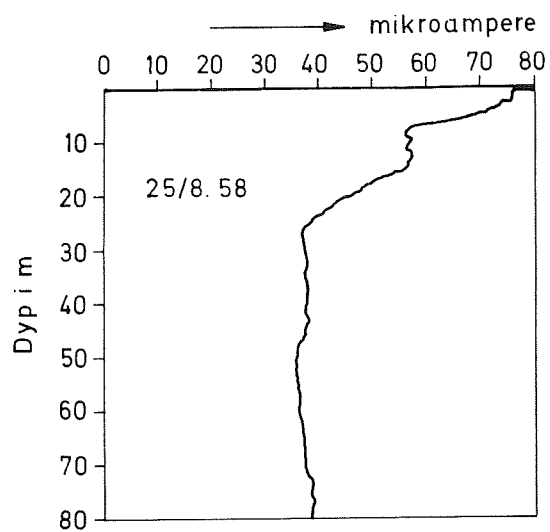
Det er tidligere pekt på at innstrømninger av vann i forskjellige dyp viser seg ved en økning i oksygenkonsentrasjonen i vedkommende dyp, og at oksygrammene derfor vil gi opplysning om den aktuelle hydrografiske situasjon.

Dette er illustrert i fig. 8, 25/8-58, 4/11-58 og 24/2-59. I fig. 8, 25/8-58 og 4/11-58 skjer det en innstrømning av vann i et dyp som begynner like under sprangskiktet og går ned til 30 og 45 meter. Det har vist seg at denne situasjon fortrinnsvis oppstår i perioder med rolig vær og helst i sommerhalvåret. Det er karakteristisk at det kan opptre et meget markert skikt av oksygenfattig vann i eller rett under overgangslaget mellom overflatevannet og dypvannet fig. 8, 4/11-58. Oksygenmangelen i overgangslaget kan forklares ved at det nettopp i dette lag opptrer så store tetthetsgradienter at laget kan virke som en falsk bunn som akkumulerer organisk materiale når det synker ned fra overflaten, og at dette organiske stoff nedbrytes der, under oksygenforbruk.

Det forhold at sentret av innstrømningen alltid ligger høyere enn terskeldypet ved Drøbak tyder imidlertid på at det her er en tidevannsvirkning. Under tidevannspulseringene forskyves vannet i fjorden og det skjer over alt en blanding av utenforliggende vann med vannet innenfor. Med tidevannet vil en strøm av oksygenrikt vann blandes inn utenfra og ha karakteren av en nettoinnstrømning.

Fig. 8, 24/2-59 viser situasjonen i en periode da tungt vann utenfra nylig har strømmet inn over Drøbakterskelen og fylt opp dypere partier av fjorden innenfor. Oksygenkonsentrasjonen er høy i bunnlaget, men mindre i mellomdypet.

Fig. 8 Oksygenregistreringer på stasjon S (Steilene)



1 mikroampere = 0,078 ml O₂/l

Det gamle vann er her løftet opp i mellomskiktet og ligger som et oksygenfattig lag i dette dyp.

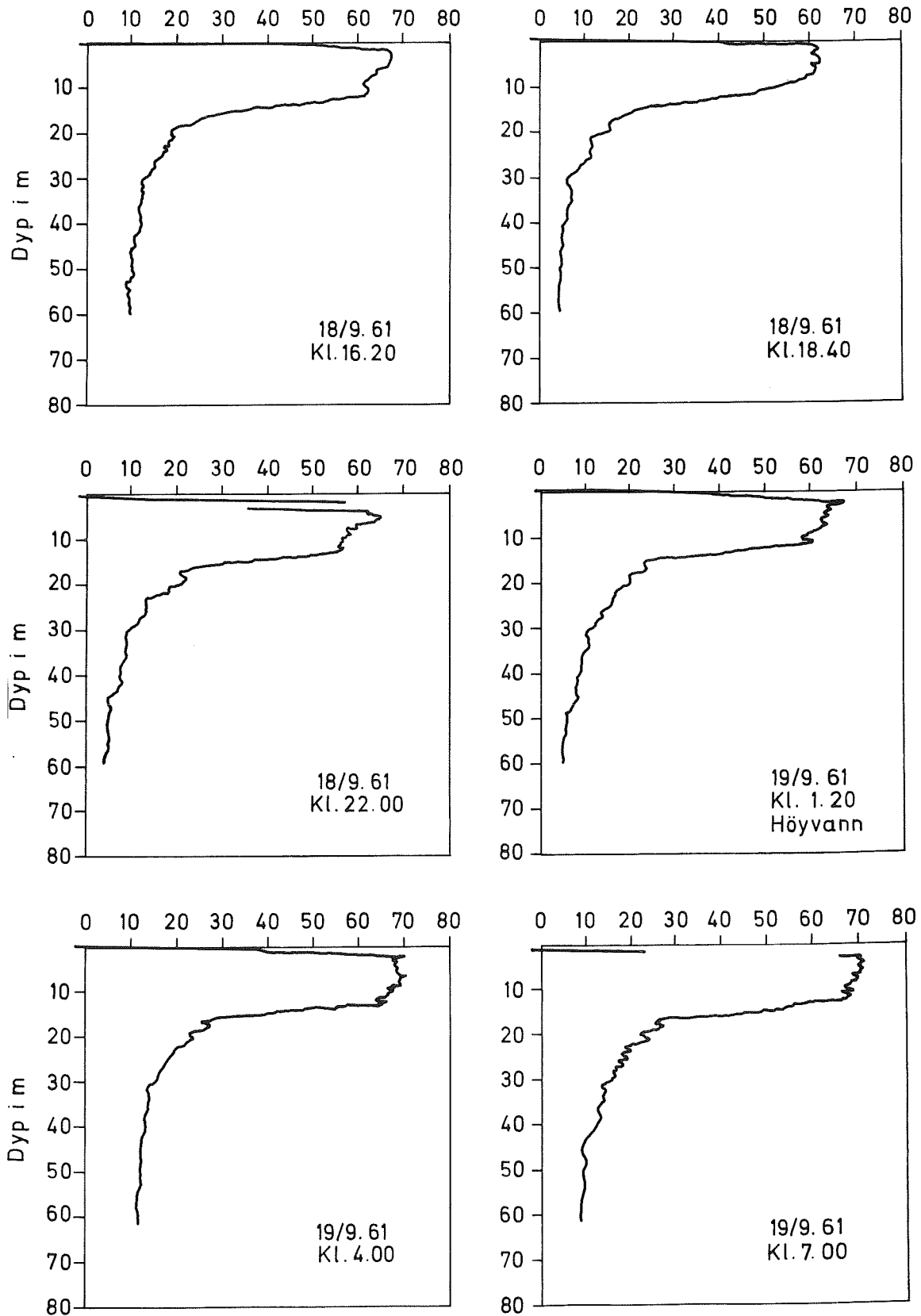
Et trekk er karakteristisk for oksygenforholdene i fjordens dypvannslag. Oksygenkonsentrasjonene avtar innover i fjorden, slik det fremgår av tabell 1 og kurvene i fig. 7.

Grunnen til dette er som tidligere nevnt at det oksygenrike vann kommer utenfra og trenger inn i et oksygenforbrukende miljø, derfor vil oksygeninnholdet avta jo lenger inn i fjorden vannet kommer. Reduksjonen i oksygen er avhengig av oksygenforbruket og vannets oppholdstid i fjorden. Hvis oksygenforbruket pr. tidsenhet var kjent eller lot seg beregne, skulle variasjonene i oksygen gi muligheter for beregning av de midlere innstrømningshastigheter, og da det dreier seg om middelhastigheter over lengre tidsrom, må dette gjelde både når innstrømningen skjer i form av en jevn strøm eller i form av en rask innstrømning som skifter ut dypvannet i fjorden, forutsatt at vannet ikke blir tilført eller berøvet oksygen på ukontrollerbar måte, det vil si ved utveksling av oksygen med atmosfæren, tilblanding med vann av annet oksygeninnhold eller ved fotosyntetisk produksjon av oksygen.

I dypvannet i indre Oslofjord synes disse forutsetninger å være oppfylt en del av året. Målinger utført med densigraphen har vist at det i sommerhalvåret eksisterer så stor tetthetsforskjell mellom vannet i overflatelaget og i det underliggende dyp at en vertikal sirkulasjon og dermed en tilførsel av atmosfærisk oksygen gjennom sprangskiktet er lite sannsynlig.

For å studere stabiliteten av sprangskiktet er det gjennomført spesielle undersøkelser - det ble utført oksygenregistreringer på samme stasjon hver tredje time gjennom ett døgn. Fig. 9 viser en gjen-
givelse av kurver oppnådd ved en av disse undersøkelsene. Til tross for at det ved den anledning ble registrert kraftig vind i den første del av perioden, er beliggenheten og forholdet i sprangskiktet meget lite berørt. Dette tyder også på at det ikke kan skje noen nevneverdig utveksling mellom vannet i overflatelaget og vannet i det underliggende dyp. Det vil derimot sikkert, i den første tid etter en innstrømning i dypvannslaget, komme en periode da vannet som er strømmet inn vil bli blandet med vann fra andre partier av fjorden som i mindre grad er blitt berørt av innstrømningen. Det vil oppstå horisontale utjevningstrømmer, men etterhånden vil forholdene stabilisere seg, og det kommer

Fig.9 Sprangsjiktets struktur belyst ved oksygenregistreringer.
Målt ca. hver 3. time på stasjon L (Lysaker)



Horizontalskala : 10 enheter = 10 μ-ampere = ca. 0,8 ml oksygen pr. liter

en periode med stagnasjon. Da avtar oksygenverdiene i dypvannet mer jevnt.

Når det gjelder fotosyntesen og den dermed forbundne oksygenproduksjon, er den avhengig av lys. Braarud (1945) har på grunnlag av data fra Buvik vist at lysabsorpsjonen i indre Oslofjord i den produktive periode av året er så stor at mindre enn 1 % av overflatelyst når ned under 10 meters dyp. Dette forhold er funnet også ved senere lysmålinger som er foretatt i fjorden. Det er derfor berettiget å anta at den altoverveiende del av det oksygen som tilføres fjordens dypvann i sommerhalvåret må komme med innstrømmende vann og at beregninger av oksygenforbrukets størrelse kan gjøres ved å studere oksygeninnholdets variasjoner med tiden på forskjellige steder i fjorden i perioder når vannmassene er deponert under stagnerende forhold.

Fordi oksygenverdiene har variert både sterkt og uregelmessig med dypet, er de prøver som er tatt med vannhentere i standarddyp sannsynligvis mindre egnet som grunnlag for slike vurderinger, mens gjennomsnittsverdier som bygger på registreringskurver skulle gi et riktigere bilde.

I tabell 3 er det ført opp slike gjennomsnittsverdier for dypene fra 0 - 10 m, fra 10 - 40 m og fra 40 - 100 m for stasjonene B,S og H.

Verdiene er beregnet fra kurver som er laget på basis av oksygenregistreringer med samtidig utførte oksygenanalyser for kalibrering. Tabellene spenner over forskjellige tidsintervall fra 1954 - 61. Disse tidsintervaller er både usystematisk fordelt og uregelmessig i lengde fordi det da målingene ble foretatt ikke var tanken å benytte dem til å beregne oksygenvariasjonen med tiden. Allikevel kan en behandling av disse verdier være berettiget.

Det er først mulig å bruke de verdier som er ført opp i tabell 3 som grunnlag for en diskusjon over utskiftningene av vannmassene i fjorden.

I denne diskusjon må man avstå fra å behandle forholdene i overflatelaget fordi det her kommer inn ukontrollerbare faktorer som fotosyntese og oksygenutveksling med atmosfæren. Dette gjelder altså verdier fra 0 - 10 meter dypt.

Under sprangskiktet vanligvis 10 m dyp er forholdene mer oversiktlige. Her kommer det til å dreie seg om oksygenrikt vann som kommer inn over Drøbacterskelen, men under spranlaget. Studeres oksygenkonsentrasjonen i 10 - 40 meters dypet, finner man på stasjon H og S nokså konstante oksygenmengder. Det vil si at tilførsel og forbruk av oksygen i dette vannlag er nokså jevnt og likt.

I dypvannslaget derimot er svingningene i oksygen større. Innstrømningen er her først og fremst betinget av tetthetsforskjeller. Det kan føre til en forholdsvis rask utskiftning av vannmassene i dypet og en derpåfølgende stagnasjonsperiode. I dette dyp er det for St. H's vedkommende målt gjennomsnittsverdier som svinger fra 5,8 - 1,7 ml O₂ pr liter og på St. S fra 5,4 - 1,2 ml/l.

Innstrømningene gir seg, som vi har sett, tilkjenne ved at oksygeninnholdet i dypet øker. Av oksygenverdiene gitt i tabell 3 på stasjon H og S kan det da påvises innstrømninger i 1954, 1955, 1957 og 1958. Av tabell 1 kan det også ses at det må ha vært en strøm i 1947 - 48. Av fig. 8 c at det var en innstrømning i 1959. Det er sannsynlig at det har vært en innstrømning i 1956, men målingene foregikk det år så sent på året at denne med sikkerhet ikke kan registreres. Det vil si innstrømning i praktisk talt alle år i undersøkelsestiden. Det kan derfor bare bety at dette skjer årvisst, i hvert fall på de ytre stasjoner. Tabellen viser også at innstrømningen foregår vesentlig i den kalde årstid. Varigheten av en slik innstrømning er sikkert avhengig av de meteorologiske forhold, men kan strekke seg over måneder. Tabellene viser videre at bare de sterkeste innstrømningene når frem til dyplagene i indre fjord, St. B, men mellomlagene får sannsynligvis innstrømning hvert år.

Etter en innstrømning kommer ofte en periode med stagnerende forhold i dypet under 40 meter. Disse perioder kan utnyttes til å studere fjordens oksygenforbruk, idet et anslagsvis tall for reduksjonene pr. dag i vannets oksygeninnhold på de enkelte stasjoner kan finnes. Det bør da som grunnlag velges tidsperioder når forholdene har stabilisert seg etter en innstrømning, i praksis sommer- og høstsituasjoner, og brukes middelveidene mellom to stasjoner. Slike beregninger er forsøkt utført for stasjonene H og S og er samlet i tabell 4. De funne verdier gir som middelveidi et oksygenforbruk på 0,02 ml/l pr. dag for vannlaget 40 - 100 meter. Dette kan så settes i sammenheng med at vannets oksygen-

innhold avtar innover i fjorden. Av de oppførte verdier for de forskjellige dyp (tabell 3) fremgår at oksygenet i 10 - 40 meterdypet er redusert fra St. H til St. S. med et gjennomsnitt på 0,50 ml/l. I 40 - 100 meterdypet er dette 0,38 ml/l. Av verdier for det midlere oksygenforbruk pr. dag og differensen i oksygen mellom stasjonene kan vannets gjennomsnittlige oppholdstid mellom de to stasjoner beregnes: 10 - 40 meterdypet $0,50 : 0,02 = 25$ dager og 40 - 100 meterdypet $0,38 : 0,02 = 19$ dager, tilsvarende en midlere nettoinnstrømning på ca. 20 meter pr. time. Dette under forutsetning av at oksygenforbruket er likt i hele vannsøylen.

Det er imidlertid klart at forholdene vil skifte både med tiden, stedet og dypet, men de variasjoner som kan ses av tabell 4 er allikevel ikke større enn at resultatene kan gi et tilnærmet bilde av forholdene.

Oksygenforbruket kan også benyttes til en anslagsvis beregning av den mengde organisk stoff som tilføres fjordens dypvannslag, det vil si både primært og sekundært. En må da gjøre den forutsetning at andre oksydasjonsprosesser enn den direkte forbrenning av carbondioksyd er av underordnet betydning.

Et oksygenforbruk av 0,02 ml/l pr. dag i en vannsøyle på 100 meter tilsvarer, hvis det forutsettes å være jevnt dyp, et forbruk på 20 ml under hver dm^2 . Overført til carbon etter beregningen $\text{C} + \text{O}_2$ tilsvarer et oksygenforbruk på 20 ml en mengde forbrent carbon $\approx \frac{12 \cdot 20}{22,4} \approx 11$ mg. For hele fjordens overflate, 200 km^2 , blir det en totalmengde tilført carbon = $11 \times 2 \times 10^{10}$ mg eller ca. 200 tonn pr. dag, omregnet i organisk materiale altså ca. 2.000 tonn hvis det forutsettes et carboninnhold på 10 %.

Hvis den primære tilførsel av organisk materiale var kjent, kunne muligens den del av sekundærproduksjonen som får følger for dypvannet, anslås på basis av disse beregninger.

Tabell 1.

Data fra perioden juli 1946 - oktober 1947.
(Temperatur, salinitet, oksygen og ortofosfat).

Dyp i m	Temp.			S ‰			O ₂ ml/l			PO ₄ - P mg/m ³		
	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H
<u>18. og 19. juli 1946.</u>												
0	20,14	20,49	19,39	19,42	19,16	19,34	7,04	6,59	6,29			
5	16,56	20,02	18,14	20,01	19,24	21,00	5,59	6,61	6,18			
10	9,37	12,40	11,44	27,21	27,11	28,24	4,49	5,45	5,64			
25	4,40	7,51	7,25	31,31	31,38	32,29	4,34	5,00	4,73			
40	6,29	5,99	6,06	33,01	32,79	32,33	1,45	3,05	4,01			
75	6,62	6,10	5,99	33,39	33,26	33,21	3,22	3,34	4,11			
100	6,63		5,98	33,57		33,22	0,43		4,07			
140	6,65			33,57			0,12					
<u>30. juli 1946.</u>												
0	19,65	18,92	18,39	19,45	19,27	19,57	5,97	6,00	5,90	0	10	0
5	19,36	18,79	18,10	19,51	19,34	19,94	6,29	5,94	5,65	0	5	0
10	19,31	18,58	17,85	19,54	19,43	20,41	5,51	5,84	5,60	17	10	0
25	4,68	6,48	6,74	30,91	31,17	31,62	4,35	4,22	4,37	31	33	23
40	6,16	6,08	6,12	32,92	32,88	32,81	2,08	2,66	3,86	65	62	39
75	6,63	6,10	6,04	33,37	33,17	33,13	3,18	3,20	3,79	70	62	36
100	6,64		6,02	33,49		33,13	0,65		3,74	158		41
140	6,68			33,49			0,10			218		
<u>18. september 1946</u>												
0		14,69	14,40	18,62	18,24	17,12	5,83	6,29	6,53	0	0	0
5		14,74	15,00	19,07	18,40	18,80	5,58	6,30	6,16	12	0	0
10				21,13	19,11	19,78	3,38	6,09	5,53	8	1	0
25	5,72	8,71	10,59	30,08	29,38	29,09	3,43	3,43	3,85	28	22	25
40	5,71	6,24	6,79	31,91	32,05	32,18	2,14	4,70	3,34	49	62	60
75	6,67	6,13	6,21	33,19	32,61	32,41	2,60	2,36	3,16	61	70	62
100	6,64		6,16	33,17		32,57	0,64			120		57
140	6,67			33,39			0,06			158		

Tabell 1 forts.

16. og 17. oktober 1946.

Dyp i m	Temp.			S ^o /oo			O ₂ ml/l			PO ₄ - P mg/m ³		
	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H	St.B	St.S	St.H
0	9,31	9,47	9,20	18,42	18,39	18,55	8,75	9,22	9,01	19	0	0
5	10,62	12,40	12,73	27,23	29,94	28,30	1,94	4,30	3,84	31	21	20
10	8,98	10,29	13,33	28,73	31,42	29,97	2,73	4,48	4,61	41	33	25
25	7,45	11,85	12,14	30,82	31,42	31,58	3,13	5,49	4,79	41	30	25
40	5,58	6,61	7,95	32,23	32,34	32,56	2,22	2,98	3,71	70	65	46
75	6,75	6,22	6,31	33,22	32,72	32,75	2,46	1,79	2,87	93	84	62
100	6,73		5,25	33,33		32,75	0,48		3,03	122		69
140	6,66			33,39			0,04			148		
18. og 19. november 1946.												
0	4,82	5,18	5,67	25,75	26,02	26,40	6,43	6,42	6,25	27	16	16
5	8,61	5,20	5,07	27,34	26,06	26,51	4,62	6,57	6,27	27	25	16
10	9,23	10,30	9,84	28,93	29,11	31,24	2,97	4,01	4,38	46	30	29
25	8,08	10,22	9,58	31,27	31,76	31,55	2,98	4,02	4,40	39	41	26
40	5,92	7,55	8,57	32,03	32,38	32,39	1,98	2,86	4,12	75	53	36
75	6,67	6,33	6,67	33,06	32,65	32,65	1,93	1,95	2,64	84	80	52
100	6,67		6,54	33,26		32,65	0,23		2,45	97		75
140	6,66			33,31			0,12			129		
17. og 18. desember 1946.												
0	0,04	1,93	1,60	25,32	25,28	25,10	7,12	7,00	7,28	24	35	34
5	4,50	3,37	3,47	26,27	26,17	25,82	6,28	7,00	7,28	32	41	39
10	7,34	6,50	5,72	28,10	27,97	27,94	5,59	6,40	6,14	40	44	36
25	8,51	9,34	8,08	31,53	31,69	31,35	2,56	4,00	4,90	46	39	40
40	6,94	8,08	7,69	32,21	32,39	32,29	2,16	3,02	4,20	68	53	56
75	6,62	6,62	4,21	33,31	32,77	32,74	0,62	1,32	2,40	123	75	63
100	6,66		5,72	33,37		33,68	0,94		2,30	151		42

Tabell 1 forts.

16. og 17. januar 1947.

Dyp i m	Temp.		S ‰		O ₂ ml/l		PO ₄ - P mg/m ³	
	St.B	St.S	St.B	St.S	St.B	St.S	St.B	St.S
0	0,00	0,51	25,17	25,37	7,69	7,60	31	28
5	0,04	0,56	25,41	25,37	7,62	7,62	31	28
10	3,62	0,51	26,08	25,35	6,86	7,64	31	28
25	8,26	8,39	31,02	31,35	2,49	3,25	46	42
40	6,20	8,15	32,32	32,20	1,58	2,39	69	59
75	6,68	6,91	33,21	32,56	1,42	1,65	90	66
100	6,65	6,89	33,24	32,59	0,19	2,06	151	
140	6,67	6,89	33,33	32,59	0,00	2,06	175	

St. B 11. mars og St. H 24. mars 1947.

0	0,21	6,62	26,56	30,01	8,23	3,83	15	61
5	8,00	6,95	31,73	30,66	2,03	2,60	48	76
10	6,72	6,83	32,74	31,20	2,14	3,58	58	59
25	6,72	6,84	33,28	33,46	3,04	4,74	65	47
40	6,88	6,67	33,31	34,05	3,69	4,99	75	47
75	7,07	6,98	33,39	34,40	4,88	5,32	51	48
100		6,66	33,39	34,40	4,94	5,24	52	50
140	6,95	6,66	33,51	34,40	4,13	5,24	55	50

24. og 25. april 1947.

0	5,60	6,68	29,83	26,18	6,35	7,39	2,5	2
5	5,68	5,81	29,81	29,34	6,42	6,87	2,5	2
10	5,71	5,68	30,08	30,19	6,18	6,52	-	2
25	6,91	6,88	33,13	33,01	2,53	2,54	10	6
40	6,86	6,86	33,48	33,55	3,86	4,02	7	5
75	6,82	6,76	33,60	33,80	4,21	4,35	7	5
100	6,79	6,75	33,68	33,96	4,25	4,57	7	5
140	6,83	6,75	33,68	33,96	4,15	4,61	7	5

Tabell 1 forts.

28. og 29. mai 1947.

Dyp i m	Temp.		S ‰		O ₂ ml/l		PO ₄ - P mg/m ³				
	St.B	St.S	St.B	St.S	St.B	St.S	St.B	St.S			
0		17,7	20,26	19,78	17,34	8,17	8,00	7,37	15	-	10
5			21,82	21,44	22,07	7,55	7,73	8,40	15	-	7
10	10,31	9,92	27,65	27,99	26,98	8,15	8,48	7,85	15	-	8
25	6,63	6,41	32,45	28,03	32,18	2,19	3,39	4,94	46	29	24
40	6,90	6,83	33,39	33,35	33,39	3,33	3,05	3,88	49	30	34
75	6,83	6,77	33,62		33,82	4,09	3,57	3,96	37	30	30
100	6,81		33,69		33,82	3,83		3,89	40		35
140	6,83		33,69		33,82	3,66		40	40		
24. juni 1947.											
0	19,28	19,72	20,25	20,81	20,19	6,12	5,90	5,92	8		11
5	16,36	19,52	20,28	20,84	20,59	5,07	5,72	8	8		11
10	6,87	7,45	29,61	29,60	28,69	4,55	4,95	5,49	16		13
25	6,08	6,71	32,84	32,45	32,74	1,82	4,58	4,86	55		27
40	6,92	6,77	33,55	33,40	33,24	1,95	2,56	4,15	65		35
75	6,87	6,77	33,80	33,82	33,84	3,74		3,62	52		50
100	6,86		33,86		33,86			3,57	51		53
140	6,80		33,84		33,86						
26. august 1947.											
0	23,30		21,40			6,16					
5	19,57		22,09			4,46					
10	11,76		27,92			2,18					
25	6,53		31,76			1,96					
40	6,86		33,44			1,97					
75	6,83		33,78			3,13					
100	6,81		33,84			3,13					
140	6,80		33,82			3,02					

Tabell 2.
Data fra årene 1948 - 1951.
(Temperatur, salinitet og oksygen.)

Parameter	Stas- jon	Dato	Dyp i meter											
			0	5	10	20	25	30	40	50	75	100	140	
Temp.	B	4-5/5-1948	8,90	6,81	2,82	2,33	3,55	3,46	3,79	4,38	5,49	6,09	6,40	
		21-22/9 -1948	14,04	14,05	8,94		6,52		5,45		5,01	5,85	5,95	
		9/12-1948	5,34	5,73	6,86		6,92		6,14		5,13	5,51	5,73	
		29/9 -1949		15,49	16,54		7,54		6,44		5,35	5,32		
		21/11-1949	7,41	10,77	10,01		7,54		6,44		5,41	5,31	5,29	
		18/4 -1950	7,74	5,77	4,64		6,94		7,33		5,50	5,39	5,45	
		3/5 -1950	9,99	7,00	5,18		6,18		7,30		5,53	5,33	5,34	
		22/5 -1950	13,29	12,68	4,98		7,34		7,22		5,55	5,41	5,36	
		22/6 -1950	16,26	15,90	13,89		6,35		7,31		6,63	5,41	5,37	
		9/8 -1950	19,5	9,29	7,12		6,14		7,25		5,75	5,45	5,47	
		15/11-1950	5,55	7,96	8,39		8,47		8,28		5,74	5,54	5,47	
		17/1 -1951	0,00	4,95	4,95		8,34		8,52		5,93	5,54	5,53	
		25/4 -1951	5,5	5,39	5,01		7,68		7,10		6,53	6,40	6,86	
		16/6 -1951	15,15	15,40			7,70		7,30		6,78	6,50		
		S	4-5/5-1948	8,52	7,90	3,88	3,38		3,88		4,38	4,50		
21-22/9-1948	13,77		15,68	13,30	8,42		5,93		4,58	4,58				
9/12-1948	4,26		6,07	6,55		8,50		5,85		4,89				
H	25/2-1949	2,76	2,76	3,35	6,95		6,68		6,21	4,57				
	4-5/5-1948	7,76	7,47	4,33	3,83		4,30		4,59	4,72				
D	21-22/9-1948	13,86	13,82	13,71	11,13		8,14		5,76	4,67		4,71		
	4-5/5-1948	7,94	7,74	7,22	6,20		5,08		5,47	6,25		6,24		
	21-22/9-1948	13,26	13,24	13,32	12,69		12,07		5,95	6,35		6,01		

Tabell 2 forts.

Parameter	Stasjon	Dato	Dyp i meter												
			0	5	10	20	25	30	40	50	75	100	140		
S ‰	B	4-5/5-1948	21,24	21,81	26,40	31,92	30,62	32,43	32,75	33,13	33,46	33,64	33,64	33,64	33,64
		21-22/9-1948	18,80	18,80	25,62		31,96		32,50		33,68		33,84		33,84
		9/12-1948	28,01	28,01	28,08						32,71				33,86
		25/2-1949	28,28	28,40	28,68	31,74		32,34			32,61		33,73		33,73
		29/9-1949	24,27		24,74		31,89		32,59		33,42		33,48		
		21/11-1949	24,63	29,33	30,62		30,86		31,67		32,61		32,90		32,98
		18/4 -1950	23,22	23,84	26,94		32,18		32,86		33,51		33,57		33,62
		3/5 -1950	23,75	24,33	27,24		31,91		32,84		33,57		33,57		33,57
		22/6 -1950	17,39	18,80	22,27		31,50		32,57		33,17		33,28		33,39
		9/8 -1950	18,98	26,89	28,55		30,84		32,36		33,12		33,33		33,40
		15/11-1950	25,97	29,19	31,64		32,25		32,78		33,40		33,40		33,40
		17/1 -1951	18,71	29,54	31,27		32,54		33,19		33,44		33,44		33,46
		4-5/5-1948	21,98	22,14	26,74	31,36		32,29			32,84		33,04		
		21-22/9-1948	18,59	18,62	25,97	29,92		31,36			33,01		33,13		
		9/12-1948	27,14	28,71	29,18		32,47						33,19		
25/2-1949	29,02	28,80	28,80	32,23		32,61			32,83		33,13		33,13		
4-5/5-1948	21,64	22,88	27,72	31,58		32,68			33,13		33,21		33,21		
21-22/9-1948	19,43	19,43	21,91	30,43		31,44			33,21		33,21		33,21		
4-5/5-1948	21,83	21,94	23,64	23,80		32,18			33,77		34,23		34,92		
21-22/9-1948	23,69	30,79	31,74	32,27		32,68			32,90		33,01		34,85		

Tabell 2 forts.

Parameter	Stasjon	Dato	Dyp i meter													
			0	5	10	20	25	30	40	50	75	100	120	140		
O ₂ ml/l	B	4-5/5-1948	7,52	5,81	7,10	5,45	3,15	5,02	2,34	5,46	3,55	1,74	1,74	1,74	1,74	
		21-22/9-1948	5,87	10,95	1,68		3,40		2,34			2,68	1,90	1,90	1,23	
		9/12-1948	7,15	7,12	8,52	3,03			5,25			4,55			4,35	
		25/2-1949	7,22	7,50	6,78		2,62				2,77	2,05	1,65		1,38	
		29/9-1949	8,22	4,08	7,20		1,78		2,85			2,62	1,62			
		21/11-1949	4,80	7,86	2,42		2,03		1,75			0,67	0,56			
		18/4-1950	9,15	7,12	7,85		2,22		1,12			0,05	0,90			0,42
		3/5-1950	8,30	8,00	6,35		1,84		1,46			0,20	0,30			0,05
		22/5-1950	8,15	5,05	5,90		1,25		1,46			0,64	0,66			0,07
		22/6-1950	5,80	2,0	3,37		1,38		0,72			0,19	0,66			0,86
		6/11-1950	7,00	4,98	2,2		1,38		1,3			0,1				
		15/11-1950	6,70	7,78	1,83		1,55		1,52			H ₂ S	H ₂ S			H ₂ S
		17/1-1951	8,10	7,75	5,24		3,32		2,37			H ₂ S	H ₂ S			H ₂ S
		25/4-1951	8,37	8,56	7,32		2,99		4,01			3,24	3,07			3,58
		16/6-1951	8,95	10,11	7,09		2,13		3,43			3,40	2,39			2,69
3/9-1951	7,40	4,10	2,37		5,45		3,07			3,15	2,06			2,16		
4-5/5-1948	5,88	6,40	7,15		4,06		6,50		4,20	4,15						
21-22/9-1948	8,72	7,90	3,67		5,11		3,62		3,13	3,10						
9/12-1948	7,00	7,15	7,52		3,75		5,38		2,86	4,77						
25/2-1949	7,20	7,35	7,00		5,40		3,17		4,87	4,90				4,81		
4-5/5-1948	5,82	7,05	6,69		4,58		5,09		3,78	3,58				3,74		
21-22/9-1948	6,98	4,86	5,55		6,51		5,80		5,61	5,20				5,16		
4-5/5-1948	5,48	4,86	4,93		4,54		5,36		5,41	5,53				5,10		
21-22/9-1948														5,02		

Tabell 3.

Gjennomsnittsverdier for dypene 0 - 10, 10 - 40 og 40 - 100 meter bygget på oksygenregistreringer på de forskjellige stasjoner i årene fra 1954 - 1961.

Dyp i m Dato	<u>St.H.</u>			<u>St.S.</u>			Dato
	0-10	10-40	40-100	0-10	10-40	40-100	
15/8-1954	7,3	4,8	4,7	5,0	3,8	4,0	
2/9-1954	5,5	3,9	3,6	5,3	3,3	2,8	
16/11-1954	5,6	4,3	2,6	5,7	3,5	2,2	
15/4-1955	7,0	4,7	5,1	5,3	3,5	4,6	
6/5-1955	6,4	4,7	5,8	7,2	4,0	5,4	
16/6-1955	6,6	4,4	4,9	5,9	3,8	4,4	
29/8-1956	5,2	4,0	2,6	5,4	3,4	1,8	
25/9-1956	5,0	2,8	1,7	4,2	2,6	1,2	
29/3-1957				11,0	5,6	4,8	
24/6-1957	4,9	3,5	4,0	4,6	3,2	3,8	
15/8-1957	5,8	3,9	3,8	6,0	3,0	3,7	
14/10-1957	4,1	3,2	2,1	4,7	3,0	1,7	
25/8-1958	5,6	4,1	3,6	5,2	3,4	2,9	
29/4-1961	6,0	3,8	3,0	6,7	3,2	2,2	
19/9-1961	5,9	3,9	2,6	7,1	3,3	2,6	
<u>St.B.</u>	<u>0-10</u>	<u>10-40</u>	<u>40-bunn</u>	<u>0-10</u>	<u>10-40</u>	<u>40-bunn</u>	<u>Dato</u>
15/8-1954	5,7	2,8		5,2	2,4	0,8	16/11-57
2/9-1954	4,5	1,9	2,9	4,8	3,1	3,4	25/3-
16/11-1954	4,7	2,1	1,8	10,2	3,6	2,6	4/5-59
15/4-1955	6,4	3,5	4,3	3,2	2,6	1,6	16/10-59
6/5-1955	7,0	4,15	5,0	5,5	2,8	2,5	4/5-65
19/3-1957	10,0	4,3	2,1	3,5	2,4	2,0	24/10-61
15/8-1957	5,5	1,5	1,2	7,0	2,8	1,2	19/4-61

Tabell 4.

Variasjon med tiden av oksygenmiddelverdien mellom st.S og H i 40 - 100 meter dyp.

Tidsrum	Antall dager	Diff. i middelv.	O ₂ - svinn pr. dag.
15/8-16/11-54	90	1,95 ml O ₂ /l	0,021 ml/l/d
6/5-16/6-55	41	0,95 "	0,024 "
29/8-25/9-56	27	0,75 "	0,028 "
24/6-14/10-57	112	2,00 "	0,018 "

LITTERATUR

- Benson, Bruce B. og Peter D.M. Parker, 1961: Deep-Sea Research,
Vol. 7 p.p. 237 - 235.
- Braarud, Trygve, 1945: Det Norske Vidensk -Akademi i Oslo.
Hvalrådets skrifter nr. 28
- Braarud, Trygve og Ernst Føyn, 1951: Det Norske Vidensk -Akademi
i Oslo. Avhandlingar.
Mat. Mat. Naturv. klasse 1951, No 3.
- Braarud, Trygve og Alf Klem, 1931: Det Norske Vidensk Akad i Oslo
Hvalrådets Skrifter nr. 1.
- Braarud, Trygve og Johan T. Ruud, 1937: Det Norske Vidensk -Akademi
i Oslo. Hvalrådets Skrifter nr. 15.
- Czensny, R, 1943: Untersuchungsverfahren zur chemischen Wasseranalyse.
Schriftenreihe der Reichsanstalt für Fischerei Stuttgart.
- Føyn, Ernst, 1950: Journ. du Cons. Intern. pour l'Explor de la
Mer XVI No. 2, 1950.
- Føyn, Ernst, 1951: Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkel-
ser, Vol. IX no. 14, 1951.
- Føyn, Ernst, 1953: Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkel-
ser, Vol X, no. 5, 1953.
- Føyn, Ernst, 1955: Fiskeridirektoratets Skrifter Serie Havundersøkel-
ser, Vol. XI no. 3, 1955.
- Gaarder, Torbjørn, 1915: Bergens Museums Aarbog 1915 - 16.
Naturvidensk. Rekke nr. 2.
- Harvey, H.W.: Recent Advances in The Chemistry and Biology of Sea
Water, University Press Cambridge, 1945.
- Mullin, J.B. and J. P. Riley, 1955: Anal. Chim. Acta, 12 5 pp. 464-
480.
- Richards, Francis A. and Bruce B. Benson, 1961: Deep-Sea Research,
1961 Vol. 7.
- Sundene, Ove, 1953: Det Norske Videnskaps Akademi i Oslo.
Skrifter Mat -Nat V.klasse 1953 No.2.