

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 6

**Bunnsedimenter og bunnfauna i indre og midtre Oslofjord  
i 1938 og 1962 - 1965**

av

**Fredrik Beyer**

Institutt for Marin Biologi avd. A,

Universitetet i Oslo

OSLOFJORDPROSJEKTET  
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

O-201  
(O-0191)

OSLOFJORDEN OG DENS FORURENSNINGSPROBLEMER

I. Undersøkelsen 1962 - 1965

Delrapport nr. 6

**Bunnsedimenter og bunnfauna i indre og midtre Oslofjord  
i 1938 og 1962 - 1965**

av

**Fredrik Beyer**

Institutt for Marin Biologi avd. A,

Universitetet i Oslo

OSLOFJORDPROSJEKTET  
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
BLINDERN

Redaksjonen avsluttet mars 1967

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
	3
I	4
II	6
III	9
A.	9
B.	19
C.	27
1.	27
2.	30
IV	35
A.	35
B.	44
C.	45
V	52
VI	55
A.	55
B.	57
C.	72
VII	78
VIII	92
IX	98
X	105

TABELLFORTEGNELSE

	Side:
I. Sedimentets struktur og "bunnvannets" oksygeninnhold	24
II. Analyser av prøver av akvarievann tatt 19. nov. 1965	28
III. Forandringer i sedimentkjernenes toppskikt ved henstand	34
IV. Sedimentforandring ved Blakstad	36
V. Sedimentforandring ved Geitholmen	37
VI. Sedimentforandring ved Stangholmen	38
VII. Sedimentforandring i Vierrennen	39
VIII. Største og minste dyp for henholdsvis friskt og råttent toppsediment ved Bekkelaget	42
IX. Typer av historisk fordelingsmønster for friskt (F) og råttent (R) toppsediment	45
X. Lokal variasjon av innholdet av organisk stoff, 1962	52
XI. Samtlige lokaliteter 1962 med organisk stoff mindre enn 5 %	53
XII. Samtlige lokaliteter 1962 med organisk stoff større enn 7 %	54
XIII. Observasjoner fra Frognerkilen 19/11 - 26/11 1964 hentet fra GIESKES (1965)	102-104
XIV. Sedimentkjerne-avlesninger fra st. D-1 i Frognerkilen	63
XV. Det gjennomsnittlige individantall pr. 1/10 m <sup>2</sup> for de tre dominerende polychaetarter på de tre felter. Data fra BROCH (1936) og STÅLESEN (1964)	76

FORORD

Under utarbeidelsen av nærværende rapport har forfatteren hele tiden lagt vekt på å gjøre stoffet tilgjengelig for den alminnelige leser. Da det er gjort regning med at leseren i de fleste tilfelle hverken vil være kjent med eller ha anledning til å finne frem den siterte litteratur, er denne blitt referert mer utførlig enn det ellers ville ha blitt gjort. Rapporten er derved uvegerlig blitt mer ordrik enn vanlig er ved faglige rapporter. Det er å håpe at kolleger og andre lesere med spesielle forutsetninger vil bære over med dette.

Hvor intet annet er opplyst, er de hydrografiske data som er benyttet hentet fra tabeller og diagrammer som velvilligst er blitt stilt til rådighet av Norsk institutt for vannforskning.

Fredrik Beyer

## I INNLEDNING

En rekke av våre fremste zoologer har vært sterkt opptatt av problemer angående Oslofjordens bunnfauna (se BEYER, 1958). Spesiell interesse knytter seg til HJORT's (HJORT & DAHL, 1900) undersøkelser av den bløte bunnfauna ved hjelp av trål, da disse undersøkelser ble foranledningen til det kommersielle fiske etter dypvannsreken (Pandalus borealis Krøyer) i Oslofjorden (kfr. HJORT & RUUD, 1938 a), et fiske som senere har spredd seg like til arktiske farvann.

HJORT (HJORT & DAHL, 1900) fremkastet den tanke at det ikke bare er forskjell i temperaturfordelingen som forårsaker forskjeller i faunaen i en fjords ytre og indre partier, men at også vannets oksygeninnhold kunne være av stor betydning, da man hadde funnet (HJORT & GRAN, 1900) at dette avtok sterkt innover i fjordene. HJORT & GRAN(1900) uttrykte den formening at dypvannet i et basseng kunne råtne som følge av at den horisontale vannutveksling ble forhindret av en terskel ved innløpet, mens lav saltholdighet i overflatevannet forhindret vertikal vannutveksling. Riktigheten av denne anskuelse er senere blitt bekreftet ved tallrike undersøkelser; som viktige eksempler kan anføres GAARDER (1916) og STRØM (1936).

Ved hjelp av sin epokegjørende grabbemethodikk, som med så betydningsfulle resultater hadde vært anvendt i danske farvann (kfr. PETERSEN, 1913), utarbeidet PETERSEN (1915) en grov oversikt over såvel bunnmaterialalets beskaffenhet som faunaen på leire- og mudderbunn i Oslofjorden. PETERSEN karakteriserte bunnens dyreliv utenfor Drøbak som relativt rikt i motsetning til dyrelivet innenfor Drøbak.

Med samme metodikk fant imidlertid BROCH (1936) at dyrelivet på rekefeltene var rikere innenfor Drøbak enn utenfor. Uoverensstemmelsen mellom disse to undersøkelsers tekst forklares lett ved at BROCH's indre lokaliteter (Gråøyrennen og Digerud) ligger langt utenfor PETERSEN's ytterste lokalitet (Elnestangen) fra indre fjord. Kombinert viser de at et mer detaljert kjennskap til de tallrike individuelle bassenger som fjorden er oppdelt i er nødvendig.

På denne bakgrunn utarbeidet JOHAN T. RUUD i 1938 til eget bruk, ved hjelp av ekkolodd, et relativt detaljert batymetrisk kart. Dernest samlet RUUD prøver av bunnmateriale fra et relativt tett nett av stasjoner i indre fjord til kjemisk såvel som til biologisk analyse. Dessverre ble disse undersøkelser ikke fullført; men hovedresultatet, et kart som viser utbredelsen av råttene bunn, er i forenklet form med RUUD's tillatelse blitt offentliggjort av BRAARUD (1945) og BEYER & FØYN (1956).

Forøvrig ble RUUD's tabeller, diagrammer og påbegynte manuskript stilt til disposisjon for J.G.S. SCHEMMEKES, som under veiledning av undertegnede gjennomførte en tilsvarende undersøkelse i 1962/63 (SCHEMMEKES, 1963).

På grunn av den enorme forskjell som fremkom mellom forholdene i 1938 og 1962, samt raske forandringer som ble påvist i 1962/63, har BEYER & VERSVIK senere ved tre anledninger foretatt en kartlegging av den råtne bunns utbredelse.

Enda en tilsynelatende uoverensstemmelse understreket behovet for mer detaljerte undersøkelser. I 1957 fant vi den ekstraordinært tette konsentrasjon av mer enn 30 tusen larver av bunnmakke (Spionidae) pr. m<sup>3</sup> vann langt inne i Frognerkilen. Hervervarende assistent T. SCHRAM's larvestudier fra 1964/65 har vist at bestanden av bunnmakklarver til alle årstider er større i Frognerkilen enn på de mindre forurensede lokaliteter (Nakholmen, Lysakerfjord, Steilene, Spro, Elle). Dette var overraskende på bakgrunn av at der både i 1938, 1962 og 1964 bare ble funnet råttene bunn uten dyreliv i Frognerkilen. Under veiledning av SCHRAM og undertegnede ble derfor stipendiat GIESKES i 1964 satt i gang med en detaljert undersøkelse av Frognerkilens bunn og fauna. En interessant rapport fra denne undersøkelse foreligger (GIESKES, 1965).

Ved utprøvingen av en ny metodikk (BEYER's bunnslede) ble de samme lokaliteter benyttet som BROCH (1936) hadde undersøkt innenfor og utenfor Drøbakterskelen. Sterke indikasjoner ble da funnet på at bunnfaunaen i begynnelsen av femtiårene var fattigere på innsiden av terskelen enn utenfor, altså det mot-

satte av hva BROCH hadde funnet tyve år tidligere, og en detaljert undersøkelse av et stort materiale (INDREHUS, 1967) bekreftet dette. Da imidlertid bunnsleden og grabben i stor utstrekning fanger forskjellige komponenter av faunaen, ble BROCH's undersøkelser kopiert i 1962 (STÅLESEN, 1964).

## II MATERIALE OG METODER

Nærværende rapport er utarbeidet på grunnlag av følgende materiale:

1. RUUD's observasjoner fra 1938
  2. Grabbeprøver fra januar 1962
  3. SCHEMMEKE's (1963) rapport fra undersøkelsene 1962/63
  4. En samling av sedimentkjerne-fotografier fra 1962, 1965 og 1966
  5. Sedimentkjernestudier fra 1964, 1965 og 1966 samt akvarieforsøk
  6. GIESKES' (1965) rapport fra undersøkelsene i 1964
  7. STÅLESEN's (1964) rapport fra undersøkelsene i 1962
1. På 71 stasjoner ble der sommeren 1938 tatt 73 bunnsedimentprøver ved hjelp av et av HJORT & RUUD (1938 b) beskrevet rør med diameter på 15,5 cm og et tverrsnitt på  $1/53 \text{ m}^2$ . Stasjonenes beliggenhet fremgår av kartet, fig. 18, med unntakelse av fem stasjoner som ligger utenfor kartet (Gråøyrennen (2 st.), Drøbak, Dramsfjord, Brevik). Fra 28 av stasjonene ble en prøve av bunnslammets øvre lag gjort til gjenstand for nitrogen- og karbonbestemmelser ved instituttets kjemikere A. KLEM og T. PEDERSEN (kfr. HJORT & RUUD, 1938 b; SCHEMMEKES, 1963). Toppsedimentets farge samt eventuell forekomst av  $\text{H}_2\text{S}$  ble beskrevet på samtlige stasjoner, og eventuell forekomst av levende makroskopiske dyr ble bestemt kvantitativt av C. STØP-BOWITZ.



Fra en stor del av prøvene ble oksygeninnholdet bestemt i det vann som sto 2 cm over sedimentet i røret. Da der ble funnet en differanse på 0,12 ml  $O_2/1$  (fra 2,09 til 1,97) mellom oksygeninnholdet 30 cm og 2 cm over sedimentet, antok HJORT & RUUD (1938 b) at vannmassen i røret var blitt bevart slik som det var in situ ved bunnen. Det er imidlertid rimeligere å dra den motsatte konklusjon av disse verdier. Ved bløt bunn i Øresundområdet fant SJØSTEDT (1936) med en mer egnet metodikk hundre ganger så stor gradient (2,68 ml  $O_2/1$  på 5 cm og 3,69 ml  $O_2/1$  på 10 cm vertikal avstand). BANSE (1955) fant at selv en vannhenter, som har forholdsvis betydelig større gjennomstrømningsåpning enn HJORT & RUUD's rør, tar prøver som svarer til et nivå 1 -  $1\frac{1}{2}$  m høyere enn det nivå hvor den til og med henger åpen i flere minutter før den lukkes. Oksygenverdiene fra 1938 bør derfor ikke benyttes.

2. Som en forberedende orientering ble der i januar 1962 tatt 14 prøver med PETERSEN's (1913) 0,1 m<sup>2</sup> grabbe på 11 lokaliteter fra Gråøyrennen til Svartskog. Prøvene ble bare benyttet til å finne ut hvor det var levende dyr og hvor det var rått bunn.
3. I oktober/november 1962 ble der på 58 stasjoner tatt prøver med PETERSEN's (1913) 0,1 m<sup>2</sup> grabbe så vel som med MOORE & NEILL's (1930) kjernebor med 1,8 cm innvendig diameter, og på ytterligere 22 stasjoner ble der tatt bare sedimentkjerneprøver. I februar 1963 ble sedimentkjerner tatt fra ytterligere 14 lokaliteter, og da betydelige forandringer viste seg å ha funnet sted siden 1962, ble kjerneprøver dessuten tatt på ny på 11 av prøvelokalitetene fra 1962. Av sedimentkjerneprøver ble tatt dobbelt sett. Beliggenheten av stasjonene fremgår av kartet, fig. 19. Prøver ble tatt på de samme lokaliteter som ble undersøkt av RUUD i 1938 med unntakelse av de 7 ytterste, samt en del i Oslo havneområde og Bærumsbassenget som etter vårt skjønn ikke ville kunne forandre billedet. Det ble dessuten arrangert tre "tverrsnitt": Bekkelaget-Ulsvik, Bestum-Nesodden og Holmen-Steilene. I visse områder ble der tatt ytterligere sedimentkjerneprøver til fastleggelse av grensen mellom frisk og rått bunn.

Grabbeprøvene ble benyttet til kvantitative faunabestemmelser og sedimentkjernene til bestemmelse av det prosentvise innhold av organisk stoff ved hjelp av gløding ved 600 °C. På grunn av spaltingen av karbonater ved opphetning kan denne fremgangsmåte gi store feil (UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 1965), hva SCHEMMEKES (1963) også var oppmerksom på. Metoden ble likevel foretrukket for den som ble benyttet i 1938 (på basis av nitrogeninnholdet) på grunn av de feil som senere har blitt påvist ved denne fremgangsmåte (kfr. SCHEMMEKES, 1963). Forskjeller i de absolutte verdier fra de to undersøkelser (1938 og 1962/63) kan derfor ikke tillegges noen vekt.

Forsøk på å fastlegge grensen mellom sulfidholdig og ikke sulfidholdig sediment i kjernene ad kjemisk vei ved hjelp av blyacetat og saltsyre, førte ikke frem (se SCHEMMEKES, 1963).

Forsøk på å få et tallmessig uttrykk for den med oksygen og organisk stoff sterkt varierende rødlige fargekomponent i sedimentet ved fotografering på svart/hvitt film med forskjellige fargefiltre, var heller ikke vellykket. De anvendte fargefiltre (Lifa C B 9 og C R 9) var ikke selektive nok. Fotograferingen av sedimentkjernene ved siden av en nyansert gråskala (Agfa Graukeil) ved Agepan film fremkalt i Neofin blau var forøvrig særdeles vellykket, og har gitt oss et verdifulle arkiv for fremtiden. Kjernene fra 1963 rakk vi ikke å fotografere.

4. I tillegg til ovennevnte, ble fotografier også tatt av sedimentkjerner innsamlet i 1965 og 1966.
5. Utbredelsen av råttens bunn ble kartlagt ved hjelp av 35 sedimentkjerner i januar 1964, 39 sedimentkjerner i september 1964 og 41 sedimentkjerner i august 1965. Antallet av prøver synes lite, men da stasjonenes posisjon ble valgt utelukkende med tanke på grensenes beliggenhet, var det nesten tilstrekkelig. I januar 1966 ble sedimentkjerner tatt fra 10 av 1962-lokalitetene for studium av de forandringer som hadde funnet sted. Beliggenheten av 1965- og 1966-stasjonene fremgår av kartet, fig. 20. Samtlige kjerner

ble tatt og studert av J. VERSVIK og undertegnede ved hjelp av MOORE & NEILL's (1930) kjernebor.

I akvarier med mudder og vann fra fjorden ble bunndyr og forråtnelse observert.

6. GIESKES' (1965) rapport fra Frognerkil-undersøkelsen i november 1964 omhandler resultatene fra 10 hydrografiske stasjoner, 33 sedimentkjerner tatt med MOORE & NEILL's (1930) bor, 12 0,1 m<sup>2</sup> PETERSEN (1913) grabbeprøver, 13 trekk med trekantskrape pluss noe materiale innsamlet med rive påmontert nett. Ytterligere materiale, særlig av plankton, ble innsamlet, men ikke bearbeidet.
7. Fru STÅLSEN's (1964) materiale omfatter 25 prøver tatt med Petersens grabbe fra såvidt mulig nøyaktig de samme posisjoner som angitt av BROCH (1936): Gråøyrenna, ved Digerud og ved Elle, fra dyp varierende fra 90 til 200 m.

### III SEDIMENTETS BESKAFFENHET OG FORHOLD TIL MILJØET

#### A. Sedimentering, biologisk aktivitet og kjemiske omsetninger

Med elvevann og kloakkvann tilføres fjorden en masse partikler i suspensjon. Særlig er mengden av leire ved flom påtakelig. I enkelte tilfelle (f.eks. Frognerelven) kan partikler av organisk opprinnelse dominere. Ved sterk pålandsvind kan materiale fra stranden og bunnen i grunne fjordpartier hvirvles opp. På grunn av den generelle mangel på sterk strøm og store bølger som er karakteristisk for indre Oslofjord, er forholdene her særdeles gunstige for sedimentasjon selv av meget små partikler, som synker langsommere enn større partikler med samme spesifikke vekt, fordi de små har større overflate i forhold til vekten, og friksjonen virker på overflaten. Vi finner derfor at det meste av bunnen er dekket med et fint sediment. Bare der hvor bunnen er meget bratt og i trange sund med relativt sterk strøm, ligger fjellet udekket. Elektrolyttene (saltene) i sjøvannet bevirker en flokkulasjon (fnokkdannelse) av leirpartiklene, hvorved disses synkehastighet øker betydelig (KUENEN, 1965).

Mens innholdet av organisk stoff i grovt sediment er lite (< 1 %), har et finere sediment vanligvis et høyere innhold av organisk stoff, ofte flere prosent, fordi så vel de lette organiske fragmenter som de fine leirpartiklene avsetter seg i rolige områder (KUENEN, 1965; kfr. LINKE, 1939). De relativt høye verdier for organisk stoff (ca. 5 - 8 %), som ble funnet i indre Oslofjord både i 1938 og i 1962 (SCHEMMEKES, 1963) er det rimelig å se som resultat av en betydelig tilførsel fra land, delvis direkte, delvis indirekte via den av gjødslingen forårsakede masseproduksjon av mikroskopiske alger som ble påvist i indre fjord av BRAARUD (1945a) og BRAARUD & NYGAARD (1966). I tillegg til det partikulære organiske stoff som tilføres fra land og det som skriver seg fra den biologiske produksjon i sjøen, synes organiske aggregater å dannes i sjøen i stor mengde ved adsorpsjon av oppløst organisk stoff til overflater av forskjellige slag. Disse aggregatene er amorfe, og inneholder både organisk og uorganisk stoff. Størrelsen varierer fra 5  $\mu$  til adskillige mm (RILEY, 1963).

Organiske partikler (lik, fragmenter og faecalier fra dyr og planter) vil angripes av bakterier. Ved tilstedeværelsen av oksygen (surstoff,  $O_2$ ) vil det meste av det organiske karbon (kullstoff, C) av bakteriene oksyderes til karbondioksyd (kullsyre,  $CO_2$ ) (ZOBELL, 1957). I dype havområder vil det meste av denne omsetningen finne sted innen partiklene når bunnen, slik at det vesentlig er skall- og skjelettstrukturer og uorganisk materiale som avsettes der (HAYES, 1964). I grunne kystområder derimot blir det en voldsom konsentrasjon av organiske partikler og biokjemisk aktivitet på bunnens overflate med en enorm stigning i antall bakterier i de øverste mm av sedimentet (SVERDRUP et al., 1942). Dersom tilgangen på oksygen er god, og avsetningen av organisk materiale ikke er overveldende, vil dette ved bakteriers og dyrs hjelp bli fullstendig mineralisert innen det blir permanent begravet (BORCHERT, 1965).

Selv om bakteriene spiller en dominerende rolle i de kjemiske omsetninger (HAYES, 1964), må bunndyrenes rolle ikke undervurderes. Nærværende studie så vel som undersøkelsene ved hjelp av bunnslede (BEYER & VERSVIK, 1967), viste tydelige eksempler på hvorledes bunndyrene påvirker sedimentet. På

lokalteter hvor bunnfauna mangler eller bare forekommer sporadisk, finner vi på bunnen store mengder organisk materiale som løv, gress og lik av planktonorganismer. Slikt finnes bare unntakelsesvis der hvor vi har mer eller mindre velutviklet bunnfauna, og siden det forsvinner så fort, må vi gå ut fra at det blir spist opp av dyr. Foruten at materialet ved spisingen blir sønderdelt og til dels finmalt - selv sandkorn blir påvirket mekanisk (EMERY, 1963) - blir det også utsatt for kjemiske forandringer. Ved den lave pH (sure miljø) i dyrenestarmkanal går kalk i oppløsning (MAYOR, 1924). En stor del av det organiske stoff blir ved fordøyelsen dekomponert, og av dette blir det aller meste forbrent ved dyrenes respirasjon, mens noe assimileres. I mange tilfelle har man evidens for at fordøyelsen foregår via mikroorganismer, slik at det er disse som utgjør den egentlige næring for bunndyrene (kfr. REMANE, 1933).

Endelig blir det resterende materiale i form av ekskrementer - "faecal pellets" - deponert på et nytt sted, til dels i ganske fantastisk antall, for eksempel 540 2 mm lange pellets pr. dag av en ca. 10 cm lang pøsemakk (Echiurus; GISLÉN, 1940). Ifølge EMERY (1963) ser det ut til at bunnmakk i sjøen i enda større grad enn metemakken på landjorden bringer sediment opp til overflaten, hvor det blir vesentlig lettere tilgjengelig for oksydasjonsprosesser. Sjøpølser og andre dyr kan også levere betydelig bidrag. Det er imidlertid slett ikke alle som bringer materiale nedefra og opp. Mange bunndyr ernærer seg av partikler som de ved hjelp av tentakler eller liknende fanger inn fra vannet like over bunnen. Dette er f.eks., ifølge LINKE (1939) i overveiende grad tilfelle med Polydora ciliata, en polychaet (børstemakk) som er sterkt dominerende mange steder i indre Oslofjord. Man kan således tale om en aktiv sedimentasjon i tillegg til den passive.

Mange dyr setter i ernærings- og/eller respirasjonsøyemed igang bevegelser i vannet. Ved sine egne bevegelser og forflytninger og ved ekskrementdannelser befordrer de i høy grad utvekslingen av det interstitielle vann i sedimentet og dermed de kjemiske omsetninger som er avhengig av oksygentilførsel. RITTENBERG et al. (1955) mener at metazoene (de flercellede dyr) ved sin aktivitet bringer mange tusen ganger mer oksygen i kontakt med

det organiske stoff i sedimentet enn det som opprinnelig fantes i det interstitielle vannet.

Hvor langt ned i sedimentet dyrenes bearbeidelse gjør seg gjeldende, avhenger så vel av sedimentet som av arten og størrelsen av de dyr som er aktive. På forskjellige stasjoner i ca. fem tusen meters dyp fant LAUGHTON (1963) en vertikal spredning av sedimentets overflatemateriale på 5 cm, det samme fant ENEQUIST (1949) i Skagerak. Men ifølge BRUUN & WOLFF (1961) er det fra dyphavet kjent eksempler på blanding ned til minst 40 cm. På kontinentalhyllene regner HAYES (1964) med blanding ned til 5-10 cm under sedimentoverflaten, og dette stemmer som regel godt med det foreliggende materiale fra Oslofjorden, bortsett fra de områder hvor bunndyr på grunn av hydrogen-sulfid (svovelvannstoff,  $H_2S$ ) ikke kunne trenge ned.

Hvor langt ned i sedimentet bakterievirksomhet gjør seg gjeldende, finnes der også forskjellige oppgaver over. ZOBELL (1946) fant at bakterietallet fra de øverste 2,5 cm til de neste 2,5 cm av sedimentet på ca. 1000 m dyp utenfor Los Angeles, minket til 2,5% - 3,3%. Ifølge HAYES (1964) er det først nedenfor blandingslaget at reduksjonen i bakterietallet setter inn, og den avtar da med dypet etter en logaritmisk skala. Først avtar mengden av aerobe bakterier; anaerobe bakterier er aktive ned til 40-60 cm, under hvilket dyp de synes å dø ut (ZOBELL, 1938; fide HAYES, 1964). I bunnen av sine fire fot lange sedimentkjerner fra California Basin fant imidlertid EMERY & RITTENBERG (1952; fide WOOD, 1963) levedyktige bakterier, og MORITA & ZOBELL (1955) fant levedyktige aerobe så vel som anaerobe bakterier mer enn 3 m fra sedimentoverflaten i 4-5 tusen meters dyp i Stillehavet. Det er imidlertid å bemerke at der ble funnet et oksyderende miljø med høyt positivt redokspotensial (Eh) i alle kjernedyp. I rak motsetning til forholdene i kystfarvann, viste hverken pH eller Eh noen variasjon med dypet i sedimentet. Det vites dessuten ikke noe om i hvilken grad bakteriene var aktive in situ. Det faktum at noen prøver var negative, ble tatt som tegn på at man hadde funnet den nedre grense for levende vesener. Indirekte, på grunnlag av den med dybden i sedimentet økende konsentrasjon av ammoniakk ( $NH_3$ ), sluttet RITTENBERG, EMERY & ORR (1955) at bakteriologisk

aktivitet forekom minst ned til 400 cm i sedimentet på seks til tretten hundre meters dyp utenfor California. Dette hviler dog på den forutsetning at sedimenterings- og omsetningsforholdene ikke har forandret seg. Ifølge ZOBELL (1957) er levende bakterier påvist i bunnen av de lengste kjerner som til da hadde vært undersøkt (800 cm), og han uttrykte den formening at det største dyp i sedimentet hvor de kan leve, sannsynligvis først og fremst bestemmes av tilgangen på næring.

Foruten ved bevegelser i vannet kan oksygen tilføres lokalt ved fotosyntese av planter, ikke bare av planktoniske alger i vannet og fastsittende alger (tang og tare) langs strendene, men også av et belegg av mikroskopiske alger i sedimenteringsområder av bunnen når denne er godt belyst. Av sådanne bunnområder har vi særdeles lite i Oslofjorden; men i mange andre lands kystområder har de vid utstrekning. Ved dette bestander av bunndiatoméer eller ålegress (Zostera) fant LINKE (1939) om dagen betydelig overmetning med oksygen, opp til 255%.

Den sone hvor oksygentilførselen er rikelig, er blitt kalt  $O_2$ -sonen (BORCHERT, 1965). Den kan strekke seg fra overflaten og like til bunnens øvre lag og er karakterisert ved et rikt dyreliv både pelagisk og på bunnen (benthonisk).

I grunnen er der ingen prinsipiell forskjell på den bløte bunnens øvre lag og vannet over dette, som jo også inneholder partikler. Sjøvann er den dominerende bestanddel i begge tilfelle, og enkelte steder med sterk sedimentering og liten vannbevegelse er overgangen gradvis, som en tykk suppe. Men konsentrasjonen, både av partikler og dyr, og særlig av bakterier, som for de aller flestes vedkommende er knyttet til et substrat (SVERDRUP et al., 1942) er vesentlig større på bunnen (ZOBELL, 1957).

Tykkelsen av det oksyderte lag er, ved rikelige oksygenmengder i vannet, større i grovt sediment (sand) enn i fint (slam) og kan i betydelig grad forøkes ved en tett bestand av bunndyr (LINKE, 1939).

Ved mindre rikelig tilgang på oksygen, slik som det vanligvis vil være et lite stykke nede i sedimentet, og i stagnerende vannmasser kanskje langt opp gjennom vannsøylen, vil dyrenes så vel som bakterienes forbruk av oksygen og produksjon av karbondioksyd (kullsyre) medføre viktige forandringer i det kjemiske miljø.

Redoks-potensialet, (oksydasjonsevnen, Eh), avtar og surhetsgraden tiltar (pH synker). I tillegg til den ved respirasjon produserte karbondioksyd kan organiske syrer dannet ved bakterievirksomhet bevirke en ytterligere reduksjon av pH (EMERY & STEVENSON, 1957). Den sonen hvor disse forhold dominerer er blitt kalt CO<sub>2</sub>-sonen (BORCHERT, 1965).

Midt i CO<sub>2</sub>-sonen, vanligvis noen cm eller dm nede i sedimentet, finnes et meget markant minimum i pH sammen med en drastisk reduksjon av redokspotensialet (BORCHERT, 1965). Faunaen i CO<sub>2</sub>-sonen består av et begrenset antall arter som kan klare seg ved de lave oksygenpenninger, og mot grensen for den nedenforliggende sone er der ikke mange representanter for høyere livsformer å finne.

Nedenfor CO<sub>2</sub>-sonen kan man finne en sone hvor alt oksygen er oppbrukt, og det organiske materiale av denne grunn ikke kan dekomponeres fullstendig (BORCHERT, 1965). En konsentrasjon av organisk materiale vil derfor finne sted i bunnsedimentet, hvor det ved bakterievirksomhet vil undergå en anoksiske dekomposisjon, som er langsom. Den typiske anoksiske fermentering resulterer i en akkumulering av enkle organiske molekyler som fettsyrer. For spalting av keratin og lignin synes oksygenholdig miljø å være en betingelse, og disse stoffer vil bare angripes av spesielle bakterier. Ligniner synes å være de mest stabile av de vanlige organiske polymerer. På en måte som ennå ikke er kjent, blir det organiske stoff under anoksiske forhold etter en bare delvis dekomposisjon med tiden lagret som petroleum (KAPLAN & RITTENBERG, 1963).

Under fravær av oksygen vil sulfater i sjøvannet av spesielle bakterier reduseres, først til svovel og dernest til hydrogen-sulfid (BORCHERT, 1965). Sulfatene representerer således en betydelig oksygenreserve. Ifølge EMERY & HÜLSEMANN (1962), var den mengde oksygen som i form av oppløste sulfatjoner var tilgjengelig for anaerobe bakterier i Santa Barbara Basin's bunnvann, ca. 15 000 ganger så stor som den mengde oksygen som i form av oppløst gass (ca. 0,14 mg/l) var tilgjengelig for aerobe organismer. Utskiftningen av det sterkt sure sulfatradikal med sulfid bidrar til å øke pH (REVELLE & FAIRBRIDGE, 1957). Det er også grunn til å tro at sulfid under disse forhold dannes ved spalting av organiske stoffer (KAPLAN & RITTENBERG, 1963; WOOD, 1963). Den alminnelige antakelse, at sulfid-dannelsen i



sjøen nesten utelukkende skriver seg fra sulfatreduksjonen, er ifølge GUNKEL (1962) en gammel overlevning som strider mot kjensgjerningene. Ifølge ZOBELL (1946) frigjøres i alminnelighet  $H_2S$  ved den bakterielle dekomposisjon av dyre- og planterester. GUNKEL & OPPENHEIMER (1961; fide GUNKEL, 1962) fant at ca. halvparten av sulfidene som ble dannet i de øverste sedimentlag skrev seg fra organiske svovelforbindelser.

Etter hydrogensulfid, som er en gass som er meget lett oppløselig i vann, og dermed lett kan spre seg, er denne sonen blitt kalt  $H_2S$ -sonen (BORCHERT, 1965). Svovel opptrer altså her som hydrogen (vannstoff) akseptor isedenfor oksygen, som er det vanlige (ved dannelse av vann,  $H_2O$ ). I et slikt anoksisisk miljø med organisk stoff vil også dettes karbon (kullstoff, C) opptre som hydrogen akseptor ved dannelsen av metan ( $CH_4$ ), som er en gass som er meget lite oppløselig i vann og derfor danner bobler. Endelig vil nitrogen (kvelstoff, N) kunne opptre som hydrogen akseptor ved dannelsen av den lettoppløselige gass ammoniakk,  $NH_3$  (HAYES, 1964). Ammoniakk er forøvrig et spaltingsprodukt fra proteinene (eggehvitestoffene) i det organiske materiale, og dannes som sådant så vel under oksiske som anoksiske forhold, og er således uavhengig av redokspotensialet (RITTENBERG, EMERY, & ORR, 1955). Ved tilstedeværelsen av molekylært oksygen (som her altså mangler) vil ammoniakken av visse bakterier oksyderes først til nitritt ( $NO_2^-$ ) og dernest av visse andre bakterier til nitrat ( $NO_3^-$ ) (KAPLAN & RITTENBERG, 1963).

Begge de to lettoppløselige gassene ( $H_2S$  og  $NH_3$ ) setter sitt meget karakteristiske preg på  $H_2S$  - sonen, den første foruten ved sin stank også ved sin giftighet, som bevirker at  $H_2S$ -sonen generelt er uten dyreliv (azois), den andre ved at den er en sterk base, som resulterer i en drastisk stigning i pH igjen fra de lave verdier i  $CO_2$ -sonen. Miljøet er ytterligere mer reduserende (BORCHERT, 1965).

Reduserende miljø har i alminnelighet forholdsvis lett for å oppstå i leire, fordi vannbevegelsene i dette tette sediment er så små at de lett kan bli utilstrekkelige til oksydasjon av det organiske materiale, som derved anrikes (KAPLAN & RITTENBERG, 1963).

I indre Oslofjord har vi altså følgende forhold: Betydelige tilførsler av gjødselstoffer og organiske stoffer kombinert med liten bevegelse i vannet gir et fint bunnsediment rikt på organisk materiale som har lett for å råtne på grunn av utilstrekkelig fornyelse av vannet både over bunnen og i sedimentet. Ved forråtnelsen forsvinner bunndyrene, og dette er en kritisk forandring, fordi mulighetene for sirkulasjon og oksydasjon i sedimentet derved blir ytterligere vesentlig forringet.

I overensstemmelse med dette var det i det råtne bunnsediment at de største konsentrasjoner av organisk stoff ble funnet (kfr. SCHEMMEKES, 1963).

I bassenger med stratifiserte vannmasser og stagnerende dypvann, slik som vi finner det i større eller mindre partier av indre Oslofjord, vil  $H_2S$ -sonen kunne strekke seg langt over sedimentets overflate.

-----

Av de anorganiske stoffene i sedimentet er jern (Fe) av spesiell interesse, blant annet fordi det forlener sedimentet med en karakteristisk farge, ved hjelp av hvilken man raskt i grove trekk kan danne seg et bilde av bunnens innhold av oksygen og hydrogensulfid (THAMDRUP, 1935; LINKE, 1939).

Ifølge GLEDITSCH (19 ) føres store mengder av jern ut i sjøen som jernhydrogenkarbonat ( $Fe(HCO_3)_2$ ) oppløst i karbondioksydholdig (kullsyreholdig) ferskvann. I alkaliske oppløsninger er toverdige jernforbindelser, som denne, bare holdbare når oksygen ikke kan komme til. I sjøens  $O_2$ -sone, som er alkalisk, vil jernhydrogenkarbonatet oksyderes til det treverdige jernhydroksyd ( $Fe(OH)_3$ ), som først opptrer i kolloidal oppløsning. Som andre kolloide metallhydroksyder er dette positivt elektrisk ladet, og vil derfor trekke til seg anjoner (negativt ladede joner) som for eksempel fosfatjoner ( $PO_4^{---}$ ). Oksyder av silicium (Si) og aluminium (Al) vil også adsorberes til jernhydroksydet (BORCHERT, 1965).

Under påvirkning av elektrolyttene i sjøvannet vil det kolloidale jernhydroksyd flokkulere (BORCHERT, 1965) og sedimenteres som et geléaktig bunnfall med sterk brunrød farge. Ved blanding

av elvevann med sjøvann til 25 ‰ saltholdighet fikk LÜNEBURG (1953) etter henstand en praktisk talt fullstendig bunnfelling av elvevannets jern.

Jern finnes også i organismene, og atskillige forskere har understreket betydningen av biologisk derivert jern i sedimentet (CHESTER, 1965). Det særdeles tungtoppløselige jern-oksyd eller -hydroksyd blir tilbake etter at dyrenes vev er gått i oppløsning og gir skallrester en mørk rød farge (CHESTER, 1965). Våre observasjoner tyder på at noen dyr i levende live samler om seg jernhydroksyd, eller eventuelt utskiller jernforbindelser, da rørene til visse bunnmakk (Spionidae) så vel som skallene til visse muslinger (Thyasira) ofte er dekket av et rustfarget belegg. Det samme ble funnet for rørene til Pygospio elegans av WOHLBERG (1927) og LINKE (1939) og i gangene til Nereis diversicolor av LINKE (1939). Ifølge LINKE virker sterke jernanrikinger kittende på sedimentet og tjener derved til feste av rørene hos mange av dyrene i Watt.

I CO<sub>2</sub>-sonens reduserende miljø er det vesentlig toverdige jernforbindelser som forekommer. Midt i CO<sub>2</sub>-sonen, hvor pH har sitt minimum (det vil si vannet er surest), er oppløseligheten av toverdige jern størst. Fra dette område vil derfor oppløst jern diffundere ut, først og fremst oppover, da vannutvekslingen med det ovenforliggende lag som regel er bedre enn med det nedenforliggende. I O<sub>2</sub>-sonen vil jernet under påvirkning av oksygenet, og det dermed følgende høye redokspotensial (E<sub>h</sub>), igjen felles som treverdige jernhydroksyd, som altså tilføres O<sub>2</sub>-sonen så vel nedenfra som ovenfra. På grunn av den reduksjon i det hydrostatiske trykk som følger av en oppadgående bevegelse, når denne er betydelig, samt den økende pH, kan imidlertid oppløst jern fra CO<sub>2</sub>-sonens midtsjikt felles som jernkarbonat (FeCO<sub>3</sub>) i CO<sub>2</sub>-sonens øvre lag (BORCHERT, 1965).

I H<sub>2</sub>S-sonen vil jernet under påvirkning av hydrogensulfid i det av ammoniakken betingede alkaliske miljø felles som jernsulfid (FeS, eller den hypotetiske forbindelse hydrotroilit, FeS · H<sub>2</sub>O), som er amorft og helt svart. Dette ble av KANWISHER (1962) karakterisert som uoppløselig. Men det ble antydnet at

den gradvise overgang fra svart til grått eller blågrått langt nede i sedimentet, kunne skyldes omdannelse av jernsulfid ( $\text{FeS}$ ) til pyritt ( $\text{FeS}_2$ ). (Pyritt danner skinnende, messingfarvede krystaller). I sediment fra nederlandsk Wattenmeer ble  $\text{FeS}_2$  funnet nedenfor  $\text{FeS}$  (EMERY & STEVENSON, 1957). Ifølge KAPLAN & RITTENBERG (1963), er det ennå ikke kjent hvorledes pyritt dannes i marine sedimenter, skjønt det er alminnelig antatt at det oppstår fra hydrotroilitt. Det synes som pyritt kan dannes i et lett oksiderende miljø og forholdsvis hurtig (KAPLAN & RITTENBERG, 1963). Et slikt miljø kan ikke finnes langt nede i sedimentet hvis dette, så vel som det ovenforliggende sediment er avsatt under anoksiske betingelser.

På grunn av den høye pH i  $\text{H}_2\text{S}$ -sonen vil silikater her gå i oppløsning og ved diffusjon til  $\text{CO}_2$ -sonens nedre lag der felles som jernaluminium-silikat (BORCHERT, 1965).

Siden oksygenet vanligvis kommer ovenfra, vil den foranstående inndeling av miljøet i soner som regel være en funksjon av dybden, med  $\text{O}_2$ -sonen øverst og  $\text{H}_2\text{S}$ -sonen nederst. Det er imidlertid ikke bare langs en vertikal akse at vi finner overganger fra en sone til en annen. Også i ett og samme nivå på samme lokalitet kan miljøet skifte karakter, med tiden. Slike forandringer er som oftest knyttet til sesongmessige variasjoner i vannets sirkulasjon. Når toppsedimentet og kontaktvannet går over fra å være  $\text{O}_2$ -sone til å være  $\text{CO}_2$ -sone, vil jernet reduseres fra tre-til toverdige jern og i betydelig mengde gå i oppløsning sammen med de til jernet adsorberte plantenæringsstoffer (HAYES, 1964). Denne prosess kan derfor tenkes å være av betydning for produksjonen av organisk stoff i området, skjønt RITTENBERG et al. (1955) fant at bidraget var relativt beskjedent.

Dersom toppsedimentet og kontaktvannet ved ytterligere svikt i oksygenbalansen går over til å være  $\text{H}_2\text{S}$ -sone, vil jernet bindes som sulfid, og de dyr som ikke kan komme seg unna, vil krepere og råtne sammen med det organiske materiale på bunnen.

## B. Sedimentets struktur

Sedimentet er av NAUMANN (1930; fide HAYES, 1964) blitt inndelt i et øvre lag som kalles det aktuelle lag, og det nedenforliggende lag som kalles det historiske lag. Bare unntakelsesvis er grensen skarp, slik at det mer dreier seg om en gradient enn en grense. På kontinentalhyllene hvor det er liten turbulens, kan grensen kanskje settes til 5-10 cm (HAYES, 1964). I det historiske lag er partiklene meget finere og tettere sammenpakket enn i det aktuelle lag. Dette gir seg utslag i en stor forskjell i sedimentets vanninnhold: Fra ANDERSON's (1939) data har HAYES (1964) beregnet at i de øverste par cm av 14 sedimentkjerner fra gjennomsnittlig 150 m dyp utenfor Massachusetts Bay var vanninnholdet i middel 67% ( $\pm 6\%$ ), mens det ca. 25 cm nede i kjernene var 48% ( $\pm 6\%$ ). Ifølge RITTENBERG et al. (1955) avtar vanninnholdet fra sedimentoverflaten og nedover etter en nesten hyperbolisk kurve "if the sediment is uniform in grain size with depth". Forfatterne mener at dette er et resultat av "compaction" (sammenpakking? sammentrykking?) og at vannet som klemmes ut ("is squeezed out") må unnsnippe ("escape") oppover gjennom sedimentet. I litteraturen støter man rett som det er på den oppfatning at bunnsedimentet presses sammen av den svære vekten av vannsøylen over. Men etter nærværende forfatters syn, er dette en feilslutning som er analog med den tidligere alminnelige oppfatning at ingen levende vesener kunne finnes på de store havdyp på grunn av det store vanntrykket. Partiklene i sedimentet ligger i virkeligheten i vann, og da vanntrykket er like stort i alle retninger, er ikke sedimentet utsatt for annen belastning enn vekten. (i vann) av det ovenforliggende sediment; og i nærheten av sedimentets overflate, hvor den store reduksjon i vanninnhold finner sted, er denne vekten særdeles liten. PETERSSON (1954) fant at "even the longest core (15 meters) does not give any unquestionable evidence of expulsion of water by compaction". I tidevannssonen derimot, hvor vanntrykket er minimalt, kan en viss sammenpakking lett tenkes idet sedimentet ved lavvann dreneres (kfr. LINKE, 1939).

En rimelig forklaring på reduksjon i vanninnhold nedover i sedimentet får man allerede ved å observere sedimentkjerner i glassrør med alt vannet både i og over sedimentet i behold.

Holder man røret vertikalt og skrur det raskt frem og tilbake om sin egen akse, f.eks. ca.  $45^{\circ}$ , vil man kunne se at en større eller mindre del av sedimentkjernens øverste parti er så løselig sedimentert at det ikke følger med glassets bevegelser. Bare rent unntakelsesvis mangler et slikt løst toppsjikt i våre sedimentkjerner fra Oslofjorden. Enkelte steder er det bare en eller to millimeter tykt, oftere er det 1/2 cm til 1 cm, men den nedre grense for det løse lag er da som regel umulig å definere, da overgangen til fastere sediment er gradvis. Uavhengig av dypet (vanntrykket) er tykkelsen av det løse lag alltid betydelig større i råttent enn i friskt sediment. Dette kommer også til uttrykk i følgende analyser.

I de øverste 2 cm av det svarte topplag i to sedimentkjerner fra ikke angitte dyp og lokaliteter (!) i Oslofjorden (stt. 19 og 20) ble det av NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT (1962) funnet de meget betydelige verdier av 85% og 88% vann (dypvannets vanninnhold er ikke mer enn 96,6%, resten er salter), mens det i leiren 8 cm nede i de samme kjerner ble funnet henholdsvis 51% og 56% vann. Til sammenlikning kan anføres at i det brunlige topplag (2 cm) fra 80 m dyp mellom Bjerke og Rødskjær (St. 22 A) ble der ved samme institutt funnet et vanninnhold på 73%, mens det nede i leiren 9 cm fra toppen ble funnet 60% vann. Dette stemmer tilsynelatende ikke med at man (loc. cit.) i samme dyp (82 m) mellom Helvik og Skjærholmene i Bunnefjorden (st.21) fant bare 63% vann i det svarte, sulfidholdige topplag.

Heldigvis har vi tatt atskillige sedimentprøver fra samme område både til samme tid og senere. Vår st. 34, 1962 (fig.1) ligger ganske nært omtalte st. 21. Posisjonen fremgår av kartet, fig. 19. Man bør merke seg at på gråskalaen som alltid er blitt fotografert sammen med sedimentkjernene, er det øverste felt nesten så svart som det i et tilnærmet plan går an å få noe til å se ut, nemlig på velurpapir. Under linjalen er vanlig svart papir. Det vil si at for det blotte øye ser de øverste 10 cm av sedimentet ved en overfladisk betraktning svart og ensartet ut. Ved fotografisk teknikk, som vi etterhvert har forbedret, lar det seg imidlertid gjøre å få frem detaljer. Ved nærmere studium av fig. 1 kan man skimte tallrike pellets i alle fall fra 3-7,5 cm kjernedyp. Tydeligere kommer dette frem

i fig. 2 og fig. 11, som viser en kjerne tatt vel tre år senere på så nær som mulig samme lokalitet. På grunn av relativt rikelig oksygentilførsel i den mellomliggende tid, var topplaget i 1966 blitt lysere enn det nedenforliggende sediment, men det skal vi komme tilbake til. Det som er viktig i nærværende sammenheng, er den overveldende mengde av ekskrementer, som viser at lokaliteten, som i 1962 var desidert rått og uten dyreliv, selv om den- hva det fremgår av den mørke fargen- lenge har vært meget dårlig, ikke hadde vært uten dyreliv i lang tid, og at prøven med det relativt lave vanninnhold (63%), som i dette tilfelle omfattet de øverste 6,5 cm av kjernen, også omfattet materiale som hadde vært grundig bearbeidet av dyr.

Av fig. 2 fremgår at de øverste 3 - 5 mm av sedimentet hadde en diffus karakter. Det er materiale som ennå ikke er blitt bearbeidet av dyr. Ifølge foregående kapittel, skulle det bestå blant annet av flokkulert leire og jernhydroksyd med adsorberte anjoner og organiske fragmenter og aggregater. Spesielt påfallende blir dette lag i de unntakelsestilfelle da bunnvannet er oksygenrikt, men faunaen er sparsom eller mangler på grunn av tidligere oksygenmangel. En slik situasjon fant vi i Ulsvik-området i Bunnefjorden i februar 1963. På toppen av det svarte sediment lå der da et ca. 3 mm tykt lag av mekanisk uforstyrret, amorft sediment med sterk rustrød farge. På samme lokalitet var sedimentets topplag i oktober 1962 svart og stinkende, se fig. 1.

Ved vedvarende oksygenmangel vil det løse, svarte topplag kunne få en betydelig tykkelse. I prøve nr. 18, 1966 (fig. 12) hadde de øverste 5 cm av sedimentet en geléaktig (nesten suppeaktig) konsistens, og ved mikroskopisk undersøkelse ble ingen pellets funnet i de øverste 2 cm. Det ser ikke ut til at sedimenterte pellets fra den pelagiske fauna formår å sette sitt preg på bunn sedimentet. Dette fenomen kan for det første forklares ved at bestanden av makroplankton i indre Oslofjord er liten (kfr. BEYER, DYBWAD & VERSVIK, 1966), dessuten ved at ekskrementene til planktoniske former som Calanus lett ødelegges i motsetning til ekskrementene fra de fleste av de viktige mudderboende dyr, hvis pellets tåler såvel uforsiktig håndtering som koking med svovelsyre eller sterk kaustisk soda uten å gå i stykker (MOORE, 1931 b).

Foruten av oksygentilførselen, vil tykkelsen av det løse lag selvfølgelig også være avhengig av sedimenteringshastigheten for organisk materiale, som igjen avhenger av tilførselen og produksjonen av sådant materiale i området så vel som av vannets bevegelseshastigheter.

Ved tilstedeværelsen av bunnfauna vil sedimentets topplag, så vel som i vannet suspenderte partikler, spises av noen av bunndyrene, til dels via mikro-organismer, snderdeles om nødvendig, delvis forbrennes og forøvrig deponeres som ekskrementer. På denne måten blir toppsjiktets amorfe og løstliggende materialer så vel som større og mindre organiske fragmenter og kadavre omgjort til mindre vannholdige enheter, pellets. Dette representerer første trinn av sedimentets sammenpakking.

Ved sterk aktivitet av polychaeter kan man finne tette, lokale ansamlinger av pellets på sedimentoverflaten omkring polychaetrørene, slik som det - riktignok etter en måneds henstand - ble funnet ved mikroskopisk betraktning av prøve nr. 29, 1966. Det samme fenomen har vi observert i våre akvarier. Forøvrig kan selve polychaetrørene være kittet sammen av pellets.

De omtalte røde og svarte farger i topplaget viser tydelig innflytelsen av kontaktvannets oksygeninnhold. Påvirkningen mellom vann og sediment er imidlertid gjensidig, og av denne grunn vil der i vannet like over sedimentet så vel som i det interstitielle vann lett danne seg overordentlig sterke gradienter i oksygenfordelingen. På grunn av metodiske vanskeligheter (vannet over sedimentet i prøverørene kan ikke anses som representativt), har vi dessverre ingen data til belysning av dette særdeles viktige fenomen. Oksygenverdiene fra prosjektets hydrografiske undersøkelser kan i denne sammenheng bare benyttes forsåvidt som de viser når utskiftninger fant sted, men gir slett ikke de aktuelle verdier langsmed bunnen. I januar 1966 tok vi i tilknytning til sedimentprøvene på fire stasjoner også vannprøver med Nansens vannhenter så nær bunnen som det med denne teknikk er mulig, det vil si  $1\frac{1}{2}$  m over. Ved å flytte fartøyet litt, klarte vi å få vannhenteren i samme dyp som vi hadde hentet sedimentet fra. Som vi kan se av tabell I (s.24) og de tilsvarende figurer (fig. 3-12), var overensstemmelsen mellom sediment og oksygenobservasjoner bare moderat.



Under det amorfe t o p p l a g som unntakelsesvis bare er andydningsvis representert, finner vi i nesten samtlige av våre prøver et lag som er fullstendig dominert av faecal pellets, se fig. 2. For dette lag innføres betegnelsen m e l l o m l a g. På grunn av ekskrementenes avrundede fasong og relativt betydelige størrelse (størrelsesorden  $\frac{1}{2}$  mm) blir det plass til atskillig vann omkring ekskrementene. Presumptivt gjennom angrep av mikro-organismer utsettes ekskrementene for fysiske og kjemiske påvirkninger som resulterer i en gradvis destruksjon og mineralisering. Derved får sedimentet mer og mer karakter av leire, og i et visst kjernedyp har alle pellets mistet sin struktur og er blitt til en i alle fall tilsynelatende ensartet deig av leire. Dette representerer annet trinn av sedimentets sammenpakking.

Det fremgår av ovenstående fremstilling så vel som av alle sedimentfotos i nærværende rapport (og et stort antall arkiverte fotos) med tilfredsstillende skarphet og forstørrelse at den partikkelstørrelse som finnes med vanlig geologisk metodikk (kfr. CHRISTIANSEN, 1958), ikke gir en fyldestgjørende karakteristik av sedimentet in situ. Den øvre del av sedimentkjerner fra indre Oslofjord ble således funnet vesentlig å bestå av partikler mellom 0,004 og 0,02 mm (NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT, 1962). I virkeligheten inngår disse partikler i topplaget i en amorfmasse og nedenfor dette er de pakket sammen i pellets ned til et visst dyp. Utilstrekkeligheten av den konvensjonelle metodikk og betydningen av pellettdannelsen i sedimentet ble påpekt av MOORE (1931 a, 1931 b).

For så vidt som lakunene mellom pellets representerer et forbindelsessystem med overflaten, er det kanskje rimelig å sette den nedre grense for forekomsten av pellets som grensen mellom det aktuelle lag og det historiske lag; men helt riktig er det ikke, da de nederste spredte pellets ikke gir noe lakunesystem. Til gjengjeld har vi ikke så sjelden funnet enkelte levende polychaeter eller ganger etter sådanne et godt stykke nede i den forøvrig tettpakkede leiren (se f.eks. fig. 5).

I tab. I er de ti sedimentkjerner som ble tatt i januar 1966 arrangert etter tiltakende mørkhet. I grove trekk faller dette sammen med tiltakende avstand fra sedimentets toppflate og ned

til den ensartede leiren, hvilket stemmer overens med det forhold at mineraliseringen foregår langsommere ved mangel på oksygen.

T a b e l l I

Prøve 1966 nr.	Dyp m	Avstand ned til leire uten pellets cm	Fig. nr.	O <sub>2</sub> , mg/l, i vann- hønterprøver fra samme dyp like ved
65	96	7	3	6,87
29	54	5	4	
8	95	7	5	1,11
26	26	5,5	6	
9	73	6	7	
19	41	5,5	8	
35	74	8	9	
53	84	9	10	0,21
34	91	10	11	
18	116	11,5	12	0,90

I tabellen er sedimentkjerner arrangert etter avtakende kvalitet ved prøvetakingen. Beliggenheten av stasjonene fremgår av kartet for 1962 (fig. 19), samme stasjonsnummere. På kartet for 1965/66 (fig. 20) er disse stasjonene bare angitt med dyp.

Avstanden ned til leiren i sedimentet varierer med lokalitetene således at den er minst hvor anoksiske tilstander aldri forekommer (se f.eks. prøve nr. 55, 1962; fig. 21) og størst i de sterkeste forurensede bassenger. Den største avstand til leiren, 32 cm, ble funnet på 22 m dyp ved Grønlien (st.20, 1962).

I de anoksiske bunnområder må vi regne med at avstanden til leiren er proporsjonal med produktet av sedimenteringshastigheten og tiden som er gått siden anoksiske tilstander satte sitt preg på sedimentet. Da sedimenteringshastigheten må ansees for å være temmelig forskjellig i de forskjellige bassenger, kan vi ikke uten videre ved å sammelikle tykkelsen av det svarte lag på forskjellige lokaliteter i fjorden få en oversikt over forråtnelsens kronologi.

Fra undersøkelser av langgrunne kystområder i utlandet (f.eks. KANWISHER, 1962) får man det inntrykk at sedimentet vanligvis er svart fra et lite stykke under sedimentoverflaten. Sedimentoverflaten kan rimeligvis ikke være svart fordi den er utsatt for tidevannsstrøm, bølger eller sogar periodevis kontakt med luften og dessuten ligger i den euphotiske sonen. Ifølge KAPLAN & RITTENBERG (1963) innholder estuarier, laguner og sumper "fed by streams" vanligvis svart sediment. Forklaringen på fenomenet må være at avsetningen av organisk materiale er overveldende i forhold til oksygentilførselen gjennom det tette sediment. Bortsett fra Frognerkilen, hvor forholdene er meget spesielle, omfatter ikke nærværende undersøkelser langgrunne områder, og vi fant som regel bare nyanseforskjell i fargen på topplaget og mellomlaget. I de tilfeller da en tydelig fargeforskjell ble funnet, kunne dette alltid korreleres til foranderlige tilstander, det vil si at topplaget og mellomlaget ikke var blitt sedimentert under samme forhold mellom organisk stoff og oksygen.

I 1962, da hydrografiske data så vel som rapporter fra fiskere bar tydelige vitnesbyrd om oksygenmangel i store deler av indre Oslofjord, fant vi mange steder at topplaget, og som regel da også øverste del av mellomlaget, var vesentlig mørkere enn den nedenforliggende del av mellomlaget. Et eksempel på en slik situasjon er prøve nr. 35, 1962; fig.1. På enkelte andre lokaliteter, hvor bunnen vanligvis hadde vært friskere og mellomlaget derfor betydelig lysere, var kontrasten mellom det øverste mørke og det nedforliggende sediment langt større; særlig fremtredende var fenomenet på st. 33, 1962 (kfr. kartet, fig. 19) og st. 53, 1962 (fig. 21). Da mellomlaget ikke kan bli friskere så lenge topplaget er dårlig, er en slik sedimenttype bevis på seg forverrende tilstander på vedkommende lokalitet. Da et enkelt kadaver kan bli opphav til en mørk flekk i et forøvrig lyst sediment, kreves imidlertid bekreftende prøver (som vi har mange av).

Det samme resonnement og bevis gjelder også når mellomlaget er mørkere enn det nedenforliggende dyplag.

Det omvendte forhold, at topplaget er betydelig lysere enn mellomlaget, behøver ikke være noe bevis for at forholdene har forbedret seg. Det kunne jo tenkes at sedimentet kunne ha blitt mørkere etter at det var blitt dekket, slik som omtalt for de grunne mudderbanker. Vår erfaring fra Oslofjorden går imidlertid ut på at den oksygenfattige perioden i 1962 på lokaliteter hvor faunaen vanligvis er sparsom, etterlot et mørkt belte i den øverste delen av mellomlaget (ca. 1-2 cm kjernedyp), som ennå var godt synlig i august 1965 og fremdeles kunne spores på st. 34 og 35, 1966; figs. 2, 11 og 9. Observasjoner ved Rudstrand og Ingierstrand i Bunnefjorden i januar 1964, september 1964 og august 1965 viste at den øverste 1 cm eller så av sedimentet, som i 1962 var helt svart, først ble rustrød - slik som observert ved Ulsvik i februar 1963 - med enkelte svarte partikler, dernest rødbrun, brun og gråbrun, stadig med svarte partikler. I områder med bedre vannsirkulasjon og rikere fauna ble mellomlaget formodentlig gjennomarbeidet av denne slik at alle spor etter råttenskapen derved ble utslettet, slik som tilfellet var i Nordstrand-bassenget (st.19, 1966;fig.8) og ved Springerens (st.18, 1965; fig.23).

Overgangen fra pellets til leire, eller med andre ord fra mellomlag til dyp lag er som regel ganske gradvis, og grensenivået derfor ofte vanskelig å fastslå; i særdeleshet gjelder dette de friske lokaliteter (se f.eks. fig. 21; nr. 55, 1962). På noen lokaliteter har vi funnet en meget skarp overgang fra mørkt sediment med pellets til lys leire. Prøve nr. 6, 1962 fra Bekkelags-bassenget (fig. 19) og nr. 35, 1966 (fig. 9) er eksempler på dette fenomen. Det kan tenkes at en slik skarp grense er fremkommet ved lokale forskyvninger, ras, i sedimentet. Men det er kanskje vel så sannsynlig at den skyldes en forholdsvis brå overgang fra oksiske til anoksiske tilstander i sedimentet, for eksempel ved at en aktiv fauna er blitt utryddet under en oksygenkrise. De aller fleste prøver fra dypet av de bassenger som nå vanligvis er råtne, viser en overgangssone med mørk leire like over den lyse leiren, slik som man kan se for eksempel i prøve nr. 18, 1966(fig. 12). Den frynsete underkant av de mørke soner er sannsynligvis et perifert fenomen fremkommet ved at noe av det fine sediment er blitt hengende igjen på glassveggen under prøvetakingen. Men de trinnvise

fargeforandringer kan neppe forklares på denne måte. Det må anses som et overordentlig viktig faktum for vurderingen av forholdene i Oslofjorden at vi, til tross for den beskjedne lengden av våre sedimentkjerner, i samtlige prøver uten unntakelse har funnet lys leire i en viss avstand fra sedimentoverflaten og nedover.

### C. Eksperimentelle studier

#### 1. Akvarieforsøk

Ved Institutt for marin biologi har vi i mange år holdt forskjellige dyr fra Oslofjordens bløtbunn i et akvarieanlegg som består av 10 fem-liters akrylkar, nummerert fra 1 - 10, som står i tussmørke og har gjennomgående kjølespiral av glass og individuell vanntilførsel fra et belyst førti liters glasskar, kalt A, med alger. Fra forsøksakvariene ledes vannet via en pumpe som drives av trykkluft til et filter med sand og aktivt trekull. Etter å ha gått gjennom filteret renner vannet til algekaret. På bunnen av forsøksakvariene er det mudder fra dypet av Vestfjorden, Alle karene er forsynt med lokk.

I oktober 1965 startet vi et utholdenhetsforsøk med forskjellige representanter for Oslofjordens bløtbunnsfauna, hvorav de fleste hadde levd i akvariet siden 1. september, noen siden 2. april og noen siden 1. oktober samme år. Den 5. oktober, da forsøket ble startet, var det i hvert av akvariene 1 og 2,  $\frac{1}{2}$  til 1 dusin små rørbyggende polychaeter (Sabellidae) og 30-40 små muddergravende krepsdyr (Cumacea: Diastylodes serrata, Leucon nasica, Eudorella emarginata). I hvert av akvariene nr. 3 og 4 hadde vi en trollhummer (Munida sp.) og i nr. 3 dessuten to små dypvannsmuslinger (Pecten abyssorum). I akvarium 5 var det fire mudderreker (Pontophilus norvegicus) og en stor og to små slangestjerner (Ophiura sp.). I akvarium 6 var det fem mudderreker. I akvarium 7 var det ca. ett dusin små rørbyggende polychaeter (Polydora ciliata), store krypende polychaeter (8 - 10 Ophiodromus flexuosus og en Harmothoë sp.), en amphipode (Stegocephalus inflatus) og en reke (Spirontocaris lilljeborgi). I akvarium nr. 8 var der det samme som i nr. 7 med unntakelse av Harmothoë sp.

og Stegocephalus, dessuten var der en liten reke (Pandalus sp.juv.). I hvert av akvariene 9 og 10 var der en stor reke (henholdsvis Pandalus borealis og P. propinquus) som ble holdt utenfor forsøket. Temperaturen i forsøksakvariene ble holdt på ca. 6-8°C og saltholdigheten var ca. 33,8 ‰. Dyrene ble foret med små krepsdyr (levende Artemia og dypfrossen rødåte (Calanus)) samt i nr. 1 og 2 også mikroskopiske alger (Clamydomonas).

Den 5. oktober ble sjøvannstilførselen til akvariene nr. 1, 3, 5 og 7 stengt, og den ble holdt avstengt til og med den 19.november. Dette førte rimeligvis med tiden til en sterk opphopning av stoffskifteprodukter som etter nitratkonsentrasjonene å dømme, etter vårt skjønn var større enn de konsentrasjoner som dyrene noengang utsettes for langs bunnen i fjorden. På grunn av kontakten med luften og konveksjonsstrømmer forårsaket av kjølespiralene, som lå nær vannflaten, inntrådte ingen oksygenmangel. Den 17. november var det fremdeles mer enn 8 mg O<sub>2</sub>/l i alle de avstengte kar. Samme dato ble vannprøver tatt ca. 0,5 cm over bunnen i akvariene 1 - 9 samt algekaret og mikroskopert i mørkefelt. Der var da massevis av bevegelige bakterier, mange av dem i deling, i akvariene nr. 3, 5 og 7, en del i nr. 4, noen få i nr. 6 og nesten ingen i de øvrige kar.

Den 19. november ble vannprøver sendt til analyse ved NIVA med resultater som angitt i tabell II.

T a b e l l   I I  
Analyser av prøver av akvarievann  
tatt 19. nov. 1965

Akvarier	pH	Orto- fosfat-P γ / l	Total- fosfat-P γ / l	Nitrat- N γ / l
A	8,03	7	15,5	68
2	7,82	11,5	49	98
4	7,88	16	44	185
6	7,92	16	25,5	135
8	7,74	35	89	210
1 av- stengt	7,75	73	138	283
3 "	7,67	49	77	2080
5 "	7,57	85	166	1330
7 "	7,60	48	132	1850

Som vi ser, bevirket dyrenes tilstedeværelse- og foringen - en senkning av vannets pH og en økning av fosfat- og nitratinnholdet som var særlig utpreget i de avstengte kar med store dyr (karene nr. 3, 5 og 7), de samme kar hvor også vannet vrimlet av bakterier.

Under forsøket ble det funnet to døde Leucon og to døde Diastylodes i kar nr. 1. Trollhummeren i kar nr. 4 (med sirkulasjon) døde også, men den hadde på forhånd mistet begge klør. Etter et par uker ble Stegocephalus og Polydora og formodentlig noen av Ophiodromus spist av Spirontocaris. Forøvrig så alle dyr ut til å trives like til den 19. november, med unntakelse av mudderrekene i kar nr. 5 som de siste par dager virket nokså likegyldige overfor berøring. Men de holdt seg alle nedgravet, hvilket vanligvis er tegn på at de er friske; det kan jo tenkes at de var blitt lei av alle reaksjonsprøvene. Kontrollkaret, nr. 6, sto i bakre rekke.

Dette forsøket styrker den alminnelige antakelse at av de faktorer som vanligvis følger med vannets stagnasjon, er det ikke opphopninger av stoffskifteprodukter, ei heller bakterier, som er direkte ansvarlige for bunnfaunaens forsvinnen, men oksygenmangel og eventuell forgiftning med  $H_2S$ . Som ledd i et forsøk på å utvikle oksygenmangel ble kjølespiralene i noen av akvariene den 25. november (ingen ytterligere dødsfall til da) lagt ned på bunnen for at det ikke skulle bli konveksjonsstrømmer i disse karene. Men derved oppsto dessverre lekkasje på kjølesystemet med den følge at det kom noe alkohol ut i vannet. Dette resulterte i atskillige dødsfall, slør av tråddannende alkoholofile bakterier, ubevegelige, Gram-negative staver, oksygenmangel og forråtnelse. Oksygenmangel var jo tilsiktet, men ikke så plutselig, og vi kan dessverre ikke si i hvilken grad dyrenes oppførsel og helsetilstand var forårsaket av oksygenmangel og hva som skyldtes alkohol. I overensstemmelse med våre tidligere erfaringer kom gravende former (polychaeter, cumacéer, mudderreker) opp av mudderet før de døde. (LINKE (1939) har beskrevet hvordan Polydora ciliata ved oksygenmangel i akvariet straks kryper ut av sitt rør, som den ellers ikke forlater. Store lik ble fjernet etterhvert, men likevel

var rimeligvis konsentrasjonen av organisk stoff (små lik, detritus, fór-rester) størst på sedimentets overflate; muligens er konsentrasjonen av forråtnelsesbakterier her størst. Man må også regne med at i hvert fall ved en rask overgang fra oksiske til anoksiske tilstander, vil konsentrasjonen av jern være størst i sedimentets aller øverste lag, utfelt som treverdige jern fra det tidligere oksygenholdige vann og tilført som oppløst toverdige jern nedenfra mudderet under dettes CO<sub>2</sub>-fase. Således kan man forklare det faktum at sedimentet ble svertet fra overflaten, som det fremgår av fig. 13 (fotografert 4/1- 1966).

Rester av dyr, som de to V-formede Polydora-rørene på bildet, dannet spesielt svarte kjerner nede i mudderet så vel som ovenpå.

Etter hvert forplantet svertingen seg nedover fra sedimentoverflaten og i voksende avstand rundt kadavre, med det resultat at hele sedimentet ble svart. Ved ytterligere langvarig henstand ved romtemperatur uten vannsirkulasjon eller inngrep begynte sedimentets overflate å anta en rustbrun farge.

Da hele anlegget etter katastrofen måtte legges om, rakk vi ikke å gjøre flere forsøk.

## 2. Kjernestudier

Sedimentkjernene som ble tatt 14. januar 1966 ble lagret i mørke i stående stilling på loftet, hvor temperaturen til å begynne med holdt seg i nærheten av 0°C. Den 10. febr. ble det målt +3°C i rommet, men prøvene var ikke frosne. En ovn ble deretter satt opp. Denne og de følgende dager ble prøvene studert under stereomikroskop uten å forstyrres på annen måte enn ved å skråstilles og skrus rundt sin egen akse, samt i kort tid å utsettes for mikroskoplampens punktlys, som ved sin varmekraft forårsaket lokale strømninger i det interstitielle vannet. Fra prøvene nr. 18 og nr. 65 ble dessuten små sedimentprøver tatt fra det øverste lag (ovenfra) og fra det nederste lag(nedenfra) ved hjelp av tynne glassrør. Under den fortsatte lagring steg temperaturen, men til å begynne med langsomt, og var den 20. april da prøvene



på ny ble inspisert, kommet opp til  $12^{\circ}\text{C}$ . Ved neste inspeksjon, 2. juli, var temperaturen nær vanlig romtemperatur, ved hvilken de senere er blitt lagret. Nedenfor følger hovedtrekkene av utviklingen i rørene, som behandles i samme rekkefølge som de er oppført i tabell I (s.24, hvor beliggenhet er omtalt) og fig. 3-12. Prøvene ble fotografert fra nøyaktig samme radius i juli som i januar. Fargekoder refererer til KORNERUP & WANSCHER (1963). Gråskalaverdier refererer til Agfa-skalaen som alltid ble fotografert sammen med kjernene. Den har 12 felter fra svart (S) øverst over 9,8,7,6,5,4,3,2, 1,0 til hvitt (W) nederst. S+ betyr svartere enn det mørkeste felt på skalaen.

Prøve nr. 65 tatt 14. jan. 1966, fig. 3.

10. febr.: Ingen synlige forandringer.  
2. juli: De relativt mørke soner ca. 0,5 cm - 1,5 cm og 3,5 cm-5 cm fra toppen nesten borte. Mørkt belte (gråskala 8) dannet i 8,5 cm - 9 cm og mørke flekker (gråskala 7,5) i 9-15 cm kjerneydyp.  
15. okt.: 1 mm løst, rustbrunt topplag.

Prøve nr. 29, tatt 14. jan. 1966, Fig.4.

Små gummibiter fra ventilslangen i prøven.

10. febr.: Ingen særlige forandringer.  
2. juli: Rustfarget bunnfall (5C7 brungul) 0 - 0,5 mm. Belegg av samme på glassveggen opp til 3 cm over sedimentets topp. Mørke innslag 0 - 4 cm.  
Svakt mørkt belte 7 - 8 cm.

Prøve nr. 8, tatt 14. jan. 1966. Fig. 5, 14 og 15.

14. jan.: (Fig. 5 & 14): Rødbrun 0 - 1,5 cm, mellomgrå 1,5 - 11,5 cm; med mørke prikker 0 - 6 cm; lysegrå 11,5 - 16 cm.  
10. febr.: Fremdeles rødbrun i toppen, men bare de øverste par mm dominert av denne farge; resten grå.  
2. juli (Fig. 15): 1,5 - 2 mm tykt orange (6B7) sjikt i topplaget. Måling fra kalkfragment nede i kjernen viste at orangebeltet i dette tilfelle har dannet seg i, ikke ovenpå sedimentet. Svart polychaet i ca. 0,5 - 1 cm. (Sprekken i ca. 6,5 cm skyldtes vanntap gjennom nedre kork.)  
15. okt.: Liten svart polychaet i 7,5 - 8 cm.

Prøve nr. 26, tatt 14. jan. 1966. Fig. 6.

14. jan.: Tallrike rustbrune polychaetrør på toppen.  
10. febr. Ingen påtakelig forandring.  
2. juli: Polychaetrørene på toppen er blitt til et ca. 2 mm tykt svart lag. Svarte polychaeter i 2 - 4 cm. Svart belegg på glassrøret opp til 9 cm over sediment-topp.

- Prøve nr. 9 tatt 14. jan. 1966, fig. 7 og 16.
14. jan.: (Fig. 7): Brunt (gråskala 8,7) 0-2 cm.
10. febr.: Brunlig grått 0-2 cm med svarte (gråskala S+) 0-0,5 cm; svart og mellomgrått (gråskala S+ og 8,5) 0,5-2cm.
20. aug.: Sterkt brunorange(6c6) belte fra 2 mm til 20 mm over sedimenttopp. Klart mellom det svarte toppsediment og rustbeltet, som har skarp nedre grense og helt diffus øvre begrensning. Ett par hydroksydklumper synker under manipuleringen fra glassveggen i rørets øvre del og legger seg på sedimentet. Det samme hendte under fotograferingen 2. juli (Fig. 16). (O<sub>2</sub>-sone til 2 mm over sedimentet. CO<sub>2</sub>-sone fra sedimentoverflate til 2mm over. H<sub>2</sub>S-sone nedenfor sedimentets overflate).

- Prøve nr. 19, tatt 14. jan. 1966. Fig. 8.
14. jan.: (Fig. 8): Brungrått 0-3 cm.
10. febr.: Delvis svart topplag.
2. juli: Små flekker av svart belegg på glassveggen opptil 22 cm over sedimentet. Svarte polychaeter og svart detritus på toppen.

- Prøve nr. 35, tatt 14. jan. 1966. Fig. 9 og 17.
14. jan.: (Fig. 9): Lysebrun 0 - ca. 1 cm.
10. febr.: " 0 - ca. 1 cm.
20. aug.: (Videre utvikling fra 2. juli, foto fig.17): Sterkt brunorange (6C7) belegg i kontakt med sedimentet og 4-12 mm oppover, skrånende da røret har stått på skrå, øvre begrensning diffus. Det er her ikke bare belegg på glassveggen, men orange sediment som har lagt seg ovenpå den opprinnelige sedimentoverflate. Øverste 1 mm av det opprinnelige sediment med rødlig tone; 1 mm - ca. 1 cm mellomgrått med lite svart i. (O<sub>2</sub>-sone til 1 mm kjernedyp, CO<sub>2</sub>-sone fra 1 mm - 1 cm, H<sub>2</sub>S-sone 1 cm - .)
15. okt. Små svakt brune (6D7) flekker på glasset ca. 1 cm til 19 cm over det opprinnelige sediment. Løselig sedimentert, brunorange (6C7) hydroksyd- aktig belegg av tykkelse 0,5 - 1,5 cm (skrånende) ovenpå det opprinnelige sediment. Brunorange (6C7) polychaetrør og polychaet- hammer fra + 12 til 4 mm kjernedyp.

- Prøve nr. 53, tatt 14. jan. 1966. Fig. 10.
14. jan.: Gråbrun (gråskala 9) 0-1 cm. Fragmenter av polychaetrør på toppen.
10. febr.: Tilsynelatende uforandret.
2. juli: Svart (gråskala S+) 0-3 mm
20. aug.: Bitte små svarte flekker oppover glassrøret like til topps (45 cm over sedimentet). Gråorange (5B6) belegg på toppen av sedimentet samt 3 cm oppover glassrøret. 0-0,5 cm kjernedyp ikke lenger mørkere enn 0,5-1,5 cm.
15. okt.: Tynt gråorange (6B6) belegg med brune (6E6) flekker fra 1,5 til 4,5 cm over sedimentet. Mindre enn  $\frac{1}{2}$  mm tykt, svart belegg på toppen

av sedimentet. Under belegget grått (gråskala 6) med svakt brunskjær til 0,5 cm.

- Prøve nr. 34, tatt 14. jan. 1966, Fig. 2 og 11.
14. jan.: (Fig. 2 og 11): Beige tone i topplag og større partikler ned til 1,5 cm.
10. febr.: 1,5 mm tykt rødlig brunt lag på toppen.
2. juli: 1,5 mm tykt helt svart (gråskala S+) lag på toppen. De opprinnelige beige partikler er blitt svarte (gråskala S+) slik at den øverste 1,5 cm er det mørkeste parti av hele kjernen. Rustfarget belegg festet som en hinne til glassrøret med nedre grense skarp 0,5 cm til 1,5 cm (skrå på grunn av rørets skråstilling under lagring), øvre begrensning diffus ca. 4 cm over sedimentet.
20. aug.: De øverste 3 mm av sedimentet er blitt forandret til brunorange (6C6).
15. okt.: Den gråorange (6B6) hinnen på glasset er blitt kraftigere. På toppen av sedimentet et 0,5 mm tykt svart (gråskala S+) lag. Under dette et skarpt avsatt 1 - 1,5 mm tykt brunorange (5C3) lag som overveiende består av pellets. Under dette svarte og grå pellets i nokså jevn blanding som i 4 - 5 cm dyp på fig. 2.

- Prøve nr. 18, tatt 14. jan. 1966. Fig. 12.
15. okt.: Kjernens lengde redusert fra 19 cm (14. jan.) til 18 cm. Sammensynkingen har funnet sted i det svarte lag. Avstand til lys flekk i 11 cm kjernedyp (fig. 12) redusert til 10 cm. Leiren nedenfor 11 cm (opprinnelig 12 cm) nesten ensfarget.

Observasjonene angående topplagets farge, som vitner om oksydasjonstilstanden, er summert i tabell III.

Prøven (nr. 18) med råttent sediment og råttent vann (fastslått ved sterk H<sub>2</sub>S-lukt fra toppen) viste ingen forandring. Nesten like stabil var prøven (nr. 65) med det lyseste sediment og friskeste vann (kfr. tabell I, s. 24) Alle de andre prøvene viste mer eller mindre utpreget labile tilstander.

Samtlige av disse foranderlige prøver kom fra lokaliteter som i løpet av undersøkelsesperioden hadde vist store forandringer, idet de enten var (nr. 35, nr. 8, nr. 34, nr. 26, nr. 9 nr. 19) eller så ut som de nylig hadde vært (nr. 29, nr. 53) råtne under prøvetakingen i 1962 (kfr. kartet, fig. 19). De fra forsøket beskrevne forandringer i topplaget og i vannet over dette stemmer på en ypperlig måte med de teorier angående oksydasjons- og reduksjons-soner samt jernets

vandring og felling som er gjengitt i kapitel III A.

T a b e l l   I I I

1966 nr.	2	3	4	5	Polychaeter
65	I	I	I	B	X
29	I	B	B	B	X
35	I	B	B	B	XX
8	I	B	B	B	X
34	B	S	B	S	0
53	I	S	B	S	X
26	I	S	S	S	XXX
9	S	S	S	S	XXX
19	S	S	S	S	XXX
18	I	I	I	I	0

I tabell III er de samme sedimentkjerner som i tabell I (s. 24) arrangert ifølge avtakende kvalitet i topplaget etter lagring. 2,3 etc. betyr andre, tredje etc. observasjon omtalt i teksten. I= ingen forandring i topplagets farge siden prøvetakingen. B= brunorange topplag, S= svart topplag. Polychaetmengde i røret antyd det fra ingen (0) til mange (XXX).

Det er verdt å merke seg at de prøver som råtnet fortest (nr. 19, nr. 9, nr. 26) ikke var de som opprinnelig var dårligst, men de som hadde flest polychaeter (kfr. fig. 3-12). Dette demonstrerer den primære effekt på sedimentet ved faunaens undergang. Den sekundære effekt er at dyrenes mekaniske og kjemiske bearbeidelse og sirkulasjonsfremmende virksomhet uteblir.

Bare prøven nr. 35 faller utenfor dette klare bilde, idet den til tross for et relativt stort antall polychaeter holdt seg bedre enn nr. 53, nr. 34 og nr. 8. St. 35 er den grunneste av disse lokaliteter (kfr. tabell I), og en mulig forklaring er kanskje at bunnvannet som følge av en begynnende utskiftning, som røper seg ved den høye oksygenverdi funnet på st. 65 (tabell I), kan ha vært rikere på

oksygen ved st. 35 enn ved de tre andre stasjonene som den kan sammenliknes med. Ved Spro (Fl 1) viste de hydrografiske observasjoner for desember 1965 en markant stigning i oksygenkonsentrasjonen i 60 og 80 meters dyp, men ikke nedenfor. Det kan imidlertid også lett tenkes at ventilen på toppen av røret under nedfiringen på st. 35 ikke har virket så godt som den pleier (den er i alle fall meget ufullkommen) slik at mer oksygenrikt vann er blitt dradd med ovenfra.

Den spesielt sterke brunorange farge på rør og hammer fra polychaeter, så vel som den alternative sverting av disse deler, støtter den tidligere antydete hypotese om den relativt store betydning av biologisk derivert jern.

Et påfallende resultat av mikroskop-studiene er at livlige ciliater (infusjonsdyr) til tross for den lave temperatur ble funnet svømmende rundt i det interstitielle vann i det øverste sedimentlag (0-ca. 1 cm) i en rekke prøver (nr. 8, 9, 35, 34 og 18). Forøvrig ble funnet foraminiferer, nematoder (rundmakk) og harpaticoider (små krepsdyr). Aktive bakterier i massevis ble funnet i leiren så vel som i topplaget.

#### IV VARIASJONER I SEDIMENTET MED TID OG LOKALITET I INDRE OSLOFJORD

##### A. Forandringer i sedimentet med tiden

Det fremgår ved en sammenlikning mellom kartene gjengitt i fig. 18, 19 og 20 at de fleste lokaliteter i Vestfjorden aldri ble funnet å være, eller nylig å ha vært råtne. På noen av disse lokalitetene tyder den jevnt lyse sedimentfargen på permanent gode oksydasjonsbetingelser, slik som på st. 55, 1962; fig. 21. Da denne stasjon ligger på bare 30 m dyp på ryggen som strekker seg i retning StW fra Steilene, er det også å vente at vanntilførselen (oksygentilførselen) er rikelig og sedimentasjonen relativt liten. I overensstemmelse dermed ble det i 1962 funnet et etter Oslofjordmålestokk relativt lavt innhold av organisk stoff (3,9%; SCHEMMEKES, 1963). Vårt etterkrigsmateriale inneholder imidlertid ytterst få prøver av denne type, og ingen fra

større dyp enn 30 meter. Vår ytterste stasjon på større dyp (St. 66, 1962; fig. 19) viser en nokså jevnt tiltakende mørkhet (fra gråskala 6 til gråskala 8) fra 18 cm kjernedyp og oppover.

Den tidligere omtalte stasjon 65 (Tab. I, s.24 og. tab. III, s.34, fig. 3, 19 og 20) viste i 1962 tydelig avsatt mørk (gråskala 8,5) sone fra 0 til 1,5 cm kjernedyp; det er formodentlig den vi ser rester av i 1966 i ca. 1 cm kjernedyp (fig. 3).

Mer påfallende forandringer i sedimentet ble observert på mer avstengte lokaliteter. Ved Blakstad ble det i 1962 (st. 64, 46 m; fig. 19) funnet et markant mørkt (gråskala 8) gråbrunt lag fra 0 til 1 cm kjernedyp, mens alt nedenforliggende sediment svarte til gråskala 6,5. Dette tyder på en øket belastning av ny dato. I januar 1964 (st. 134, 46 m) var på samme lokalitet de øverste 5 cm, og i september 1964 (st. 239, 48 m) og i august 1965 (st. 41, 48 m) de øverste 6 cm blitt gjennomblandet til brungrått, mens det nedenfor var mellomgrått av samme mørkhet. I alle tilfelle ble det funnet et betydelig antall polychaeter selv i det lille røret. Forandringen kan vises i en liten tabell.

T A B E L L    I V

Sedimentforandring ved Blakstad

Nr. 64	1962	46 m	Nr. 41	1965	48 m
Kjernedyp cm		Gråskala	Kjernedyp cm		Gråskala
0 - 1		8	0 - 11		7,5 - 7
1 - 14(=total)		6,5	11 - 15,5		6,5

En tilsvarende forbedring i sedimentet etter 1962 fremgår også av den følgende tabell for prøver fra dypet ved Geitholmen i Lysakerfjordens munning (fig. 19).

T a b e l l V

Sedimentforandring ved Geitholmen

Nr. 41	1962	84 m	Nr. 28	1965	83 m
Kjerneredyd cm		Gråskala	Kjerneredyd cm		Gråskala
0 - 1		8	0 - 3,5		7,7
1 - 3,5		9	3,5 - 7		6
3,5 - 4,5		9,5	7 - 13 (=total)		5,5
4,5 - 9		7,5			
9 - 11		6			
11 - 13		5,5			

Det bør innskytes at det er den prinsipielle fordeling i sedimentet som er av betydning, mens 1 til 2 cm forskjell i beliggenheten av grenseflater ikke kan tillegges noen vekt, da slike forskjeller kan skyldes lokale variasjoner, for eksempel med tilknytning til ujevnheter i bunnen. Heller ikke kan vi tillegge forskjeller i den angitte dybde på 1 m noen reell betydning, da dybden ikke er bestemt med høyere grad av presisjon. Det bør også innskytes at en pålitelig gråskalareferanse bare kan gis på grunnlag av fotografier, fordi skala så vel som sediment da sees som en plan, blank flate. Ved direkte visuell sammenlikning av det runde, blanke sedimentrør med den plane, matte gråskala vil belysningen og små variasjoner i observasjonsvinkelen lett kunne influere på resultatet.

Større interesse knytter seg til de lokaliteter hvor vi har funnet at sedimentet i undersøkelsesperioden har vekslet mellom friskt og råttent. St. 8, 1962 og 1966, fra dypet utenfor Ulsvik ved Nesoddens Bunnefjord-side (fig. 19 og 20) er eksempel på en slik lokalitet. Som det fremgår av fig. 22 var de øverste 2 cm av sedimentet svart i 1962. Allerede i april 1963 ble det funnet tallrike polychaeter på denne lokalitet (SCHEMMEKES, 1963), og under innflytelse av friskere vann og polychaeter ble sedimentet forbedret slik at vi i 1966 bare fant små rester etter råttenskapen i den øverste cm og noe mer omkring 2 cm kjerneredyd (fig. 5 og fig. 14).

Til tross for det vesentlig ringere dyp, var sedimentet på st. 26 ved Stangskjær i 1962 (posisjonen angitt på kartet, fig. 19) betydelig mørkere enn på st. 8. Dette må rimeligvis sees som en effekt av dårlig vann, influert av både Loelven og Akerselven, som strømmer ut gjennom Skipsleden. Topplaget (0-1cm) som i 1962 ble funnet å være beksvart, ble i januar 1964 (st. 113, 26 m) beskrevet som gulbrunt. Under dette, fra 1 til 4 cm kjernedyp var der brunt og svart i blanding. Situasjonen i januar 1966, da topplaget (0-0,5 cm) ble beskrevet som gråbrunt med rustbrune polychaetrør, illustreres av fig. 6 og tab. VI.

T a b e l l VI

Sedimentforandring ved Stangholmen

S+ = svartere enn det mørkeste felt (S) på gråskalaen

Nr. 26	1962	26 m	Nr. 26	1966	26 m
Kjernedyp cm		Gråskala	Kjernedyp cm		Gråskala
0 - 1		S+	0 - 0,2		7,5
1 - 6,5		S	0,2 - 4		9
6,5 - 8		9	4 - 7		8,5
8 - 11		8	7 - 9,5		7,5
11 - 16 (=total)		7	9,5 - 11(=total)		7

Ved Nordstrand (st. 19, 36 m; fig. 19) var også den øverste cm av sedimentet beksvart i 1962. I januar 1964 (st. 104, 35 m) ble sedimentet fra 0 - 3,5 cm karakterisert som brungrått med spor av tidligere råttenskap, i januar 1966 (nr. 19, 41 m, fig. 8 og 20) som brungrått fra 0 - 3 cm. Ved prøvetakingen i 1966 passet vi overalt på at dypet, dersom ikke bunnen var flat, var minst like stort som i 1962, slik at man ikke skulle kunne innvende at det faktum at vi fikk betydelig friskere sedimentprøver i 1966, kunne skyldes at vi hadde vært på mindre dyp.

Den prinsipielle forandringen fra mørkere topp i 1962 til lysere, som fremgår så klart av tabell VI, var et meget



utbredt og karakteristisk fenomen, og skal derfor illustreres ved ytterligere et par eksempler. Av de seks 1962-stasjoner fra Vierrennen mellom Gåsø og Høyerholmen var st. 50, II (fig. 19) den som både i posisjon og sedimentutseende var mest lik 1965-stasjonen, st. 39 (fig. 20). Forskjellen var allikevel karakteristisk, som det fremgår av tabell VII.

T a b e l l VII

Sedimentforandring i Vierrennen

Nr. 50,II	1962	40 m	Nr. 39	1965	39 m
Kjernerdyb cm		Gråskala	Kjernerdyb cm		Gråskala
0 - 1		S	0 - 1,5		7,5
1 - 11		9	1,5 - 9		9
11 - 14,5		7	9 - 17,5		6,5
14,5 - 17,5		6,5	17,5 - 19 (=total)		6
17,5 - 21 (=total)		6			

En tilsvarende prinsipiell forskjell viser prøvene fra st. 35 mellom Nesodden og Langøen i 1962 (74 m; fig. 1 og 19) og 1966 (74 m; fig. 9 og 20). Den samme tendens gjør seg også gjeldende på st. 34 utenfor Ulsvik (1962, 90 m; fig. 1 og 1966, 91 m; fig. 11); men her er sedimentet fremdeles så mørkt i 1966 at utslaget ikke blir så tydelig. Skjønt vi ikke har prøver fra disse to stasjoner i 1964 og 1965, kan vi med sikkerhet regne med at toppsedimentet da var friskt, for det første fordi rustfarget topplag ble funnet på st. 34 allerede 13. febr. 1963, og for det andre fordi friskt toppsediment ble funnet meget lenger inne i samme rennen, ved Presteskjær, helt nede i 138 m dyp i januar 1964 (st. 102), 146 m i september 1964 (st. 205) og 148 m dyp i 1965 (st. 7; fig. 20).

De påviste forbedringer i sedimentet må sees som en følge av den gigantiske dypvannsfornyelsen som de hydrografiske data fra Lysakerfjorden (Bn 1) viste i desember 1962 - februar 1963 og ved Hellvik (Cp 1) i januar - februar 1963, samt den betydelige tilførselen som også fant

sted i 1965, henholdvis i januar - mars og i februar på de to nevnte lokaliteter.

Også lenger innover i Bunnefjorden ble sedimentforandringer påvist. Den 13. februar 1963 ble et tynt rustfarget toppsjikt funnet over det svarte sediment ved Ingierstrand, hvor den øverste cm i oktober 1962 (st 17), 110 m, fig. 19) ble funnet å være beksvart (S+). Like i nærheten (st. 103, 123,5 m), til tross for det betydelig større dyp, ble sedimentet i januar 1964 beskrevet som rødt med lite grann svart imellom fra 0 - ca. 1,4 cm, og svart fra ca. 1,4 cm - 5 cm. På samme lokalitet (st. 207, 124 m) ble der den 2. sept. 1964 funnet en levende polychaet, og sedimentet ble beskrevet som rustfarget fra 0 - 0,5 cm og gråsvart fra 0,5 - 5 cm. Et ganske lite stykke legger fra land (st. 206, 128 m) ble de øverste 7,5 cm av sedimentet samme dag beskrevet som svart, mens laget fra 7,5 - 12 cm ble beskrevet som gråsvart. Råttenskapen var altså fremdeles ikke synlig påvirket. Dette viser at dybden for prøvetakingen har stor betydning, og denne er derfor overalt angitt på kartene (fig. 18, 19 og 20). Som en bekreftelse på dette kan anføres observasjonene fra samme lokalitet den 25. august 1965 (st. 9, 126 m og st. 8, 128 m, fig. 20). Bassengene råtner i alminnelighet nedenfra.

Flere sedimentforbedringer fremgår av oversiktskartene, fig. 19 og 20. Her skal bare nevnes ytterligere et eksempel av spesiell interesse, nemlig ved Springereren i gropen mellom Hovedøen, Blekøen, Gressholmen og Lindøen, som var råttan, uten fauna og stinkende av  $H_2S$  allerede i 1938 (st. 30, 28 m; fig. 18).

Denne lokalitet ble ikke besøkt i 1962 da vi i overensstemmelse med topografien og utbredelsen av råttan bunn forøvrig, og særlig på st. 26 (fig. 19, tab. VI, s. 38), med sikkerhet måtte kunne anse den som råttan. I januar 1964 (st. 114, 27 m) ble sedimentet karakterisert på følgende måte: Gulbrunt 0 - 1 cm, svart med polychaetrør inne i 1 - 5 cm, svart med grå korn 5 - 7 cm, gråsvart 7 - 9 cm, mørkegrått 9 - 14 cm, mellomgrått 14 - 18 cm, lysegrått 18 - 20 cm (= total). Vi hadde altså foran oss et sediment, der som resultat av sterk belastning med organisk

stoff i lang tid var meget mørkt langt nedigjennom, men med lyst topplag som tegn på en nylig inntruffen radikal forbedring i oksydasjonsbetingelsene. Denne utvikling ble i høy grad bekreftet av observasjonene i september samme år. På samme lokalitet (st. 215, 28 m) ble da den øverste 1,5 cm av sedimentet karakterisert som brunt, med rustfarge på toppen, mens betegnelsen gråsvart ble benyttet for området 1,5 - 13 cm. Selv i 36 m dyp i den umiddelbare nærhet (st. 214) ble den øverste 1,5 cm av sedimentet kalt brungrå, og et stykke innover i sunder mellom Hovedøen og Blekøen (st. 216, 26 m), hvor der tillike ble funnet polychaeter, ble også den samme betegnelsen benyttet for den øverste 1,5 cm, mens det derunder var svart til 7,5 cm. Ytterligere bekreftelse på denne utvikling fremgår av 1965- prøven (nr. 18, fig. 20 og 23), som viser et mørkt sediment (kfr. gråskalaen), men også polychaetrør og ekskrementer i stor mengde. Det ble ved denne anledning også funnet beboelig bunn innover i Skipsleden (st. 19, 25 m; fig. 20).

Sannsynligvis har flere faktorer bidratt til denne påfallende forbedring. For det første hadde vi den usedvanlig gode vannutskiftning i indre fjord i 1963. For det andre fant det i november 1963 sted en overføring av en meget betydelig mengde kloakkvann som tidligere hadde munnet ut i Loelv-området, til Bekkelagsbassenget. Ytterligere mengder av kloakkvann ble i juli 1964 overført samme veg (personlig meddelelse fra HAFSTAD ved Oslo kommunes vann- og kloakkvesen, 1966). Det faktum at to av våre studenter så sent som i august 1966 fremdeles har funnet frisk bunn med levende polychaeter helt nede i 34 m dyp ved Springeren, tyder sterkt på at den sistnevnte faktor også har bidratt vesentlig til forbedringen. Hvis dette er tilfelle, er forholdet meget oppmuntrende, idet en reduksjon av kloakktilførselen i så fall kan føre til en både rask og radikal forbedring av tilstandene på bunnen av fjorden. Til gjengjeld må vi da vente at forholdene på bunnen av Bekkelagsbassenget er blitt tilsvarende forverret. Våre observasjoner tyder på en slik utvikling. I tabell VIII er vist største observerte dyp for friskt toppsediment og minste observerte dyp for råttent toppsediment ved Bekkelaget.

T a b e l l VIII

Største og minste dyp for henholdsvis  
friskt og råttent toppsediment ved Bekkelaget

	1962	1964 <sup>I</sup>	1964 <sup>II</sup>	1965	1966
Friskt, m:	19	30	30	16,5	22
Råttent, m:	30	43	32	21	28

1966-observasjonen er fra august og ikke fra januar som de øvrige 1966-observasjonene.

I første omgang gjorde den generelle forbedring etter den ytterst slette situasjon i 1962 seg gjeldende også ved Bekkelaget, idet de øverste 2 cm av sedimentet ble forandret fra beksvart (gråskala S+, St. 3, 30 m, 1962; fig. 19) til brungrått med polychaetrør (st. 107, 30 m) i januar 1964. I september samme år (st. 213, 30 m) ble registrert brungrått i 0 - 2,5 cm, med polychaeter. I 1965 ble det på st. 12 (34 m) og st. 13 (31 m) funnet et ca. 4 cm tykt svart lag over et clairfarget sediment med svarte prikker. På st. 14 (26 m; fig. 20 og 24) ble det funnet et 10 cm tykt og på st. 15 (24 m) et 6 cm tykt lag av kaffe-grut med et finere svart sediment på toppen. I begge disse prøver var det tallrike gassblærer ( se fig. 24). Under håndtering av røret no. 14 forenet en rekke gassblærer seg og dannet en stor boble som løftet sedimentet opp og unnvek. Selv om det luktet sterkt av H<sub>2</sub>S av gassen, må vi anta at den for det meste besto av metan.

Gassblærer, men ikke så mange, ble også funnet i sedimentet på st. 20 ved Grønnlien i 1962, (fig. 19) og under prøvetakingen på 7 m dyp ved Skarpsno i november 1964 (GIESKES, 1965, st. C<sub>3</sub>, fig. 27), steg tallrike gassblærer opp til overflaten. Dette innebærer en mulighet for at ikke bare vannet, men også luften kan bli forpestet fra den råtne bunn, slik som det hendte i Walvis Bay i Sydvest-Afrika i 1900, 1938 og 1951, da store mengder gass frigjorde seg fra det råtne diatomé-mudderet i 50 - 150 m dyp, og luften ble gjennomtrengt av H<sub>2</sub>S-stank opptil 64 km innover i landet. Metall-

gjenstander og hvite hus ble svarte (HART & CURRIE, 1960). Som fargestoff i hvitmalingen ble den gang (1938) vanligvis benyttet blyhvitt, som er et basisk blykarbonat ( $2\text{PbCO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ), som ved kontakt med hydrogensulfid-holdig luft omdannes til det mørke bly-sulfid ( $\text{PbS}$ ) (BIILMANN, 1940). Også i Los Angeles-Long Beach har man hatt plager med  $\text{H}_2\text{S}$  som følge av havneområdets forurensning. De første klager kom allerede i 1926, da sulfid-angrep ble konstatert på bygninger, havneinstallasjoner og skip. I 1940 forårsaket  $\text{H}_2\text{S}$  avgitt til luften mange tilfelle av øyekatarr (conjunctivitis) blant arbeiderne (REISH, 1959).

Generelt råtner bassengene nedenfra. At Lysakerfjordens basseng danner en unntakelse fra denne regelen, er lett å forstå da dette basseng, som det fremgår av kartene fig. 18, 19 og 20, strekker seg tvers over like til Nesodd-landet i retning av Ildjernet. Den ytterste delen av dette basseng ligger derfor relativt gunstig til for spyling med friskt vann utenfra, mens den indre delen derimot forsynes med betydelige forurensninger fra Lysakerelven. Da der ikke er noen topografisk barriere mellom disse to områder, foregår i Lysakerfjorden stadige forskyvninger frem og tilbake av grensen for den tunge av råtten bunn som strekker seg utover fra Lysakerelvens munning. I januar 1964 syntes tungen således å være mindre, men i september samme år desidert større enn i august 1965. I september 1964 var der svart sediment både på st. 220 (46 m) og st. 225 (54 m), som svarer til henholdsvis st. 25 (44 m) og st. 27 (55 m) i 1965 (fig.20). Men også i september 1964 var der levende polychaeter på begge steder. Kombinasjonen svart sediment og polychaeter er også et tegn på foranderlige tilstander. At toppsedimentets karakter viser store variasjoner med tiden, gir seg utslag i at sedimentets farge varierer med dybden i kjernen, slik som det fremgår f.eks. av fig. 25 (nr. 25, 1965, fig.20).

Våre erfaringer kan sammenfattes således: Ved svikt i balansen mellom oksygentilførsel og oksygenforbruk svertes (råtner) sedimentet ovenfra, og faunaen forsvinner. Ved vedvarende oksygen deficit i topplaget vil svertingen kunne bre seg et stykke nedover i sedimentet, avhengig av hvor dårlig og hvor lenge sedimentet var dårlig (mørkt) før det

ble råttent. Denne prosess er langsom. Dersom oksygenbalansen i kontaktlaget (mudder/vann) igjen blir positiv, viser det seg først ved at sedimentets topplag blir rustfarget. På dette substrat slår seg ned polychaetlarver fra plankton, og når de vokser til istort antall, vil de forholdsvis raskt kunne gjennomarbeide sedimentet ned til en til to tommers dyp. Under denne fase vil, inntil alt er gjennomarbeidet, den øvre del av sedimentet være lysere enn det nedenforliggende sediment så langt som råttenskapen har vært rådende.

B. Inndeling av sedimentkjernene i typer som vitner om forskjellig historie

I overensstemmelse med det som er fremlagt i kapitlene III B og IV A, lar sedimentkjernene seg generelt inndeles i følgende typer som viser at lokaliteten i de siste partre decennier har vært:

1. F           bestandig frisk.   Eksempel: St. 55, 1962, fig. 21.
2. F(R)       som regel frisk, men leilighetsvis råttent. Eksempel: St. 8, 1966, fig. 5.
3. FR         omtrent like meget frisk som råttent. Eksempel: St. 35, 1966, fig. 9.
4. (F)R      periodevis frisk, men overveiende råttent. Eksempel: St. 34, 1966, fig. 11.
5. R         bestandig råttent. Eksempel: St. 18, 1966, fig. 12.

Betegnelsene "F" og "R" står for henholdsvis "frisk" og "råttent" og refererer til sedimentets topplag.

Tar vi hensyn til de aktuelle funn fra våre observasjonsserier, får vi de typer av F/R-historie som er oppført i tabell IX.

T a b e l l IX

Typen av historisk fordelingsmønster  
for friskt (F) og råttent (R) toppsediment

	1938	1962	1964 <sup>I</sup>	1964 <sup>II</sup>	1965	1966
1	F	F	F	F	F	F
2	F	R	F	F	F	F
3	F	R	R	F	F	F
4	?	R	F	F	R	R
5	F	R	R	R	R	R
6	R	R	F	F	F	F
7	R	R	R	R	R	R

C. Inndeling av fjordens bunnområder i soner etter  
sedimenttypen

I det følgende vil partier av undersøkelsesområdet bli nummerert i henhold til de kategorier som er oppført i tabell IX.

1.1 Lokaliteter som ikke ble funnet å være ellersnyligåha vært råtne i 1962, ble heller ikke funnet råtne ved noen av de andre anledninger. Til denne kategori hører derfor alle områder som ikke er skravert på den ene eller andre måte i fig. 19, dog med den reservasjon at med unntakelse av Frognerkilen og til dels Bærumsbassenget omfattet våre undersøkelser bare bunnen på større dyp enn 15 m. Bassenget innenfor Ormøen, Malmøen og Ulvøen ("Padda") og den aller innerste del av Bunnefjorden kan derfor vel ha vært råtten.

2.1 Med unntakelse av Fjeldstaddypet, Ingierstrand-dypet, Ljans-dypet og Skjærholmflurennen, som ble funnet råtne ved andre anledninger, faller hele Bunnefjordområdet opp til et dyp av ca. 70 m i de åpne partier og noe lenger opp i mer avstengte partier som SV for Malmøkalven (st. 12, 59 m, 1962; fig. 19), inn under denne kategori. At flere lokaliteter faller inn under samme kategori, betyr dog ikke nødvendigvis at de har hatt samme historie. Dersom vi hadde hatt flere tokter,

ville vi ha fått flere typer av F/R fordelingsmønstre. Eksempelvis ville st. 34 med sine 9 cm svart sediment (Ulsvik, 90 m, 1962; fig. 1 og 19) etter all sannsynlighet ha blitt funnet råttene flere ganger i motsetning til st. 33 med bare 1 cm svart lag og forøvrig meget lyst sediment (Ljansflu, 80 m, 1962; fig. 19). Sedimentkjernene fra st. 29 (Ljansflu, 52 m, 1962), st. 35, I (Langø, 68 m, 1962) og st. 35, II (Langø, 73 m, 1962) tyder på en enda større utbredelse av råttene bunn en tid før prøvene ble tatt. Disse forlengelser er på fig. 19 skravert andre veien og begrenset av en brutt linje.

2.2 Bassenget ved Nordstrand (st. 19, 36 m, 1962).

2.3 Ved Stangskjær (st. 26, 26 m, 1962).

2.4 Midtre Lysakerfjord (fig. 19). Topplaget i sedimentprøvene fra 1962 var her riktignok friskt, men antallet av polychaeter var påfallende lite unntagen ved den ytterste stasjon, st. 42 (kfr. SCHEMMEKES, 1963), og der var betydelige mengder av svarte rester i prøvene fra stasjonene 38, I, 39, 40, 41 og 42, i avtakende grad utover. St. 46, som topografisk sett ligger i Lysakerfjordens forlengelse, var også påfallende dårlig. Grabbeprøve tatt i januar 1962 (G 11) mellom Rolvstangen og Huk, nær st. 40, i 74 m dyp, luktet av  $H_2S$  og inneholdt ingen dyr, men svarte skall av muslinger (Mya og Pecten). Grabbeprøve fra 60 m dyp ved Konglungen (G 7) i januar 1962 bekrefter også at situasjonen på bunnen var enda verre da enn under vår materialinnsamling i oktober/november. (Se også under 2.7). Oksygenobservasjonene fra Steilene (DK 99) i den hydrografiske rapport støtter denne oppfatning.

2.5 Holmenfjordens innerste del. I grabbeprøve tatt i januar 1962 fra 60 m dyp like ved st. 60, 1962, fantes ingen dyr. Forøvrig syntes den påviste råttenskap (st. 62, 15 m, 1962) å være et sterkt begrenset fenomen som det ikke ble funnet spor etter i 1964 I, 1964 II og 1965 i henholdsvis 15, 16 og 15 m.



- 2.6 Ved Furuholmen i Barumbassenget (st. 48, 9 m, 1962).
- 2.7 Vesthullet, SE for Einestangen. Råtten bunn ble her påvist av reketrålere i januar 1962, men to måneder senere kunne man atter tråle på dette felt (STÅLESEN, 1963). Sedimentkjernen fra st. 65, 1962 viser noe tegn på dårlig innflytelse, kfr. s. 36..
- 2.8 Like utenfor Store Ostsund. Fra denne lokalitet tok vi ingen prøve i 1962, men sedimentprøve fra januar 1964 (st. 132, 23 m) viste tydelige tegn på tidligere råttenskap, som etter all sannsynlighet skrev seg fra den dårligste perioden (1962), og langvarig sterk belastning (brunsvart 1,5 - 5 cm, mørkegrått 5 - 11 cm).
- 2.9(?) Kjerringrøva. N for Steilene. Råtten bunn er her ikke påvist; men det meget mørke topplag på st. 53 (84 m, 1962; fig. 21) antyder at anoksiske tilstander har hersket noe tidligere. Denne antakelse støttes av det faktum at prøvene fra 1966 (st. 53, 84 m) viste meget dårlig bunn (fig. 10) og lav oksygenkonsentrasjon i vannet (0,21 mg/l). På st. 54 (1962, 10 m) ble det også funnet temmelig dårlige forhold, hvilket tyder på en lokal påvirkning fra anlegget på Steilene.
- 3.1 Vierrennen mellom Gåsø og Høierholmen. 1/12-66 ble denne lokalitet atter funnet å være råtten.
- 4.1 Ved Bekkelaget i 25 - 30 m dyp, se tabell VIII, s. 42.
- 5.1 Etter kartene (fig. 18, 19 og 20) ser det ut som om gropene ved Ingierstrand og Ljan faller inn under denne kategori. Et nærmere studium av prøvene viser imidlertid at dette skyldes forskjeller i dypet for prøvetakingen.
- 6.1 Springerren, mellom Hovedøen, Blekøen, Gressholmen og Lindøen, se kommentarer i foregående kapittel, s. 40 - 41.
- 6.2(?)(Alternativt (7)). Rennet mellom Vestre og Østre Skjærholmflu i Bunnefjorden. I 1938 (st. 41, 70 m; st. 38, 74 m; fig. 18) viste denne lokalitet kombinasjonen av svart sediment ( $H_2S$  - lukt notert fra st. 38) og polychaeter, som er et

overgangsfenomen. Da denne rennen ifølge det bathymetriske kart ikke er avstengt på noen måte fra Bunnefjordens hovedbasseng, og da bunnen av dette i januar 1964 ble funnet å ha friskt toppsediment helt nede i 138 m dyp, og i september 1964 og august 1965 helt nede i henholdsvis 146 og 148 m, drog vi den feilaktige slutning at rennen mellom Vestre og Østre Skjærholmflu med sikkerhet måtte være frisk ved disse anledninger, og unnlot derfor å ta prøver. Vi overså da det faktum at sedimentkjernen fra st. 28 (like N for Storeflu, 74 m, 1962) hadde et svart (S+)-lag av hele 7 cm tykkelse, og viktigheten av den mekanisme som blir beskrevet i slutten av nærværende kapittel var ikke blitt oppdaget. Ved igangværende undersøkelser har i mai og august 1966 bunnen vært funnet gråsvart og azoisk, eller på grensen til azoisk, og i april 1967 råttent og azoisk, i 74 m litt NE for St. 27, 1962.

- 7.1 Havnebassenget til Dyna fyr med unntakelse av strandsonen de fleste steder. I Frognerkilen ble bunnen funnet å være råttent i 6 m ved Skarpsno i 1938 (st. 18; fig. 18), i januar 1964 i 5 m dyp litt lenger inne. I november 1964 (GIESKES, 1965) ble bunnen funnet å være råttent opp til ca. 8 m dyp ved Kongen og Dronningen, til ca. 6 m litt utenfor og 2,5 m litt innenfor Skarpsno og til ca. 1,5 m i den innerste bukten. I 7 m dyp ved Skapsno viste sedimentkjernen et svart (S+) lag på hele 23,5 cm tykkelse.
- 7.2 Bekkelagsbassenget i dyp større enn ca. 50 m. I bassengets sydvestre begrensning lå grensen mellom frisk og råttent bunn i januar 1964 mellom 42 og 48 m dyp, i september samme år i 43 m dyp og i august 1965 i 48 m dyp. I den nordøstre rand av bassenget lå grensen høyere, se under (4.1).
- 7.3 Bærumsbassenget innenfor Kalvø - Borø - Ostø - Kjøholmen samt gropen mellom Nesøen, Brønnøen og Ostøen. Prøve fra denne gropen (syd for st. 55, 1938) ble riktignok ikke tatt i 1938. Men det 15 cm tykke svarte sedimentlag som ble funnet både i 1962 (st. 49, 15 m; fig. 19), 1964 (st. 235, 17 m) og 1965 (st. 38, 17 m; fig. 20) vitner om langvarig råttenskap.

7.4 Bunnefjordens dypeste parti ved Fjeldstad. Områdets begrensn-  
ning mot nord og syd ble bare fastlagt i 1965 (fig. 20).  
Både ved Rudstrand (st. 1, 154 m) og ved Glennestrand (st. 2,  
125 m) ble det funnet et tykt lag av svart sediment på  
toppen, henholdsvis 5,5 og 7 cm tykt. Den store nivåfor-  
skjellen på F/R-grensen i nord og syd tyder på at den lokale  
forurensning fra syddenden er av atskillig betydning.

7.5(?) (Alternativt (5)). Det dypeste parti av bekkenet SV for  
Ingierstrand. I september 1964 (st. 206, 128 m) og i august  
1965 (st. 8, 128 m; fig. 20) ble her funnet et svart lag av  
ca. 8 cm tykkelse. Prøver fra 123,5 m i januar 1964 og 124 m  
i september 1964 et lite stykke lenger mot nordost viste  
at bunnen der hadde vært meget dårlig i lang tid og råttene  
temmelig nylig (1962), men at det råttne område ikke lenger  
var sammenhengende med (7.6).

Det faktum at sedimentet i 128 m dyp ved Ingierstrand  
(st. 8, 1965; fig. 20) har et betydelig sterkere anoksisk  
preg enn i 148 m ved Rudstrand (st. 7, 1965; fig. 20),  
viser den store betydning av selv små topografiske barrierer.

7.6 (?) (Alternativt (5)). Et lite felt utenfor Ljan (st. 18,  
1962, 114 m; st. 18, 1966, 116 m; fig. 12, 19 og 20).  
Sedimentprøvene både fra 1962 og 1966, som var meget like,  
var så gjennområtne at det synes overraskende at frisk bunn  
ble funnet i 112 m dyp i 1938 (st. 40; fig. 18). Hvis  
ikke det foreligger en teknisk feil, har vi her en parallell  
til forskjellen som ble funnet mellom 128 m og 126 m dyp  
ved Ingierstrand (st. 8 og 9, 1965). Muligens er den relative  
høye oksygenkonsentrasjon som ble funnet i bunnens nærhet  
(tabell I, s.24) en side av samme sak.

7.7 (?) (Alternativt (5)). En tunge som strekker seg utover  
fra Lysakerelvens munning. Langvarig råttenskap er her  
indikert av et 8 cm tykt svart sedimentlag i 19 m dyp  
(st. 221) og 46 m dyp (st. 220) i september 1964, av et  
11,5 cm tykt svart lag i 17 m (st. 24) og et 9 cm tykt  
svart lag i 40 m dyp (st. 26) i 1965 (fig. 20).

7.8 (?) (Alternativt (5)). Bassenget mellom Skogerholmen og Høierholmfluene (SV for Gåsøen). Fra denne lokalitet har vi og prøver fra februar 1963 da sedimentkjerner viste råttten bunn i 52 m, 42 m og 32 m dyp og frisk bunn i 28 m dyp. (Av plasshensyn er bare første og siste prøve inn-tegnet på kartet, fig. 19). Ifølge fisker Hans Petter Olsen, Snarøen, har denne lokaliteten "bestandig" vært råttten, det vil si i alle fall siden siste verdenskrig. I desember 1966 ble lokaliteten funnet å være råttten. - Et overblikk viser at samtlige lokaliteter som noen gang ble funnet å være råtne, var det i 1962 (kfr. tabell IX, s. 45), som derfor representerer en ekstremt dårlig situa-sjon. Da bunnen nødvendigvis må være anoksisk når dypvannet er det, må vi regne med at råtne bunnsoner kan ha hatt en liknende utbredelse under den store oksygenkrisen i 1950 (kfr. BEYER & FØYN, 1951), men ikke noengang før den tid ifølge alle de fiskere som vi har vært i kontakt med. På den annen side har vi ikke noe bevis for at noen av de felter som har vært funnet råtne også etter 1962-krisen, ikke var råtne allerede i 1938. (Kategori (3) må anses som en rest av 1962-krisen). Dette må sees som et tegn på at årene 1963-66 representerer en periode med relativt gunstige oksydasjonsbetingelser.

Et bemerkelsesverdig trekk er at påfallende dårlig sediment ble funnet på flere lokaliteter som ikke ligger i den umiddelbare nærhet av forurensningskilder, og dessuten ligger slik til at man må vente en noenlunde god vannutveksling der. Slike lokaliteter er Vierrennen, Stangskjær (st. 26, fig. 19), st. 35 litt lengre syd (fig. 19) og rennen mellom Vestre og Østre Skjærholmflu (st.41 og st.38, fig. 18). Felles for disse lokaliteter er at de ligger utenfor sund til kav råtne bassenger, henholdsvis Bærumsbassenget, havnebassenget og Bekkelagsbassenget. Fenomenet kan forklares ved en ut-vikling i følgende tre faser:

(1) Ved vedvarende nordlig vind, særlig på senvinteren, som transporterer store mengder av overflatevann ut av fjorden, bringes vann av stor spesifikk vekt fra dypere lag opp over terskelnivå og strømmer som kompensasjon for den utgående vannmengde inn over terskelen og fyller opp indre fjords bassenger nedenfra.

(2) Under den påfølgende fase av stagnasjon vil dypvannet i topografisk godt beskyttede bassenger, som de nyss omtalte, være mindre utsatt for lateral og vertikal oppblanding enn vannet utenfor. Med tiden vil bassengenes dypvann derved ikke bare bli fattigere på oksygen (ekstra fattige på grunn av at de verste forurensningskilder munner ut inne i disse bassenger), men også bedre bevare sin høye spesifikke vekt enn vannet utenfor.

(3) Under vedvarende pålandsvind, som oftest om høsten, vil overflatevann drive inn i bassengene. Som følge av det overtrykk som derved etter en tid oppstår i bassengene, vil noe av disses relativt tunge dypvann drives ut og forpester således de utenforliggende lokaliteter.

For utløpet fra Bekkelagsbassengets vedkommende er denne teorien nylig blitt bekreftet av igangværende undersøkelser ved Institutt for marin biologi. Som ytterligere støtte for teorien kan anføres at fisker Hans Petter Olsen, Snarøen, har meddelt oss at torskeruser og samlekasser for fisk plassert innerst i Vierrennen og utenfor Snarøsund av og til blir belagt med et tynt lag av svart mudder. Så vidt han kan erindre er det vesentlig om høsten at dette fenomen har forekommet. Han har dannet seg det inntrykk at denne tildekkingen forårsakes av en utgående bunnstrøm.

Fisker Olsen har også gjort den erfaring at bunnen i dypet av Lysakerfjorden ikke lenger er noe egnet fiskefelt for torsk, og han er av den formening at dette kan skyldes en utgående bunnstrøm av dårlig vann.

At også svart mudder leilighetsvis kan drives ut av Bærumsbassenget, stemmer med vår erfaring at sedimentet her nærmest er å karakterisere som en suppe. På st. 47, 26 m 1962 (fig. 19), fikk vi en sedimentkjerne på vel 40 cm lengde, hvilket betyr at ikke bare messingrøret i hele sin lengde hadde vært nede i mudderet, men også en del av instrumentets tykke parti. Ifølge LINKE (1939) kan bobling av forråtnelsesgasser gjøre bunnen svampaktig. Den oppstrømmende gass fører svart sediment med seg. Enkelte steder, hvor råtnende materiale samlet seg og vannutvekslingen var dårlig, fant han tallrike slamvulkaner og svovelvannstoffkilder.

V INNHALDET AV ORGANISK STOFF I SEDIMENTET

Resultatene av flere analyser fra samme prøve i 1962 ga meget god overensstemmelse (SCHEMMEKES, 1963). En meget betydelig variasjon viste seg derimot i de tilfelle da flere prøver fra samme stasjon ble analysert med hensyn til organisk stoff, hvilket fremgår av tabell X, hentet fra SCHEMMEKES' (1963) rapport.

T a b e l l X

Lokal variasjon i innholdet av organisk stoff, 1962

St.	Lokalitet	Dyp m	% organisk stoff	
			Prøve I	Prøve II
41	Geitholmen	84	5,6	8,5
54	Steilene	10	3,1	4,8
64	Blakstad	46	5,0	6,2

I et kupert bunnområde i umiddelbar nærhet av land må man vente at en ujevn fordeling av fauna så vel som sunkne gjenstander (plankebiter etc.) lett kan avstedkomme slike variasjoner. RUUD nevner i sitt manuskript at kullstykker og slagg fra skipene i visse områder sannsynligvis var ansvarlig for spesielt høye verdier av C(kullstoff). I området ved Dyna fyr har vi erfart at det er vanskelig å få en god grabbeprøve på grunn av kullstykker, som hindrer grabben i å lukke seg helt. Ifølge SCHEMMEKES (1963) ble det funnet meget planterester på stasjonene 16, 20, 29, 47 og 52, kull på stasjonene 16, 24, 26 og 43, cellulose på stasjonene 36 og 37. (Beliggenheten av disse stasjonene fremgår av fig. 19.)

Ser man imidlertid på verdiene for organisk stoff under ett og sammenholder dem med toppsedimentets oksydasjonstilstand og faunaen som ble funnet i grabbeprøver på samme stasjoner, fremkommer meget klare linjer, som vist i tabell XI og tabell XII. (En av de originale verdier er ekskludert på grunn av uoverensstemmelse mellom beskrivelse og fotografi).

T a b e l l e X I

Samtlige lokaliteter 1962 med organisk stoff

mindre enn 5%

St.	Lokalitet	Dyp m	Organisk stoff %	Topp- sediment	Fauna
44	Nesodden	14	3,1	F	V <sub>IV</sub> M <sub>III</sub> E <sub>II</sub> C <sub>I</sub>
55	Steilene	30	3,9	"	V <sub>III</sub> M <sub>I</sub> E <sub>II</sub> C <sub>I</sub>
54	"	10	3,1; 4,8	"	V <sub>II</sub>
63	Hvalstrand	17	4,1	"	V <sub>III</sub> M <sub>IV</sub> E <sub>II</sub> C <sub>I</sub>
56	Steilene	60	4,6	"	V <sub>IV</sub> M <sub>II</sub> E <sub>I</sub>
29	Ljanflu	52	4,6	"	V <sub>V</sub> M <sub>III</sub>
39	Lysakerfjord	60	4,6	"	V <sub>I</sub>
25	Tangen-Nakholmen	36	4,7	"	V <sub>V</sub> M <sub>II</sub>
61	Holmen	28	4,8	"	V <sub>V</sub> M <sub>II</sub>
57	Dalen	83	4,9	"	V <sub>III</sub>
65	Midtmedet	95	4,9	"	V <sub>V</sub> M <sub>II</sub>

F = friskt, V = Vermes (makk), M = Mollusca (bløtdyr, i praksis her = muslinger), E = Echinodermata (pigghuder), C = Crustacea (krepserdyr).

I = 1 - 4 individer

II = 5 - 24 "

III = 25 - 99 "

IV = 100 - 499 "

V = 500 eller flere individer pr. 1/10 m<sup>2</sup>.

Verdier fra SCHEMMEKES (1963).

T a b e l l X I I

Samtlige lokaliteter 1962 med organisk stoff

større enn 7%

St.	Lokalitet	Dyp m	Organisk stoff%	Toppseudiment	Fauna
41	Geitholmen	84	5,6; 8,5	F	V <sub>II</sub>
48	Furuholmen	9	7,1	R	-
8	Ulsvik	92	7,1	"	-
6	Malmøkalven	74	7,3	"	-
35	Tangen - Langø	74	7,5	"	-
47	Mortengrunn	26	7,7	"	-
38	Lysaker	34	7,9	"	-
27	S. Skjærholme	70	8,2	"	-
15	Fjeldstad	154	9,2	"	-
24	Dyna	24	9,9	"	-
16	Rudstrand	154	10,1	"	-
7	Husbergø	62	10,8	"	-
26	Stangskjær	26	14,8	"	-

R = råttent

- = ingen fauna

Forøvrig som tabell XI.

Av de 13 stasjonene med 6,0 - 6,9% organisk stoff var 12 råtne og azoiske, 4 friske og 2 hadde kombinasjonen av svart sediment og polychaeter. Av de 14 stasjonene med 5,0 - 5,9% organisk stoff var 12 friske med fauna. Det synes altså som om det går en temmelig skarp grense ved ca. 6% organisk stoff. De to avvikende observasjoner i gruppen 5,0 - 5,9% var imidlertid ikke noe grensetilfelle, men de kav råtne stasjonene 18 (Ljan, 114 m) og 20 (Grønlien, 22 m). En må i den forbindelse tenke på at en relativt lav prosent organisk stoff ikke bare forekommer ved liten avsetning og rask mineralisering



av organisk materiale, men også ved stor avsetning av uorganisk materiale slik som det ofte kan være ved elvemunninger (kfr. Ljanselven og Gjersjøelven, Akerselven).

En tilsvarende korrelasjon mellom sedimentets innhold av organisk stoff og bunnfauna ble også påvist av REISH (1959), dog med noget betydelige avvikelser. REISH fant at når innholdet av organisk C oversteg fem prosent (svarende til 8,5% organisk stoff basert på en omregningsfaktor på 1,7 som benyttet f.eks. av EMERY et al. (1957), var det som regel ingen eller bare en dyreart tilstede.

At de absolutte verdier for organisk stoff i 1938 stort sett er temmelig lik verdiene for 1962, kan man dessverre ikke tillegge noen vekt da verdiene fra de to undersøkelser er basert på forskjellig metodikk. Påfallende forskjeller i det relative fordelingsmønster for konsentrasjonene er få og kan tilskrives til enhver tid forekommende lokale variasjoner.

## VI UNDERSØKELSER AV BUNNFAUNAEN

### A. Vestfjorden og Bunnefjorden

I nærstående kapitel skal kort omtales hovedresultatene av noen undersøkelser angående den fraksjon av bunnfaunaen som har spesiell intim tilknytning til sedimentet, nemlig de dyr som er forankret i sedimentet eller ligger eller kryper i og på dette og derfor lett lar seg fange sammen med sedimentet i et rør eller en grabbe. Av disse dyr er det igjen bare den makroskopiske fraksjon, som man kan sikre seg noenlunde kvantitativt ved den konvensjonelle metodikk å sikte materialet gjennom en metallduk med 1 mm maskevidde, som er undersøkt. Ifølge REMANE (1933) er relativt store dyreformer karakteristisk for mudderbunn. I Kieler Bucht fant han at former større enn 2 mm utgjorde 74% og større enn 4 mm 62% av artene i mudderbunn, mens de tilsvarende tall for sandbunn var henholdsvis 33% og 19%. Imidlertid er mange dyr så skjøre at de ikke tåler spylingen over en sikt, og mange av polychaetene, blant dem flere av de individrikaste artene, er så tynne at de forsvinner gjennom sikteduken (kfr. REMANE, 1963) eller blir hengende på trådene i denne uten at man får fatt i dem. De oppførte tall er derfor minimumsverdier.

Med sitt åpningsareal på bare  $2,5 \text{ cm}^2$  kan det lille kjernebor, som var det eneste som ble benyttet i 1964, 1965 og 1966 ved sedimentundersøkelsene, ikke ventes å gi pålitelige prøver av bun faunaen; ett individ pr. rør svarer til en tetthet av 400 individer pr.  $1/10 \text{ m}^2$ . Ingen vekt kan derfor legges på fraværet av makroskopiske dyr i slike kjerner. Men det er påfallende at selv med dette trange rør fanges som regel polychaeter når bare ikke sedimentet er råttent eller på grensen til å være det. Sett på bakgrunn av denne erfaring er det forhåpentligvis tillatelig å benytte de verdier for faunaen som ble oppnådd med det rør av  $188 \text{ cm}^2$  tverrsnitt som ble benyttet i 1938, til en forsiktig sammenlikning med verdiene som ble funnet med grabben på  $1/10 \text{ m}^2$  i 1962, spesielt siden fangstene i begge tilfelle var meget sterkt dominert av polychaeter og muslinger.

Dessverre tillot ikke tiden bestemmelse av 1962-materialet til art. For 1938-materialets vedkommende har SCHEMMEKES (1963) påpekt den relativt store konsentrasjonen av makken Capitella capitata (O. Fabricius), som er velkjent forurensningsindikator, i Lysakerfjorden.

Den kvalitative fordeling av dyregruppene i 1938 og 1962 er illustrert henholdsvis i fig. 18 og fig. 19. I begge tilfelle var det bare Vermes (i praksis polychaeter) som ble funnet sammen med svart sediment, hvilket stemmer med disse dyrs spesielle evne til å klare seg ved lave oksygenkonsentrasjoner og til dels, i det minste for kortere tid, uten oksygen (BRAND, 1946). Det var imidlertid bare i utkanten av de råtne soner at dette fenomen forekom.

Foruten at de råtne, azoiske områder hadde meget større utstrekning i 1962 enn i 1938, fantes i 1962 en rekke lokaliteter med ytterst sparsom fauna også utenfor de råtne soner, og denne fauna besto i alle tilfelle utelukkende av makk. Mindre enn 25 dyr pr.  $1/10 \text{ m}^2$  ble funnet på følgende stasjoner i 1962:  
St. 1, 19 m, Bekkelaget; St. 9, 68 m, Ulsvik (svart); st. 37, 16 m, Lysaker (svart, mindre enn 5 dyr); st. 39, 60 m, Lysakerfjord (mindre enn 5 dyr); st. 49, 74 m, Lysakerfjord; st. 41, 84 m, Geitholmen; st. 46, 64 m, Flaskebekk (mindre enn 5 dyr); st. 53, 84 m, Kjerringrøva; st. 54, 10m, Steilene.

I 1938 fantes ingen parallell til dette fenomen. Bare på to stasjoner fantes da mindre enn 25 dyr pr.  $1/10 \text{ m}^2$  og aldri et mindre antall enn 5. De to stasjonene var: St. 41, 70 m, Skjærholmen (svart) og st. 74, 5 m, Bestun("mørk"?). Dette støtter motiveringen for de høyre-skraverte utvidelser av de råtne soner på 1962-kartet (fig. 19).

Mer enn 500 dyr pr.  $1/10 \text{ m}^2$  ble ifølge SCHEMMEKES (1963, fig. 9) funnet på åtte lokaliteter i 1962, hvorav de to var våre ytterste stasjoner (65 og 66), med betydelige dyp (henholdsvis 95 og 87 m), mens alle de øvrige var på moderate dyp, fra 27 til 52 m. Den mest allsidige fauna (kfr. fig. 19) ble funnet høyere oppe, eksempelvis på 14 m ved Nesodden (st. 44), 17 m ved Hvalstad (st. 63) og 30 m ved Steilene (st. 55). Bare i tre tilfelle (st. 36, 6 m, Bestun; st. 63, 17 m, Hvalstad; st. 11, 12 m, Ulsvik) dominerte muslingene over polychaetene. Som regel utgjorde sistnevnte mer enn 95 % av individene i 1962 (SCHEMMEKES, 1963).

Den tydelige korrelasjon mellom rik fauna og relativt lavt innhold av organisk stoff som fremgår av tabellene XI og XII kombinert ( s.53 og 54) er fullstendig i tråd med den tidligere omtalte vekselvirkning mellom faunaen og sedimentets oksydasjon.

#### B. Observasjoner fra Frognerkilen og diskusjon av bunnfaunaens forhold til hydrografi og forurensning

Spesiell interesse knytter seg til undersøkelsene i Frognerkilen, fordi vi her finner en grad av forurensning som er så ekstrem at den i høy grad direkte setter sitt umiskjennelige preg både på vannets utseende og lukt. Kjemisk røper den seg blant annet ved den enorme stigning i konsentrasjonene av oppløste fosfater mot overflaten, som ble funnet av GIESKES (1965),  $500 \times \text{PO}_4\text{-P}$  eller mer pr. liter på alle stasjoner innenfor "Kongen" og "Dronningen" (kfr. tabell XIII, se sidene 102, 103 og 104). I dette sterkt gjødslete vann vil turbiditeten i den lyse årstid i høy grad forringes av særdeles tette bestander av mikroskopiske alger i de øverste vannlag (kfr. BRAARUD og NYGAARD, 1966), hvorved de nedenforliggende områder ikke får tilstrekkelig lysenergi til oksygenproduksjon som kunne hindre forråtnelse.

Vi har ved en tilfeldig observasjon målt at 90% av dagslyset ble absorbert i de øverste 3 m(24/6-1957); men til sine tider kan nok forholdene være enda betydelig verre. I perioder med stor tilførsel av regnvann eller smeltevann gjennom Frognerelven vil overflatevannet i betydelig grad blakkes av leire. I tillegg til denne belastning, kommer en meget betydelig tilførsel av partikulære organiske forurensninger, ikke minst menneske-faeces og toalettpapir.

Da de hydrografiske rapporter ikke omfatter observasjoner fra Frognerkilen, er de data som er av interesse i nærværende sammenheng gjengitt i tabell XIII (s. 102,103,104). Stasjonene ble arrangert på følgende måte (kfr. fig. 26 og 27): A-1, A-2, A-3, A-4 og A-5 ligger omtrent langs en rett linje fra midt i Langvikbukten til Skillebekk. B-1 og B-2 ligger mellom "Dronningen" og "Kongen", B-1 nærmest "Dronningen" og B-2 nærmest "Kongen". C-1, C-2 og C-3 ligger i området mellom Oscarshall og Skarpsno, C-1 ca. 90 m NO av neset ved Oscarshall, C-2 ved grunnen Frognerdynga og C-3 50 m S for bryggen ved Skarpsno. D-1 og E-1 ligger henholdsvis ca. 200 m utenfor og ca. 100 m innenfor kilens trangeste parti, begge stasjoner omtrent like langt fra land på begge sider. I de fleste tilfelle ble bunnen undersøkt også i forskjellige dyp i nærheten av den hydrografiske stasjonen.

I fig. 28 er saltholdighetsmålingene fra overflatevannet arrangert etter avtakende verdier. Vi ser at saltholdigheten avtar meget sterkt og nokså regelmessig innover i kilen, hvilket viser Frognerelvets dominerende innflytelse. Mer regelmessig er sammenhengen mellom saltholdighetsreduksjon og økning i ortofosfatmengden. Dette tyder på at fosfatene i det vesentlige ble tilført sammen med ferskvannet, og kurvens rettlinjete forløp tyder på at forbruket av fosfat på det tidspunkt, i slutten av november, var lite sammenliknet med tilførselen, slik at reduksjonen i fosfatinnhold utover i kilen i overveiende grad kan sees som resultat av en mekanisk blanding mellom det gjødslete ferskvann representert ved elveosen innenfor st. E-1 og indre fjords overflatevann som man finner det ved Frognerkilens munning utenfor st. A-3. Bare ved st. C-3 ble det funnet en vanntype som tydelig avvek fra dette system, idet vi

her fant et i forhold til saltholdighetsfortynningen meget større fosfatinnhold. Da denne stasjon ligger i nærheten av utløpet fra kloakkrenseanlegget på Skarpsno, tyder forholdet på at avløpsvannet fra dette anlegg ved denne anledning hadde en høyere konsentrasjon av oppløste fosfater enn Frognerelven, hvis vann ved befaring pr. lettboat viste seg å måtte karakteriseres som en veritabel råkloakk med et meget stort innhold av kloakkpartikler fra et par millimeters til et par centimeters størrelse, og med en kontinuerlig oppstigning av gassbobler som avga en stank av hydrogensulfid kombinert med do-lukt av usedvanlig intensitet.

De øvrige kroker på P-S-kurven er for lite utpreget til at de kan diskuteres på grunnlag av det foreliggende observasjonsmateriale, som jo bare består av et eneste sett av observasjonsserier tatt i løpet av en arbeidsdag. Det hefter seg således den begrensning ved alle de hydrografiske data fra denne undersøkelsen i Frognerkilen at vi ikke kjenner noe til deres representativitet. Det bør dog fremheves at st. A-5 ligger i nærheten av et kloakkutløp med moderat vannføring, men med stort innhold av partikler som forårsaket en meget sterk lokal slamavsetning på bunnen.

Til materialet av bunnfaunaprøver hefter ikke den samme svakhet angående representativitet i forhold til tiden, fordi vi her i betydelig utstrekning har å gjøre med individer som har befunnet seg på samme sted i atskillige måneder, til dels flere år, idet deres bevegelser etter det pelagiske larvestadium innskrenker seg til noen desimeter eller centimeter.

Av tabell XIII fremgår at antallet av makroskopiske bunndyrarter avtok i den innerste delen av kilen. Man kunne tenke seg at dette skyldtes den omtalte reduksjon i saltholdighet, idet det er en alminnelig og vel fundert regel (kfr. f.eks. REMANE, 1958, HARTMAN, 1960) at artsantallet avtar mot minkende verdier av  $S^{\circ}/\text{oo}$ . Det er imidlertid verdt å merke seg at saltholdighetsreduksjonen i Frognerkilen bare viste seg i overflatevannet, mens våre faunaundersøkelser i det vesentlige hadde tilknytning til det nedenforliggende vannlag. I 2 - 2,5 m dyp viste saltholdigheten sogar en svak stigning innover i kilen, og

samtlige observasjoner fra 2 til 5 m dyp i hele kilen viste saltholdigheter mellom 22,09 ‰ og 22,70 ‰, med begge ekstremer på st. A-5. Det er likevel grunn til å anta at man ved stor vannføring i elven og ved pålandsvind vil kunne finne en horisontal saltholdighetsgradient med minkende verdier av S ‰ innover i kilen også i et par meters dyp. Men om saltholdigheten under slike omstendigheter blir lav nok til å begrense noen av de aktuelle arters utbredelse, kan vi ikke si.

Som fremhevet av REISH (1955; 1959; 1960) er imidlertid en markant reduksjon i bunnaunaens artstall typisk for forurensete lokaliteter, og det er rimelig å se observasjonene fra Frognerkilen som en bekreftelse på dette fenomen. I marine områder er forurensning vanligvis ledsaget av en reduksjon i saltholdigheten, som derfor i noen tilfelle kan tenkes å være ansvarlig for den aktuelle artsreduksjon. I Los Angeles-Long Beach Harbors (REISH, 1959) gjorde imidlertid ikke noen saltholdighetsreduksjon seg gjeldende. Man finner forøvrig det samme forhold mellom forurensning og artsantall også i ferskvann (kfr. f.eks. GAUFIN & TARZWELL, 1956).

Ser man på fordelingen av oppløste fosfater innover i Frognerkilen, viser det seg (kfr. tabell XIII) at denne forurensningskomponent, i motsetning til i overflaten, hadde påfallende små variasjoner fra 2 m dyp og nedover, og at man knapt kan tale om en gradient med stigende verdier innover, bortsett fra at de laveste verdier ble funnet på st. A-3 ved innløpet til kilen. De avtakende oksygenverdier innover i kilen under overflate-laget tyder imidlertid på en økende belastning med oksyderbart materiale. Det er verdt å merke seg at ekstra lave oksygenverdier ikke ble tilført med kloakkvannet direkte, tvert imot. Den høyeste av samtlige verdier for oppløst oksygen (kfr. tabell XIII) ble funnet i det sterkest forurensete vann, nemlig i overflaten på st. E-1 i nærheten av Frognerelvens utløp. Utover i kilen viste overflatevannets oksygeninnhold stort sett avtakende tendens, hvilket viser at fotosyntesen på denne sene årstid selv i overflaten ikke var tilstrekkelig til å oppveie forbruket i det sterkt belastete vann samt svinn ved blanding med tilstøtende (nedenforliggende og utenforliggende) vannmasser med lavere oksygeninnhold. Avgivelse av oksygen til atmosfæren var ikke aktuelt, tvert imot. Alle verdier viste en

betydelig grad av undermetning på oksygen, hvilket i seg selv er et tegn på sterk belastning. Uten tvil har avløpsvannet hatt et meget høyt oksygenbehov, B.O.D. (biochemical oxygen demand), men dette ble ikke målt. Ved et kloakkutløp og 1 - 2 miles nedenfor i en elv fant f.eks. GAUFIN & TARZWELL (1956) et B.O.D. på mer enn 100 mg/l på fem dager, tillike med særdeles høyer verdier for oppløst fosfat.

Ifølge sistnevnte kilde førte kloakkvannets store oksygenbehov til så lave verdier for oksygenkonsentrasjonen i vannet i det forurensete område, at dette begrenset forekomsten av dyr som var avhengig av å ånde med gjeller. Forurensning i form av suspenderte partikler synes imidlertid også å spille en rolle i denne sammenheng.

Nødvendigheten av en viss mengde oppløst oksygen for en lang rekke makroskopiske akvatiske dyr er blitt påvist, særlig indirekte, ved tallrike undersøkelser. SHURIN (1964) fant (basert på prøver fra 84 stasjoner) en meget nøye, positiv korrelasjon, faktisk nestendirekte proporsjonalitet mellom biomassen av bunndyr og konsentrasjonen i vannet av oppløst oksygen i området fra 10,4 til 1,7 mg O<sub>2</sub>/l. Nedenfor sistnevnte verdi var biomassen forsvinnende. I dette tilfelle var oksygenmangelen neppe koplet til forurensning av vannet eller bunnen idet SHURIN's undersøkelsesområde var åpent farvann i Østersjøen, og det azoiske område med de laveste oksygenverdier ble funnet langt til havs. Den observerte reduksjon av biomassen kan imidlertid heller ikke her sees som en helt ren effekt av oksygenmangel, da denne var koplet til dypet således at oksygenreduksjonen fra 10,4 mg/l til 1,7 mg/l svarte til en økning i dybden fra 35 til 115 m.

Der hvor oksygenreduksjonen er koplet til økete tilførsler av næringssalter og organiske forbindelser, slik som tilfellet ofte er i kystfarvann under påvirkning av avløpsvann og slam fra husholdning og næringsmiddelindustri, viser variasjonen i biomasse i forhold til oksygenkonsentrasjonen et helt annet forløp, idet man, som resultat av den rikelige næringstilførsel, ved en viss grad av forurensning ( i en viss avstand fra forureningskilden når denne er kraftig), finner særdeles tette populasjoner av visse arter. Spesielt rike bestander i kloakkfor-

urenset område ble eksempelvis funnet av LINKE (1939), REISH (1955), GAUFIN & TARZWELL (1956), McNULTY (1961), BØHLE (1965) og PERSOONE (1965). I de to sistnevnte tilfelle dreide det seg om dyr som satt oppå substratet og så nær vannoverflaten at fenomenet neppe har vært kombinert med spesielt lave oksygenkonsentrasjoner.

BLEGVAD (1932), som fant flere arter både av muslinger og polychaeter på stinkende bunn, fant også at den bunnmakken (Scoloplos armiger (O.F. Müller)) som dominerte i det av kloakk forurensete område ved København, her forekom i usedvanlig store eksemplarer. Den samme polychaeten ble av WOHLBERG (1937) funnet å forekomme regelmessig i det svarte, jernsulfidholdige sediment. WOHLBERG fant forøvrig at en ikke ringe del av de dyr som bor i Watt kommer i direkte, til dels varig berøring med det svarte H<sub>2</sub>S-holdige sediment, åpenbart uten å ta skade av det. Noen av dem spiser det til og med. LINKE (1939) nevner også flere arter fra svart mudder med stadig oppstigende bobler av forråtnelsesgasser. En av disse artene (Heteromastus filiformis (Claparède) tilhørende familien Capitellidae) ble sogar funnet utelukkende på slike lokaliteter. I Los-Angeles - Long Beach Harbors inndelte REISH (1955, 1959) bunnen i følgende soner etter bunnfaunaen: "healthy", "semihealthy I", "semihealthy II", "polluted" og "very polluted". Det er bemerkelsesverdig at sedimentet ble beskrevet som "black sulfide mud" ikke bare i den "polluted" sone som var dominert av Capitella capitata, men også i sonene karakterisert som "semihealthy" I og II med en mer variert fauna.

De lokalitetene som ble omtalt i ovenstående avsnitt, er grunne områder og skulle forsåvidt være sammenlignbare med Frognerkilen; de europeiske lokalitetene har også for en stor del de samme arter som ble funnet i Frognerkilen. Det er derfor av betydelig interesse at i Frognerkilen ble bunnen, med én unntakelse, funnet å være azoisk der hvor sedimentets toppsjikt var svart (kfr. tabell XIII). Unntakelsen var på st. D-1. Uheldigvis fremgår det av GIESKES' (1965) rapport en mystisk sedimentfordeling på denne stasjon, og det er derfor nødvendig å se nærmere på forholdet.



T a b e l l X I V

Sedimentkjerne-avlesninger

fra st. D-1 i Frognerkilen

cm kjernedyp i sedimentprøver nummerert som i GIESKES' (1965) rapport			
<u>Gråskala</u>	<u>Nr. 3</u>	<u>Nr. 2</u>	<u>Nr. 1</u>
S+		0 - 6	0 - 6
S	0 - 3	6 -18	6 -18,5
9	3 -10		
8		18 -25	
7	10 -15		18,5-23
6		25 -27,5	23 -26
5	15 -19		
4	19 -22		
Angitt dyp i m:	4	2,5	5
Sannsynlig dyp i m:	2,5	4	5

Så vel den rekkefølge som prøvene er nummerert i (se tabell XIV) som sedimentets struktur, tyder med en til visshet grensende sannsynlighet på at det har foregått en forbyttning av merkelapper, slik at dypene for kjerneprøvene i virkeligheten har vært som oppført i tabellens nederste rad. Dette syn støttes også av det faktum at skrapen etter trekk i 4 m dyp på denne stasjon, ifølge GIESKES (1965), bare inneholdt stinkende, svart sediment. De tre dyrene som ble tatt i grabben på 4 m dyp, var meget svømmedyktige krepsdyr (Gammarus oceanicus Segerstråle), som grabben på veg ned rimeligvis har fanget i vannet over bunnen. Tilbake står da bare at fire arter av bunndyr ble funnet på en lokalitet hvor det var et topplag av svart sediment som var relativt tynt (3 cm).

Av tabell XIII fremgår også et annet tilfelle av tilsynelatende uoverensstemmelse mellom sediment og fauna, nemlig på st. C-1 hvor (ifølge GIESKES, 1965) ingen dyr ble funnet ved skrape-trekk i 6-7 m dyp til tross for at sedimentet var friskt i 6 m

dyp (gråskala 7: 0 - 4 cm). Til dette er å si at sedimentet var meget dårlig i 8 m dyp ( $S^+$ : 0 - 4 cm, S : 4 - 12,5 cm, 9 : 12,5 - 17,5 cm), og at det dyp som skrapen arbeider i ikke kan angis med særlig nøyaktighet, da skrapen (på grunn av skrånende bunn og fartøyets kursendringer) slett ikke alltid går rett under båtens kjølvann. Det ble angitt (GIESKES, 1965) at det luktet sterkt av  $H_2S$  fra skrapeprøven i dette tilfellet.

Vi kan altså trygt si at det i Frognerkilen i november 1964 var en temmelig skarp grense mellom bunn med anoksisk toppsediment uten makroskopiske dyr og bunn med oksisk toppsediment og makroskopiske bunndyr. Den oksiske bunnsone, hvor sådan fantes, lå alltid ovenfor den anoksiske. På grunn av det relativt betydelige dyp på og omkring stasjonene A-3 og A-4 nær Frognerkilens munning, kunne vi ikke finne oksiske bunnområder på disse lokaliteter. Ved st. A-2 ble muligheten til å finne beliggenheten av nivået for grensen mellom råttet og frisk bunn utenfor Kieneodden forsømt. Av tabell XIII fremgår at dette nivået ved stasjonene B-1 - B-2 ved "Dronningen" og "Kongen" lå mellom 8 m og 13,5 m. Ved stasjonene A-1 i Langvikbukten, A-5 (bortsett fra kloakutløpets umiddelbare nærhet) ved Skillebekk og C-2 ved Frognerdynga i 8 - 10 m, ved st. C-1 vis-à-vis st. C-2 i ca. 7,5 m, ved st. C-3 ved Skarpsno desidert grunnere enn 7 m, ved st. D-1 litt lenger inne i 2,5 m og ved st. E-1 innenfor det trangeste parti i 1,5 m (kfr. GIESKES, 1965). I den umiddelbare nærhet av (ifølge GIESKES, 1965, 10 m syd for) kloakutløpet ved st. A-5 lå grensen mellom 2,5 og 4 m.

Vi finner altså i Frognerkilen et annet forhold mellom bunnfauna og sedimentets oksydasjonstilstand enn det er funnet i forskjellige andre sterkt forurensete grunne kystfarvann, og denne uoverensstemmelse trenger en forklaring.

Fra Wattenmeer nevner WOHLLENBERG (1937) at vannet over sedimentet ved hyppig fornyelse var praktisk talt mettet med oksygen, og at årsaken til jernsulfid- og gassdannelse derfor måtte finnes i selve sedimentet. LINKE (1939) skriver generelt at kontaktvannets oksygeninnhold ved virkningen av strøm og bølger blir omtrent det samme som havvannets. Både THAMDRUP (1935),

WOHLENBERG (1937) og LINKE (1939) nevner flere mudderboende arter, både muslinger og polychaeter, hvis rør er omgitt av en brunlig eller mer eller mindre rustfarget kappe av oksydert sediment og slim som klart skiller seg ut fra det omkringliggende svarte sediment. Ved bevegelse av forskjellig slag (kryping, pumping, vifting) må de åpenbart dra ned tilstrekkelig oksygen til å omgi seg med et lokalt oksisk miljø.

I det forurensete område av Øresund som ble undersøkt av BLEGVAD (1932) og JENSEN (1932) var dypene på stasjonene omtrent som i Frognerkilen og bunnen til dels beliggende nedenfor et meget markant hydrografisk spranglag i 8-10 m dyp. Ikke desto mindre ble der overalt funnet oksygen i anseelige mengder. På st. 8, 700 m fra hovedkloakkens utløp, ble det i et dyp av 14 m funnet svart, stinkende mudder med 70 bunndyr pr. 0,1 m<sup>2</sup> fordelt på 5 arter; oksygenkonsentrasjonen i 12 m dyp var 7,53 mg/l. På st. 14, 1100 m fra hovedkloakkens utløp, ble det i et dyp av 14 m funnet svart, stinkende mudder med 8 bunndyr pr. 0-1 m<sup>2</sup>, fordelt på 4 arter. Oksygenkonsentrasjonen i 13 m dyp var 8,07 mg/l. Også dette område må karakteriseres som åpent med lett adgang for vannfornyelser, selv om de strømhastigheter som ble målt (JENSEN, 1932) var relativt små.

Betydelig lavere oksygenkonsentrasjoner ble funnet i langt mer innelukkede farvann av REISH (1959). REISH (1966) angir 3,5 mg O<sub>2</sub>/l for "the polluted zone", karakterisert ved Capitella capitata og 1,6 mg/l for "the very polluted zone" som mangler makroskopisk dyreliv. REISH (1959) nevner som unntakelse fra det generelle bilde et par lokaliteter hvor god vannfornyelse ga temmelig høye verdier for oppløst oksygen, men den store avsetning av partikler fra kloakkutløp var ansvarlig for at der lite eller intet dyreliv fantes. Området som ble studert av REISH (1959) var de fleste steder ca. 10,5 m dypt, og vannprøvene ble overalt tatt i overflaten og i 6 m dyp. REISH (1966) påpeker at han, som vanlig er ved den slags undersøkelser, derved ikke fikk prøver av det vann, kontaktvannet, som bunndyrene lever i, og at han ved hjelp av en oksygenanalysator i felten hadde funnet et fall i oksygeninnholdet fra 7,2 mg/l i 3 m dyp til 0,8 mg/l ved bunnen i 3,3 m dyp. Det er imidlertid

verd å merke seg at i Los Angeles-Long Beach Harbors ble det registrert tidevannsamplituder på 1,13 til 2,78 m (REISH, 1955), det vil si at tidevannsvolumet svarte til ca. 15-20% av hele vannmengden. Videre var der ikke noen forskjell på saltholdigheten (ca. 35 ‰ (S) i overflaten og i 6 m dyp. De høye saltholdigheter viser forøvrig at vannføringene i ferskvannskloakkene var små sammenliknet med tilførselen av havvann, hvilket igjen viser de partikulære forurensningers relativt store betydning for bunn og bunnfauna. Selv oksygenkonsentrasjonen viste bare i fjerdeparten av de 168 observasjonsserier større forskjell enn 1 mg O<sub>2</sub>/l mellom overflate- og 6 m- observasjonen, og i 3/4 av disse tilfelle var det mest oksygen i dypet. Los Angeles - Long Beach Harbors er altså riktignok et område med særdeles store tilførsler av forurensninger, men samtidig et område med en helt vesentlig større vannfornyelse enn vi har i indre Oslofjord.

På bakgrunn av ovenstående diskusjon må vi regne med at når bunnfaunaen i Frognerkilen har vist seg å være spesielt følsom overfor kloakkforurensning, skyldes det at denne i Frognerkilen er kombinert med flere faktorer som ikke finnes kombinert på de andre lokaliteter som er dradd inn i sammenlikningen. Disse faktorer er: (1) topografisk beskyttelse mot bølger og strøm, (2) saltholdighetsstratifisering som hemmer vertikalsirkulasjon, (3) liten tidevannsamplitude, normalt bare 24 cm (NORGES GEOGRAFISKE OPPMÅLING, 1951), svarende til bare 2,5 - 3% av hele vannmengden i området.

Dessverre har vi heller ikke i Frognerkilen oksygenverdier fra kontaktvannet, men på grunnlag av registreringer med Føyn's oksymeter (FØYN, 1955) har GIESKES (1965) kunnet trekke oksygenfordelingskurver like ned til et par dm eller så fra bunnen. Det fremgår av disse kurver at det ved de dypeste stasjonene A-3 (18 m) og A-2 (17 m), var 1 til 2 m med oksygenfritt vann over bunnen. Ved st. B-2 i 14 m dyp gikk oksygenkurven til 0 umiddelbart over bunnen. Ved de øvrige stasjoner med unntakelse av st. E-1, hvor kurven gikk til 0 i 4 m, ble det funnet oksygen så langt ned mot bunnen som man kunne komme med oksymetret, og oksygenkonsentrasjonen ved bunnen var høyere jo grunnere stasjonen var, med unntakelse av st. D-1 hvor bunnverdien var noe lavere enn dypet ifølge denne regelen skulle tilsi.

Fordelingen, inklusive forholdene ved st. E-1 og D-1, viste også den regelmessighet at oksygenkonsentrasjonen i det dyp opp til hvilket råttent sediment ble funnet i nærheten, var større jo høyere dette dyp lå.

Regelen om en mot dypet minkende kontrast mellom vannets og sedimentets oksydasjonstilstand ser ut til å ha noen gyldighet også utenfor Frognerkilen, fra nesten oksygenmetning i vannet like over stinkende anoksisk sediment i tidevannssonen (kfr. WOHLÉNBERG, 1937) via Hellvikdypet hvor grensen mellom anoksisk og oksisk sediment gikk helt nede i 73 m dyp (fig. 19) i oktober 1962, skjønt vannets oksygeninnhold var mindre enn 1,00 mg/l fra 40 m og ned, til Santa Barbara Basin hvor grensen mellom anoksisk og oksisk sediment gikk i ca. 550 m dyp, mens vannets oksygeninnhold helt fra 475 m og ned var mindre enn 0,3 mg/l (kfr. EMERY & HÜLSEMANN, 1962). Grunnen til at man som regel finner større kontrast mellom vann og bunn i ringe dyp, er at såvel vannets oksygentilførsel ( ved fotosyntese, bølger, strøm) som oksygenforbruket på bunnen (rikeligere sedimentasjon av organisk materiale og dermed sammenhengende rikere fauna, eventuelt overveldende sedimentasjon uten fauna) er større på grunt vann.

I Eckernförder Bucht fant KREY, KOSKE & SZEKIELDA (1965) at gjennomsnittlig ca. 70% av det i overflatevannets seston (suspenderte partikler) bundne kullstoff gikk i oppløsning undervegs, mens ca. 30% nådde bunnen i 25 m dyp som sediment. I Clyde Sea Area fant MOORE (1931, a) at diatomeer med et betydelig innhold av organisk stoff ble sedimentert helt nede i 166 m dyp etter våroppblomstringen av disse planktoniske alger i øvre vannlag. Vi må derfor regne med at de periodevis forekommende enørmt tette bestander av planteplankton fører til en betydelig sedimentasjon av organisk stoff i Frognerkilens ringe dyp; men hvilken rolle denne komponent spiller kvantitativt sett, vet vi dessverre ikke noe om da den planlagte mikroskopering av sedimentprøver måtte sløyfes på grunn av tidsnød. For den innerste delen av kilens vedkommende, så vel som for området ved Skillebekk, behøvde man imidlertid ikke mikroskop for å se at kloakkpartikler var totalt dominerende. Nedenfor grensen mellom frisk og råttent bunn ved

stasjonene D-1 og C-1 ble det funnet meget løv og kvister (GIESKES, 1965); forekomsten av løv i alle fall er et tegn på mangelfullt dyreliv.

Av tabell XIII fremgår at faunaen var relativt rikholdig ved st. A-1 i Langvikbukten, som ligger i god avstand fra de verste forurensningskildene og ikke har for stort dyp. Mer påfallende er den varierte fauna ved stasjonene B-1 ved "Dronningen" og C-2 innenfor "Kongen". Prøven fra 6 - 8 m ved st. C-2 ble tatt på sydskråningen av Frognerdynga, ca. 300 m fra kloakkutløpet fra renseanlegget ved Skarpsno (kfr. fig. 26 og 27). Felles for disse to lokalitetene er at bunnen i 6 - 7 m dyp ifølge fig. 26 (Sjøkart nr. 452, Oslo havn) er konveks og skrånende, hvilket i sammenlikning med flate og særlig med konkave bunnområder betyr mindre sedimentavsetning og bedre vanntilførsel. De 19 artene som ble tatt med skrapen i 6 m dyp ved st. B-1 representerer ifølge GIESKES (1965) ikke mindre enn 6 phyla (dyrerekker). De 21 artene som ble tatt med skrapen i 6 - 8 m dyp ved st. C-2 representerer også 6 phyla, av hvilke fem var de samme som ved B-1. Dette støtter den oppfatning at mange dyreformer kan tåle en sterk grad av forurensning både med partikulære og oppløste stoffer så lenge der ikke gjør seg gjeldende oksygenmangel i vannet eller en overveldende avsetning av materiale på bunnen.

Ved København fant BLEGVAD (1932) at en for bunnfaunaen skadelig forurensning av bunnen var begrenset til et forholdsvis lite område, høyst med en radius av 100 - 200 m ved kloakkenes munning. Størst var det azoiske område i Svanemøllebukten, hvor der er en viss grad av topografisk beskyttelse (moloer) som BLEGVAD mente ville gi de oppslemmede partikler i kloakkvannet anledning til å bunnfelles i en for bunnfaunaen ødeleggende grad. I Biscayne Bay fant McNULTY (1961) at de azoiske lokaliteter lå innen en avstand av 200 yards fra kloakkutløp, hadde større enn gjennomsnittlig dyp og var karakterisert ved bløtt, klebrig mudder med høyt innhold av oksyderbart materiale.

Felles for de 11 artene som ble fanget med skrapen i 0 - 1,5 m ved st. D-1, langt inne i Frognerkilen, kfr. fig. 27, er at de

er kjent for å kunne tåle lave og vekslende saltholdigheter. Dominerende blant dem var polychaeten Nereis diversicolor O.F. Müller. Denne arten var blant dem som ble funnet i svart, stinkende mudder av BLEGVAD (1932). WOHLBERG (1937) fant den på samtlige stasjoner i det dårligste parti (Tonnenlegerbucht) av det av ham undersøkte område. Den ble der funnet i store konsentrasjoner og i uforminsket antall ved et H<sub>2</sub>S-innhold på 8 mg/l i det interstitielle vann. I kloakkforurenset område med fra bunnen stadig oppstigende forråtnelsesgasser fant LINKE (1939) mer enn tusen eksemplarer av Nereis diversicolor pr. m<sup>2</sup>. Ifølge samme kilde og ifølge GOERKE (1966), viser denne arten en overordentlig stor tilpasningsevne og allsidighet i sitt levevis.

I nevnte skrapetrekke fra st. D-2 var det også mange eksemplarer av den rørbyggende amphipoden (krepsdyr) Corophium insidiosum Crawford. (Ifølge amphipodespesialisten Carlos CHRISTOPHERSEN, som har kontrollert materialet, er GIESKES' (1965) bestemmelse av arten til C. bonelli (Milne-Edwards) ikke korrekt). C. insidiosum var blant de syv viktigste artene i Los Angeles - Long Beach Harbors (BARNARD, 1958). C. insidiosum var også blant dem som opptrådte i store mengder sammen med den likeledes rørbyggende polychaeten Polydora ciliata Johnston i Ostende havn (PERSOONE, 1965). Sistnevnte art forekom også ved st. D-1 i 0 - 1,5 m, men bare i lite antall. Der var derimot atskillige Capitella capitata.

Det bør nevnes at bunnen ved st. D-1 fra 2 m dyp og opp var fullstendig dekket av svære flak av grønnalgen Ulva (sjøsalat). Det samme var tilfelle ved st. C-1 fra 1 til ca. 5 m dyp. Muslingene som lå på sjøsalaten (GIESKES, 1965) hadde således ikke kontakt med mudderet.

Blant de 23 eksemplarene av bunndyr som ble fanget i grabben på 2,5 m dyp ved st. D-1 (tabell XIII), var det ifølge GIESKES (1965) 8 individer av Nereis diversicolor og 12 individer av sandmusling, Mya arenaria L. Med munningen av sitt lange ånderør i den oksiske sedimentoverflaten ligger selve muslingen av denne art langt nede (12 - 25 cm) i mudderet, selv om den alt overveiende del av dette er anoksisk (THAMDRUP, 1935). LINKE (1939) fant den også i svart mudder, hyppig med jernsulfid innleiret i skallet på levende dyr. Ifølge THAMDRUP (1935)

kan den klare seg i flere døgn uten oksygen. FILICE (1954, fide REISH, 1960) fant Mya arenaria i det som han kalte "marginal zone" sammen med Capitella capitata og noen få andre. GIESKES (1965) fremholder Mya arenaria som "polysaprobic" fremfor noen andre. I grabbeprøve fra 2,5 m dyp på innsiden av Frognerdynga ved st. C-2 fant han 545 Mya arenaria pr. 1/10 m<sup>2</sup>. Andre dyr som forekom i store antall i denne prøven var oligochaeter (makk) (207), Polydora ciliata (155), Nereis diversicolor (101), Mytilus edulis L. (blåskjell) (41). I grabbeprøven fra 2 m dyp på st. C-1 utgjorde Mya arenaria 128 av de 139 dyr. På st. B-1 (1,5 - 2 m), hvor det var mange Mya arenaria, alle mindre enn 3,5 cm, ble disse funnet i sammenfiltrete (byssustråder) klumper, med ånderørene i alle retninger (GIESKES, 1965). Dette flettverk av unge Mya (ca. 0,5 cm) ble funnet av LINKE (1939) med en bestandstetthet opptil vel 55000/m<sup>2</sup>.

En representant for oligochaetene ble av WOHLBERG (1937) funnet å være karakteristisk for det halvt flytende mudder med høyt H<sub>2</sub>S-innhold i Königshafen. Den samme ble av LINKE (1939) funnet i særdeles tette populasjoner i meget sterkt forurensete Watt-områder. Polydora ciliata er en meget tilpasningsdyktig art. Den blir vanligvis ansett som en i kalkstein og sneglehus borende art (LINKE, 1939; HEMPEL, 1960). I Königshafen fant HEMPEL (1960), som viste at boringen er en mekanisk prosess, at Polydora ciliata slo seg ned på uthengte plater av både keramikk, kalkskifer, kritt og tre. PERSOONE (1965) fikk den i ustyrtelig mengde på objektglass uthengt i Ostende havn. Gressplen-tette bestander ble påvist av LARSEN (1966) på hard bunn i Svinesund, hvor vannet er sterkt forurenset. I Jadebusen-watt fant LINKE (1939) Polydora ciliata fortrinnsvis på leiraktige slambanker, i antall opp til 200 000/m<sup>2</sup>, men også i fast slamblandet sand og i torv, men ikke i det bløtteste mudder. Også for Mytilus edulis kan altfor bløtt sediment virke begrensende på forekomsten (THAMDRUP, 1935; DEMEL & MULICKI, 1954). Den finnes dog på mudderbunn, hvor den er tilbøyelig til å synke litt nedi; men denne vanskelighet overvinnes blåskjellene dels ved at de ved hjelp av sine byssustråder hefter seg sammen til hverandre og danner store klumper, dels benytter de gamle skall eller andre muslinger, levende så vel som døde, som underlag



THAMDRUP, 1935). Mytilus edulis var blant de arter som WILHELMI (1915, fide HECHT, 1932) fremholdt som ufølsom overfor forurensning og ble av BLEGVAD (1932) funnet på stinkende bunn. Ifølge THAMDRUP (1935) kan Mytilus edulis klare seg ev. døgnstid eller to uten oksygen. I Frognerkilen var blåskjell, sammen med sandmusling, temmelig dominerende ved stasjonene A-1 i Langvikbukten, B-1 ved "Dronningen" og C-2 ved Frognerdynga i 5 m dyp og grunnere.

Av dominerende arter fra Frognerkilen står bare igjen å omtale Capitella capitata, som tillikemed Polydora ciliata fantes i store mengder på bunnen like ved kloakkutløpet ved Skillebekk (st. A-5), skrape 2-3 m). Av de øvrige 9 arter fra denne prøven forekom 8 bare i ett eller noen få eksemplarer hver, for Nereis diversicolor er intet oppgitt om antallet. Der var mange bitte små eksemplarer av blåskjell som alle var døde (GIESKES, 1965). Capitella capitata har en kosmopolitisk utbredelse BELLAN (1966), og den viste seg i Los Angeles - Long Beach Harbors å være den mest utpregede forurensningsart. Når Capitella capitata ble funnet i stort antall, var der enten vanlig kloakk eller avløp fra fiskehermetikkindustri i nærheten og få eller ingen andre dyr (REISH, 1955; 1959; 1960). Arten ble også funnet i svart, råttent mudder av WOHLBERG (1937) og KÜHLMORGEN- HILLE (1965). Ifølge JACUBOWA & MALM (1931) hører den blant dem som kan tåle mest hydrogensulfid, opptil 31 mg/l.

GIESKES (1965) fremhevet den påfallende ringe individstørrelse, særlig for muslingenes vedkommende, i materialet fra Frognerkilen, og holdt det for sannsynlig at det var et resultat av de abnorme miljøforhold. THAMDRUP (1935) fant at hos Mya, og sannsynligvis også hos Mytilus, nedsettes såvel aktivitet, vannpumping som stoffskifte i helt vesentlig grad når oksygenkonsentrasjonen i vannet kommer under 2 mg/l. Det er klart at dette over lengre tid eller ved hyppige gjentakelser vil hemme veksten. Nå er det en velkjent regel at en reduksjon i saltholdigheten også virker veksthemmende. For de angjeldende arter er det imidlertid først ved saltholdigheter som er lavere enn den som dyrene ble funnet i, at dette fenomen gir stort utslag (kfr. REMANE, 1958). Dyrene så dessuten ut til å være tydelig større ved st. B-1 enn ved de andre stasjonene (GIESKES, 1965).

På grunn av denne lokalitetens fremskutte beliggenhet, kan oksygentilførselen til bunnen her formodes å være noe bedre og sedimentavsetningen noe mindre enn ved de øvrige stasjoner. Den ringe størrelsen på individene behøver imidlertid ikke å skyldes dårlig vekst, den kan skyldes ung alder. Det var påfallende at de tomme muslingskall som på enkelte lokaliteter ble funnet i store mengder, for det meste var større enn de levende gjennomgående var. Dette kan tyde på at det tidligere har forekommet lengre sammenhengende perioder (flere år) med levelige vilkår i vedkommende dyp forut for 1964.

Med unntakelse av 2,5 m dyp ved st. C-2 (kfr. tabell XIII) var det små og meget små bestander som ble funnet i Frognerkilen i 1964.

### C. Drøbak-området

Hele ideen bak undersøkelsene av bunnfaunaen i Drøbak-området i 1962 (STÅLESEN, 1964) var å prøve å finne ut hvorvidt det hadde funnet sted noen forandring i faunaen siden denne ble undersøkt i 1933/34 (BROCH, 1936) med samme metodikk. Stasjonene ble derfor plassert og nummerert på samme måte ved de to anledninger, se fig. 29. Prøvene fra st. 15, vest av Oljemøllen ved Drøbak (uten nummer), ble holdt utenfor sammenlikningen fordi sedimentet her viste seg å være sterkt sandblandet, mens det på alle de øvrige stasjoner var leire, dog med noe iblandet sand på st. 24. Leiren viste en del variasjon i fasthet, hvilket sannsynligvis hadde sammenheng med topografiske detaljer som skråninger, groper og kupler (STÅLESEN, 1964). Det bør i den forbindelse erindres at posisjonen for de enkelte stasjoner i 1933/34 ble valgt uten hjelp av ekkolodd. Å dømme etter mangelen på angivelse av méd og den lille målestokk som BROCH (1936) benyttet i kartet som viser stasjonenes posisjoner, var disse heller ikke valgt med tanke på gjentakelse. Det var derfor bare ved hjelp av flittig bruk av ekkoloddet og iherdig leting og prøving at det lyktes oss, etter vårt skjønn, i 1962 å finne igjen nesten samtlige BROCH's (1936) posisjoner med temmelig god nøyaktighet. Av STÅLESEN's (1964) tabeller fremgår at vi på 22 av de 25 stasjonene fant nøyaktig samme dyp som ble funnet av BROCH (1936), mens vi i ett tilfelle, st. 7, fant to meter større dyp, og på stasjonene 1 og 2, tross

møgen leting innen rimelig radius ikke kunne komme nærmere enn 10 m mindre enn det dyp som er oppgitt av BROCH (1936).

På de aller fleste stasjonene fikk vi i 1962 grabben full av bunnmateriale, men på stasjonene 12 og 15 ( som altså ble holdt utenfor nettopp på grunn av bunnens beskaffenhet ) lyktes ikke dette tross mange forsøk (STÅLESEN, 1964). Hvorledes det forholdt seg i dette henseende i 1933/34 sier ikke BROCH (1936) noe om.

Stasjonene representerer tre rekefelter, nemlig Gråøyrennen, st. 1-5 med dyp fra 90 - 112 m, Digeruddypet, st. 6-12 med dyp fra 92 - 130 m, og Elle, st. 13-14 og 16-25 med dyp fra 100 - 200 m. Vi har altså tolv stasjoner fra lokaliteter innenfor, men ikke langt fra, Drøbakerskelen og like mange stasjoner fra området rett utenfor Drøbak-terskelen. Det faktum at dypet gjennomgående er betydelig større for stasjonene utenfor Drøbak-terskelen er neppe av dominerende betydning, da det er et velkjent fenomen (kfr. BEYER, 1958) at man innenfor fjordtersklene finner samme dyresamfunn i betydelig høyere nivå enn utenfor (emergens).

Mellom de to lokalitetene Gråøyrennen og Digeruddypet er der den viktige forskjell at sistnevnte har nokså direkte forbindelse til sadelen i Drøbak-terskelen og ligger i leden for dypvannsstrømmer til indre fjord, mens Gråøyrennens forbindelse for dypvannsutsiftning er mer indirekte og går nordover gjennom Digerud-dypet, over en 50 - 60 m dyp rygg mellom Aspond og nordenden av Håøy og ned i Langår-rennen, derfra sydover igjen gjennom et trangt skar med 60 m dyp ved Sundbyholmene.

Betydningen av denne forskjell illustreres av de hydrografiske observasjoner fra 1933/34 ( kfr. BRAARUD & RUUD, 1937) som viser at dypvannets oksygeninnhold under 6 av de 7 tokter var lavere i Gråøyrennen enn i Digerud-dypet. (= "Håøy Bay"). Gjennomsnittsverdien for 75 m dyp var 6,31 mg/l i Gråøyrennen og 6,64 mg/l i Digerud-dypet. Gjennomsnittsverdien for 100 m dyp i Gråøyrennen var 6,23 mg/l, mens verdien for 120 m dyp i Digerud-dypet var 6,66 mg/l. Ved Digerud ble det målt et oksygeninnhold på bare 2,21 mg/l i 110 m dyp (st. G1) den 12/1 og 2,65 mg/l i 115 m dyp den 8/2 - 1962. Ved innstrøm-

ninger i februar-mars samme år kom dypvannets oksygeninnhold i Digerud-dypet over 7 mg/l, men var den 16/8-1962 allerede kommet ned i 5,2 mg/l (120 m). Dessverre var Gråøyrennen ikke inkludert i de hydrografiske undersøkelser i 1962-66. I 1933/34 var imidlertid oksygeninnholdet i 100 m dyp i Gråøyrennen temmelig likt oksygeninnholdet i 95 m dyp ved Steilene, i gjennomsnitt bare 0,11 mg/l høyere. Ved dypvannsutskiftninger var oksygeninnholdet i dypet høyere ved Steilene enn ved Gråøyrennen, hvilket må anses som en rimelig følge av den omtalte tungvinte atkomst for dypvannet til sisnevnte lokalitet. Forbruket av oksygen var imidlertid raskere ved Steilene, som jo ligger betraktelig nærmere de store forurensningskilder. Den 12/1-62 ble det i 95 m dyp ved Steilene (st. Dk) funnet bare 0,96 mg/l, den 23/5 var konsentrasjonen støget til 7,21 mg/l. På bakgrunn av disse data må vi anse det som ganske sikkert at oksygeninnholdet i 100 m dyp i Gråøyrennen i januar-februar 1962 har vært under 2 mg/l, men at det i de siste 3 - 4 måneder før grabbeundersøkelsene var meget høyt.

Spesielt sett på bakgrunn av den omtalte forskjell på lokalitetene må det understrekes at antallet av prøver er meget lite som grunnlag for kvantitativ sammenlikning; tilsammen representerer de bare 2,4 m<sup>2</sup> av bunnen. Det fremgår både av BROCH (1936) og STÅLESEN (1964) at det var en betydelig variasjon i prøvene også innenfor hvert av de tre områder. I tillegg kommer de tidligere omtalte vanskeligheter som hefter ved metodikken. For at de forskjellen i faunaen som er funnet, både mellom faunaen på utsiden og innsiden av Drøbakterskelen og faunaen i 1933/34 sammenliknet med i 1962, skal kunne tillegges noen vekt, fordres det derfor at de viser en meget tydelig tendens. Ingen vekt kan legges på forekomsten i materialet av spredte eksemplarer av en art på én lokalitet men ikke på en annen, eller på spredte eksemplarer ved undersøkelsen i 1933/34 men ikke i 1962 eller omvendt.

Av polychaetslekten Harmothoë, hvis arter er meget vanskelige å identifisere, fikk BROCH (1936) av en utenlandsk spesialist bestemt fire arter, mens STÅLESEN (1964) nøyde seg med å registrere disse dyrene som Harmothoë sp. Av muslingslekten Thyasira, som likeledes krever spesialist for sikker identifikasjon,

førte BROCH (1936) opp tre arter, mens STÅLESEN (1964) også i dette tilfelle nøyde seg med å føre opp slektsnavnet, Thyasira sp. For sammenlikningens skyld er dyrene tilhørende disse to slekter i nærværende rapport bare regnet som én taksonomisk enhet ("art") for hver slekt ved begge undersøkelser.

BROCH (1936) fant at faunaen på innsiden av Drøbak-tersekelen var både kvalitativt og kvantitativt rikere enn på utsiden, idet forholdet (I/U) mellom dyrene på innsiden (I) og utsiden (U) var 87/60 for artenes vedkommende og 1228/475 for antall dyr/m<sup>2</sup>. Individtettheten i Gråøyrennen og i Digerud-dypet var den samme (henholdsvis 1200 og 1250 dyr/m<sup>2</sup>). Summarisk for dyregruppene er resultatene gjengitt i fig. 30 og fig. 31. BROCH (1936) mente at de kvalitative forskjeller mellom faunaen på de to sider av Drøbak-tersekelen uten tvil måtte tilskrives forskjeller i hydrografien, og antok at den lavere saltholdighet og de større temperatursvingninger i dypvannet på innsiden kunne være skjebnesvangre for enkelte arter. Slike hydrografiske faktorer mente BROCH sannsynligvis også var årsaken til at den på sydsiden av terskelen desidert tallrikeste polychaet, Onuphis quadricuspis M. Sars, bare forekom i spredte eksemplarer på innsiden.

Den, ifølge BROCH (1936), store, gjennomgripende kvantitative forskjell mellom bestanden på innsiden og utsiden av Drøbak-tersekelen mente BROCH måtte skyldes forurensningen av indre fjord med gjødselstoffer som ga tettere phytoplanktonbestander og større detritusavsetning på innsiden. Hva phytoplankton angår har BROCH's antakelse senere blitt bekreftet (kfr. BRAARUD, 1945, BRAARUD & NYGAARD, 1966), og tette individkonsentrasjoner i bunnfaunaen har mange steder blitt funnet å være et forurensning ledsagende fenomen. Men sammen med dette har man funnet en reduksjon i artsantall og innskrenkning av typer av organismer, spesielt med hensyn til ernæringsmåte (kfr. REISH, 1955; 1959; 1960; GAUFIN & TARZWELL, 1956; HARTMAN, 1960), som ikke fremgår av fig. 31. Denne uoverensstemmelse må forklares ved at det bare var en meget moderat, begynnende forurensningseffekt som BROCH (1936) registrerte så langt ute som i Gråøyrennen og Digerud-dypet i 1933/34. Det er dog verd å legge

merke til at Capitella capitata dominerte meget sterkt på innsiden av terskelen med gjennomsnittlig 29 eksemplarer pr.  $1/10 \text{ m}^2$ , mens den utenfor bare ble funnet i tilsammen 7 eksemplarer på de 12 stasjoner.

Summariske resultater fra STÅLESEN's (1964) undersøkelse i 1962 er vist på fig.32 og fig.33. Forholdet (I/U) mellom dyrene på innsiden (I) og utsiden (U) av Drøbaktorskelen var da  $40/43$  for artenes og  $1225/1048$  for individenes vedkommende. Heller ikke i 1962 var det noen forskjell på individtettheten i Gråøyrennen ( $1260/\text{m}^2$ ) og Digerud-dypet ( $1200/\text{m}^2$ ) og tetthetenså faktisk ut til å være den samme som i 1933/34. Artstallet for lokalitetene innenfor terskelen viser derimot en meget markant reduksjon i forhold til artstallet utenfor sammenliknet med det som ble funnet i 1933/34. Tallet på arter utenfor terskelen er også såvidt meget mindre for 1962 at man må anta at der ligger en realitet bak, selv om materialet for mange arters vedkommende er lite og undersøkelsene ble foretatt av forskjellige personer. Det fremgår også av fig. 32 og 33, sammenliknet med fig. 30 og 31 at faunaen så vel på utsiden av Drøbak-terskelen som på innsiden i 1962 var blitt en langt mer utpreget polychaet-fauna. Dette er også et faktum som peker tydelig i retning av øket forurensningspåvirkning. Det økede individtall ved Elle (fra 475 til 1048 pr.  $\text{m}^2$ ) peker også i samme retning.

T a b e l l X V

Det gjennomsnittlige individantall pr.  $1/10 \text{ m}^2$  for de tre dominerende polychaetarter på de tre felter. Data fra BROCH (1936) og STÅLESEN (1964).

Art	År	Gråøy	Digerud	Elle
<u>Onuphis quadricuspis</u>	1933/34	0,4	0,7	10,6
" "	1962	0	1,6	12,5
<u>Capitella capitata</u>	1933/34	44,0	18,4	0,6
" "	1962	46,8	1,9	12,9
<u>Spiophanes krøyeri</u>	1933/34	1,2	0,1	0,1
" "	1962	68,0	91,6	40,8

Den mest påfallende forandring i faunaen er at en polychaetart tilhørende familien Spionidae, Spiophanes kröyeri Grube, som i 1933/34 bare fantes i spredte eksemplarer på alle tre felter, i 1962 var blitt den desidert dominerende art på samtlige felter, se tabell XV. Den for utsiden av terskelen så karakteristiske art Onuphis quadricuspis viste ingen bestandsforandringer. Capitella capitata viste en meget markant økning i bestanden ved Elle, hvilket er en ytterligere indikasjon på øket forurensningseffekt også utenfor Drøbakterskelen. Tilbakegangen i bestanden av Capitella i Digerud-dypet kan neppe ses som en indikasjon på at forholdene her var blitt bedre enn i 1933/34, da det jo var på denne lokalitet at Spiophanes viste sin aller største dominans. Det er mulig at nettopp denne dominans gir forklaringen på tilbakegangen hos Capitella, og at de to arter kan genere hverandre når bestandstettheten overstiger visse grenser. LINKE (1939) fant for eksempel at polychaeten Polydora ciliata (en av våre tidligere omtalte forurensningsarter) ofte forekom sammen med den likeledes rørbyggende amphipoden Corophium volutator Bate, men ble fortrent av denne så snart bestanden av Corophium oversteg 2500-3000 individer pr. m<sup>2</sup>.

Med oppblomstringen av Spiophanes kröyeri har vi sannsynligvis fått en meget god og følsom indikator på moderat forurensningseffekt i Oslofjorden. I så fall inntar den en noenlunde tilsvarende stilling som REISH (1959) fant for dens slektning Pseudopolydora paucibranchiata (Okuda), som viste store bestandstettheter i REISH' nestbeste sone, "semihealthy I", men ellers bare forekom i få eksemplarer i prøvene.

Capitella capitata ble av MOLANDER (1928) i Gullmarfjorden bare funnet på grunt vann (5 m) like i nærheten av Kristineberg (bebyggelse).

Om Spiophanes kröyeri fant MOLANDER (1928) at den i Gullmarfjorden hadde en meget vid vertikal utbredelse, fra 16 til 108 m. Dette svarer til meget betydelige variasjoner i temperatur og saltholdighet. Den viste preferanse for fast leire. Spiophanes kröyeri var blant de arter som MOLANDER (1928) regnet for tallrik i Gullmarfjordområdet. Men det er i den forbindelse

viktig å legge merke til at som tallrik bestand regnet MOLANDER en konsentrasjon på 2-3 individer pr.  $1/10 \text{ m}^2$ . MOLANDER (1928) benyttet den samme modell av Petersens grabbe ( $0,1 \text{ m}^2$ ) som ble benyttet av BROCH (1936) og STÅLESEN (1964). Det turde være symptomatisk at i Gullmarfjorden, som fra naturens side er meget lik Oslofjorden, spilte polychaetene ikke tilnærmedelsesvis den rolle som de gjorde (og i enda høyere grad gjør) i Oslofjorden. Echinodermer spilte, i motsetning til i Oslofjorden, en meget fremtredende rolle kvantitativt sett, og også muslinger var i forhold til polychaetene betydelig bedre representert enn hos oss.

Alt i alt er det i nærstående kapitel pekt på en rekke funn som på grunn av materialets beskjedne omfang hver for seg ikke har tyngde nok til at man kan dra sikre konklusjoner, men fordi de alle peker i samme retning, kombinert ikke levner noen tvil om at der i Drøbakområdet i 1962 var en betydelig større forurensningspåvirkning enn i 1933/34. Oksygenmangel gjorde seg ikke gjeldende på de undersøkte lokaliteter i 1933/34 (kfr. BRAARUD & RUUD, 1937). Men vi vet ikke i hvilken grad faunaen sommeren 1962 var påvirket av den rikelige oksygenmengde som da var tilstede innenfor Drøbakterskelen, eller av de ekstra lave oksygenkonsentrasjoner den foregående vinter.

## VII DISKUSJON

I de foregående kapitler ble det i stor utstrekning funnet nødvendig å støtte seg til litteraturen for å komme frem til en logisk og erkjennelsesmessig tilfredsstillende oppbygging av fremstillingen. For å unngå gjentakelser i nærstående kapitel ble da også diverse problemer diskutert i den naturlige sammenheng i hvilken de dukket opp. På de følgende sider skal bare ytterligere trekkes frem noen momenter til forøkelse av rapportens perspektiv.

Det er to forhold som fremtrer som spesielt viktige i nærstående sammenheng og sett i forbindelse med hele Oslofjordprosjektet. Det ene er at (A) med bare elleve års mellomrom har store partier av bunnen i indre Oslofjord på grunn av oksygenmangel to ganger (i 1950 og i 1962) vært lagt øde for



dyreliv. Det andre spesielt viktige forhold er at (B) dette fenomen tidligere ikke har forekommet.

A. Forekomsten av disse to forråtnelseskriser er ubestridelige fakta dokumentert ikke bare ved erfaringer til samtlige fiskere som driver og/eller drev fiske langs bunnen av indre Oslofjord, men også av et kvalitativt sett tilstrekkelig materiale av naturvitenskapelige observasjoner.

B. At slike kriser tidligere ikke har forekommet, kan utledes av følgende omstendigheter:

1. For dem som driver ervervsmessig trålfiske er bunnfaunaens forsvinnen et så betydningsfullt og bekymringsfullt fenomen at det er utenkelig at det av dem kan oversees eller glemmes. Blant de fiskere som vi har hatt særlig god kontakt med er en (OLE BÆKVOLD, Vollen) som har drevet fiske i indre Oslofjord fra 1911 til 1963 og hele denne tiden har ført trålfangst dagbok. Vi må derfor feste betydelig tillit til gamle fiskeres forsikring om at forråtnelseskriser av liknende omfang til det som ble konstatert i 1950 og 1962 forøvrig ikke har forekommet siden begynnelsen av vårt århundre.

2. At forråtnelseskriser av slikt omfang heller ikke har forekommet i forrige århundre eller tidligere, må sluttes av det forhold at en rekke dyrearter, både fisk og hvirvelløse dyr, som av M. SARS (1866; 1868), G.O. SARS (1865, 1866; 1868; 1869; 1870; 1879; 1899; 1900; 1928) og HJORT (Ch. IV i HJORT & DAHL, 1900) ble omtalt som karakteristiske for indre Oslofjord, ikke lenger finnes der (kfr. STÅLESEN, 1963; RUUD & VERSVIK, 1966; BEYER & VERSVIK, 1967).

En hel del av disse arter er typiske kaldtvannsararter, og det ble fremhevet både av M. SARS (1866) og av HJORT (Ch. IV i HJORT & DAHL, 1900) at det var den innerste delen av fjorden (Bunnefjorden) som ved forekomsten av disse arter viste en mer arktisk karakter enn fjorden forøvrig. Dette stemmer fortreffelig med den nylig påviste forskjell i dypvannets temperaturvariasjoner i Bunnefjorden, hvor temperaturen knapt går over 7°C, og Vestfjorden, hvor temperaturen leilighetsvis kan

gå over 10°C (BEYER, 1967).

En del av Oslofjordens bløtbunnsarter har vist seg å trives aldeles utmerket i våre sjøvannsakvarier med mudder fra fjorden. Normalt holdes temperaturen i disse akvarier ved 6° - 7°C. Men når temperaturen p.g.a. utilstrekkelig eller sviktende kjølekapasitet enkelte ganger har kommet over 9°C, har dette vist seg å være katastrofalt for denne faunaen. Denne erfaringen gjelder også en fisk (Lycenchelys sarsi Collett) som ikke er av de mest arktiske og finnes på bunnen mange steder i ytre fjord hvor temperaturvariasjonene ikke er så store som i Vestfjorden. Lycenchelys ble imidlertid funnet i Vestfjorden så sent som i 1938; men det lyktes ikke å finne den noe sted innenfor Drøbak i 60-årene til tross for betydelig mer omfattende undersøkelser (STÅLESEN, 1963; VERSVIK, 1963). Like- som flere av de øvrige forsvunne arter er Lycenchelys i sitt levevis så sterkt knyttet til bunnen og dypet at den i vår tid neppe kan komme over Drøbak-terskelen. Ved slutten av istiden kunne både den og de andre enda mer utpregede kaldtvannsartene gjøre det, fordi det er en helt alminnelig regel (kfr. f.eks. EKMAN, 1953) at de samme kaldtvannsarter som i tempererte områder bare finnes i dypet, i arktiske farvann finnes like opp i de øvre vannlag. Som følge av den postglaciale landheving er Drøbak-terskelsen betydelig grunnere idag enn den var den gang (kfr. STRØM, 1936).

Det er meget mulig at det var den ekstremt høye temperatur i 1950 (kfr. BEYER, 1967) eller eventuelt en annen gang mellom 1938 og 1946, og ikke oksygenmangel, som til slutt utryddet Lycenchelys fra indre Oslofjord. Vi må imidlertid gå ut fra at høye temperaturer også i forrige århundre og tidligere leilighetsvis har forekommet i Vestfjorden, men ikke i Bunnefjorden. Sistnevnte område kunne da tjene som reservat, ikke bare for Lycenchelys, men spesielt for de mer arktiske arter, og disse arters senere forsvinnen må sees som et tegn på at Bunnefjorden ikke lenger er tjenlig som sådant reservat. Vi har ingen annen naturlig forklaring på denne forandring enn at oksygeninnholdet i Bunnefjordens dypvann i forrige århundre og tidligere, i motsetning til i vår tid, aldri var så lite at ikke en bunnfauna som til og med omfattet fisk kunne leve der, om enn ikke bestandig på de aller største dyp.

3. Ifølge fisker OLE BÆKVOLD var det i begynnelsen av vårt århundre i Bunnefjorden at de beste felter ble funnet for det kommersielle trålfiske etter den arktisk-boreale dypvannsreken Pandalus borealis Krøyer. Så sent som i 1920-årene var dagsfangstene for en tråler der vanligvis på 35 til 40-50 kg; like etter isløsningen kunne man få så meget som 100 kg pr. dag. Siden oksygenkrisen i 1949/50 har det ikke vært tatt reker i det hele tatt i hele Bunnefjordområdet, og periodevis har det også vært meget dårlig i hele Vestfjorden (kfr. STÅLESEN, 1963). Det er ytterst urimelig å anta at beskatningen kan ha decimert rekebestanden i den grad. Det er derimot all grunn til å sette fluktuasjonene i rekefangstene i indre Oslofjord i forbindelse med de meget betydelige variasjoner i dypvannets oksygeninnhold som er påvist både i Vestfjorden og i Bunnefjorden (BEYER & FØYN, 1951).

Etter at fisket i lang tid hadde vært ytterst elendig, fikk OLE BÆKVOLD for få år siden plutselig 100 kg på én dag i feltet utenfor Slemmestad. Den slags eksempler tyder på at når vannet langs trålfeltene (leirslettene og dyprønnene) er for dårlig, kan rekebestanden søke tilflukt i bratte skråninger og krokete revner i noe høyere nivå hvor trålen ikke kan komme til. Etter utskiftning av bunnvannet kan så plutselig reken igjen innfinne seg en masse på sine gamle felter. Slik foregår det etter all sannsynlighet i Vestfjorden idag, og på den måten må vi gå ut fra at rekebestanden kunne klare seg i Bunnefjorden like til 1949, men åpenbart ikke lenger. Dette er igjen et sannsynlighetsbevis for at oksygenmangelen i den senere tid er blitt mer omfattende enn den var før.

4. I sedimentkjerne fra 150 m dyp ved Svartskog (Ep) 8.10.1962 fant RISDAL (1963) i de øverste cm bare meget få foraminiferer (amøbeliknende dyr med skall) og ingen av dem levende. 6 cm fra sedimentets topp, ved overgangen fra svart til grått sediment, fantes en stor mengde foraminiferer, særlig hva individtall angår. Nedenfor dette kjernedyp avtok individtallet av foraminiferer igjen ganske raskt til et noenlunde konstant antall fra 12 cm kjernedyp og nedover så lang som kjernen var. Den økende individtetthet fra 12 til 6 cm kjernedyp ble av RISDAL (1963) med støtte i litteraturen tolket som et tegn på

at det for noen tid siden inntrådte en økende avsetning av organisk stoff, som førte til større oksygenforbruk med derav følgende avtakende oksygeninnhold og mørkere sediment. Foraminiferer ble funnet ved minimale oksygenmengder hvor ingen andre dyr fantes i Santa Barbara Basin (EMERY & HÜLSEMANN, 1962). Deres masseopptreden er en rimelig respons på øket nærings-tilgang kombinert med reduksjon i antall konkurrenter og fiender. Etter hvert utviklet det seg anoksiske tilstander som selv ikke foraminiferene kunne utholde (RISDAL, 1963).

I en kjerne fra 88 m dyp ved Ulsvik, meget nær vår st. 34, 1962 og 1966 (fig. 1, 2 og 11), fant RISDAL (1963) nøyaktig den samme utvikling, bare mer konsentrert og ennå ikke avsluttet, idet den øverste cm av sedimentet, selv om artstallet der var sterkt redusert, fremdeles inneholdt et betydelig antall individer, av hvilke de fleste (ca. 77%) syntes å ha vært levende ved innsamlingen. Et særdeles markant individmaksimum ble funnet i 2 cm kjernedyp, og økingen fant sted fra 6 til 2 cm, mens den ved Svartskog ble funnet fra 12 til 6 cm (RISDAL, 1963).

I en kjerne fra 60 m dyp i ytre Lysakerfjord fant RISDAL (1963) det maksimale individtall og noe redusert artstall, i den øverste cm. RISDAL (1963) fant også i den øverste del av kjernen en påfallende tiltakende hyppighet av en type arter (agglutinerende) som annetsteds har vært funnet karakteristisk for kloakkforurenset område.

På stasjonene videre utover i Vestfjorden (Flaskebekk, Steilene, Båtbuktodden) ble det også funnet en markant økning i individtettheten i kjernens øvre del, men på langt nær så høye tall som i Lysakerfjorden (RISDAL, 1963), og i motsetning til hva som var tilfelle for Lysakerfjordens vedkommende, ikke noen reduksjon i artstallet som tegn på at en kulminasjon var nær forestående.

I det hele representerer RISDAL's (1963) foraminiferstudier en fortreffelig bekreftelse på den utvikling som på grunnlag av våre sediment- og makrofaunaundersøkelser er skissert i kapittel IV.

5. Forekomsten av ekskrementer (pellets) i stor mengde et stykke nede i sedimentet også på lokaliteter hvor toppsedimentet er fullstendig svart og råttent, er nok et vitnesbyrd om at de anoksiske tilstander er av relativt ny dato. Eksempelvis kan siteres fra den mikroskopiske undersøkelse av kjerne nr. 18 (fig. 12). 0 - 5 cm: geléaktig konsistens. 0 - 2 cm: ikke synlige pellets. 2 - 11 cm: pellets, lysere nedover. 5 - 8 cm: maksimal forekomst av pellets. 11 cm - : pellets ikke lenger gjenkjennelige (destruert).

6. Det faktum at vi under det svarte sediment overalt finner lys leire i relativt liten avstand fra sedimentoverflaten, er sannsynligvis i seg selv et bevis på at oksygenmangelen langs bunnen er av relativt ny dato, selv i de områder som idag domineres fullstendig av hydrogensulfid. Vi mangler i alle fall en rimelig alternativ forklaring på dette fenomen.

Den svarte fargen skyldes jernsulfid ( $\text{FeS}$ ) som er den forbindelse i hvilken jernet bindes ved påvirkning av hydrogensulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) i alkalisk miljø, betinget av tilstedeværelsen av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) som uoksydert spaltningsprodukt av organiske stoffer. Var der ikke  $\text{H}_2\text{S}$  og  $\text{NH}_3$  da det lyse sediment ble avsatt, da var der heller ikke anoksiske tilstander. Det kunne imidlertid tenkes at vel var der anoksiske tilstander også i forgangen tid, men dannelsen av svart sediment kan ha uteblitt på grunn av mangel på jern som kunne ha gått i oppløsning og blitt ført bort under en langvarig  $\text{CO}_2$ -fase. En enkel prøve viste imidlertid at leiren under det svarte sediment inneholdt jern i store mengder.

En annen mulighet er at svart jernsulfid dannet i forgangen tid kan ha blitt omdannet etter sedimenteringen. Det måtte da enten ha gått i oppløsning, hvilket forutsetter at vi i mellomtiden måtte ha hatt en periode med vesentlig gunstigere oksygenbalanse enn vi har i samme område idag, altså en overgang fra anoksiske til oksiske og så igjen til anoksiske tilstander. En sådan utvikling er imidlertid meget vanskeligere å anta har funnet sted i løpet av de siste hundre år enn en simpel overgang fra naturlige oksiske tilstander til anoksiske tilstander forårsaket ved menneskenes virksomhet (kloakk etc.).

En siste mulighet er at jernsulfid kan ha blitt avsatt i forgangen tid, men senere ha blitt omdannet til pyritt ( $\text{FeS}_2$ ). Så lenge det ikke er kjent hvordan pyrittdannelsen egentlig foregår (KAPLAN & RITTENBERG, 1963), kan denne mulighet ikke utelukkes, men sannsynlig er den ikke av følgende grunner: For det første synes pyrittdannelsen å foregå i svakt oksyderende miljø (KAPLAN & RITTENBERG, 1963). For det andre har vi i leiren under det svarte sediment ikke lagt merke til noe som har sett ut som pyritt. Dette burde selvfølgelig undersøkes nærmere. Men selv om det ble funnet rikelig med pyritt i leiren under det svarte sediment, ville dette ikke være noe bevis for at pyrittdannelsen er foregått der nede i sterkt reduserende miljø. Den kan ha foregått nærmere sedimentoverflaten i en tid da red-oks-potensialet der var høyere enn det er nå. Dersom pyritt, som alminnelig antatt, dannes av jernsulfid eller hydrotroilitt ( $\text{FeS} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) og svakt oksyderende miljø (KAPLAN & RITTENBERG, 1963), vil det være i områder og perioder der tilstanden svinger mellom oksisk og anoksisk at man skulle vente å finne denne prosessen.

I beskrivelsen fra den mikroskopiske undersøkelse av kjernene fra 1966 er det for nr. 65 (kfr. fig. 3 og 20) bl.a. notert: "2 - 5 cm: Kobber-skinne flak (pyritt?, kråkesølv e.l.)".

Dersom forekomsten av svart sediment over det lyse i Oslofjorden ansees som resultatet av en i den senere tid sterkt økende forurensningspåvirkning, trengs sannsynligvis en annen forklaring på LINKE's (1939) observasjon fra Watt at sedimentets mørke farge vanligvis gradvis avtok i større sedimentdyp. Lyst sediment skarpt avgrenset fra et ovenforliggende svart lag av 5 - 30 cm tykkelse, slik som i Oslofjorden, ble bare unntaksvis funnet i Watt, men LINKE (1939) sier dessverre ikke noe om hvorvidt dette var i nærheten av forurensningskilder. I meget stort kjernedyp fra mud flats ved Woods Hole fant også KANWISHER (1962) en gradvis overgang fra svart til grått eller blågrått sediment. Dette fenomen kan lett forklares som resultat av en regresjon (tilbakerykning av havet) forårsaket av landhevning og/eller sedimentopphopning, som begge deler vil gi stort utslag i de særdeles langgrunne områdene det her gjelder. At en sådan regresjon vil

virke i retning av dannelsen av mørkere sediment, fremgår av LINKE's (1939) observasjoner av at oksydasjonssjiktet alltid var tynnere i de kuppelformete bunnområder enn i fordypningene i mellom dem, og av at tørrleggingen av bunnen ved lavvann medførte en rask oksygentøring, slik at reduksjonslaget ved sluttan av tørrleggingsperioden var mer omfattende enn i neddykkingsperioden og ved begynnelsen av tørrleggingen.

Sammenliknet med forandringene i tilførslene av forurensninger til indre Oslofjord må regresjonen antas å være en langt mindre plutselig foreteelse, hvilket stemmer med at overgangen til lysere sediment i Watt er gradvis.

I Milford Sound (New Zealand), som er omgitt av fullstendig ubebodde områder og hvor forurensningen er naturlig og derfor må antas å ha forekommet i lange tider - den består av jord og planter ført nedover de bratte fjellsider ved voldsomme regnskyll (HURLEY, 1964) - ble det funnet like mørkt sediment 140 cm nede i kjernen, sannsynligvis avsatt omkring 1830, som i den øverste del av kjernen (kfr. PANTIN, 1964).

Det fremgår av de foranstående avsnittene B 1-6 at de anoksiske tilstander ved bunnen i visse deler av Oslofjorden må anses å være av relativt ny dato. Det gjenstår å si noe om hvorfor og når denne forandring har funnet sted. Det ble fremhevet i kapitel IV at vi ikke står overfor noe plutselig omslag, men en trinnsvis utvikling som har gått i bølgegang, og at den samme utvikling er kommet ulike langt i forskjellige dyp og i forskjellige partier av fjorden.

For Bunnefjordens vedkommende i 150 m dyp ved Svartskog mente RISDAL (1963) på grunnlag av sammenlikning med STRØM's (1936) undersøkelser i Drammensfjorden, at den markante foraminifer oppblomstringen som viste seg i ca. 6 cm kjernedyp, muligens kunne ha en viss sammenheng med innføringen av moderne vannklosetter i Oslo kommune i 1920- og 1930-årene, mens den påfølgende uttynning av foraminiferfaunaen i den øvre delen av kjernen muligens kunne sees i forbindelse med de oksygenfattige perioder i 1940- og 1950-årene.

At RISDAL (1963) kunne komme til muligheten av så sene tidspunkter for disse forandringer, skyldtes at han regnet med at sedimentasjonshastigheten kunne være større i Bunnefjorden enn i Drammensfjorden. Vannet i Drammensfjorden er imidlertid preget av overordentlig høy turbiditet, og selv med de relativt grove planktonnett som ble benyttet (maskevidde ca. 0,15 mm) utgjorde abiotiske partikler mer enn 90% av volumet i en del av "plankton"-prøvene (BEYER, 1954 b), og mengden av abiotiske partikler i planktonprøvene avtok påtakelig fra området nær Drammen til området innenfor Svelvik (BEYER, 1954 b), hvilket tyder på rask sedimentasjon. (RISDAL (1963) regnet riktignok med for liten sedimentasjonshastighet for Drammensfjordens vedkommende, idet han ikke tok hensyn til sammenpakkingen av sedimentet.)

Det er ovenikjøpet kjent at det dypeste parti av Bunnefjorden var uten reker allerede i 1912 (BÆKVOLD, personlig medd.). I 1914 fant PETERSEN (1915) i 150 m dyp ved Rudstrand en meget sparsom og monoton fauna av polychaeter. Sedimentet ble beskrevet som "Mørkt Ler med brunt Overlag" (PETERSEN, 1915).

Ved drag fra 110 til 164 m i Bunnefjorden i 1897 fikk man i trålen brun leire med en variert, om enn sparsom fauna (HJORT, Ch. IV i HJORT & DAHL, 1900). Denne faunaen kan selvfølgelig ha skrevet seg fra den grunneste delen av draget. Men det er sannsynlig at dersom sedimentet i det dypeste parti hadde vært svart og stinkende som det er idag, ville dette ha blitt merket på trålen og fangsten. Det er også verdt å merke seg at HJORT (Ch. IV i HJORT & DAHL, 1900) fant den store dypvannskrabben Geryon tridens Krøyer i 146 m dyp (80 favner) i Bunnefjorden.

De verdensberømte marinzoologer MICHAEL og GEORG OSSIAN SARS interesserte seg sterkt for dypvannsfaunaen i indre Oslofjord. Det er nesten utenkelig at disse forskere ikke ville ha blitt oppmerksom på, og i sine oversiktsarbeider (M.SARS, 1866; 1868; G.O.SARS, 1868; 1869) omtalt tilstedeværelsen av mer eller mindre azoiske områder i Bunnefjorden, hvis sådanne hadde forekommet for hundre år siden.



Alt i alt må man kunne si at de anoksiske tilstander i Bunnefjorden - muligens også i Bekkelagsbassenget og havnebassenget, hvor det svarte sedimentlag riktignok er betydelig tykkere, men hvor sedimenteringshastigheten også må antas å være vesentlig større - har utviklet seg i løpet av mindre enn hundre år, og at den mest kritiske overgang for det dypeste parti av Bunnefjordens vedkommende sannsynligvis fant sted i begynnelsen av det tyvende århundre, og at Lysakerfjorden idag sannsynligvis er i en liknende forfatning til den som Bunnefjorden befant seg i i slutten av forrige århundre. Gjør man den rimelige antakelse at sedimenteringshastigheten har vært større i Bærumsbassenget enn i Bunnefjorden, må man av sedimentkjernene fra de lokaliteter som ble undersøkt i 1962, 1964 og 1965 slutte at omslaget til anoksiske forhold der fant sted noe senere enn i Bunnefjorden.

De 6 cm av svart sediment som ble funnet i Bunnefjorden ved Fjeldstad både av RISDAL (1963) og av oss, skulle ifølge foranstående vurderinger av de tilgjengelige opplysninger være avsatt i løpet av ca. 60 år, svarende til 1 mm pr. år i gjennomsnitt. I Drammensfjorden fant STRØM (1936) at de øverste 13 cm av sedimentet fra 113 m dyp i 1933 var løsere og meget mørkere enn det nedenforliggende sediment, og han kunne på grunnlag av årvisse massetilførsler av leire med elveflommen slutte at dette øverste mørke sediment representerte de siste 50 års avsetninger, med andre ord at det hadde funnet sted et omslag i 1880-årene, og at sedimenteringen siden den tid svarte til gjennomsnittlig 2,6 mm pr. år. STRØM (1936) tolket dette som effekten av de stadig økende tilførsler av kloakk og industrielt avfall. Forholdet 1:2,6 mellom sedimenteringshastigheten i Bunnefjorden og Drammensfjorden synes slett ikke urimelig.

Denne fremadskridende utvikling viser at oksygenbalansen i fjorden har forandret seg og fremdeles forandrer seg, og det må ha sin forklaring i enten at oksygentilførselen er blitt og blir mindre, eller/ og at oksygenforbruket er blitt og blir større.

Oksygen kan tilføres mekanisk eller produseres biokjemisk på stedet. Som påpekt av STRØM (1936) kan den postglaciale landheving føre til at en fjords dypvannsutveksling og derved

oksygentilførsel gradvis blir redusert og til slutt kanskje umuliggjort av terskler. Det er imidlertid vanskelig å skjønne at RISDAL (1963) kan sette landhevningen i forbindelse med den forandring i Oslofjorden som han selv mener har funnet sted i løpet av de siste femti år, og som så å si foregår for våre øyne. Ifølge STRØM (1936) viser funn av gravhauger fra bronsealderen nær vannkanten på Mølen at landhevingen i dette område i den senere tid ikke kan ha hatt noe særlig omfang. Ved vannstandsmålinger i Oslo har NORGES GEOGRAFISKE OPPMÅLING (1951) dog funnet heving av landet på  $4 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$  pr. år fra 1892 til 1950.

Det er ikke så lett å tenke seg at en heving av Drøbakerskelen på 25 - 55 cm fra 1860-årene til idag kan være ansvarlig for de radikale forandringer i indre fjords sediment og bunnfauna som er observert. Det må dog tilføyes at RISDAL (1963) la størst vekt på de økete kloakkmengder som årsak til foraminiferfaunaens oppblomstring og undergang.

Refererende til STRØM (1936) pekte RISDAL (1963) også på det faktum at det har vært funnet stagnerende forhold også i fjorder uten nærliggende tettbebyggelse. I den forbindelse bør nevnes at av de 24 fjorder som av STRØM (1936) ble funnet å ha svart bunnsediment i det dypeste parti (bare 16 ble funnet å ha  $\text{H}_2\text{S}$  i vannet ved undersøkelsen), hadde 17 terskel med sadeldyp på mindre enn 10 m, i de fleste tilfelle betydelig mindre, og de fleste hadde også flere terskler med bassenger i mellom, hvilket i vesentlig grad forsinker dypvannsutskiftningen. Av de 7 øvrige fjorder hadde de 6 to terskler på noen og tyve meter eller mindre, såvel som større eller mindre tilførsler fra sagbruk eller treforedlingsindustri. Den syvende fjorden, Nordfjord ved Risør, er riktignok bare skilt fra havet ved én terskel, men foruten at denne fjorden mottar betydelige forurensninger, særlig fra treforedlingsindustri, har den utløp både i SSV (22 m), OSO (14 m) og ONO (15 m), slik at overflatevann lett kan slippe igjennom uten å forårsake noen kompensasjonsstrøm eller upwelling (kfr. STRØM, 1936).

Når tverrsnittarealet av vannet over en terskel er så lite at vannstandsforandringene på innsiden er mindre enn utenfor, er det åpenbart at denne terskel også reduserer mulighetene for dypvannsutskifting, og at disse er mindre jo grunnere terskelen er. Det forholder seg imidlertid ikke slik, som man lett skulle tro, at dypvannsutskiftingen er mer effektiv jo større sadeldypet er. I Milford Sound er sadeldypet for den grunneste av de to terskler hele 70 m, hvilket utgjør 25% av fjordens største dyp innenfor terskelen, og det er ingen øyer eller særlige innsnevninger som begrenser innløpet (BRODIE, 1964; GARNER, 1964).

Videre er tidevannsamplityden i Milford Sound så meget som vel 2,5 m (GARNER, 1964), og kolossale regnskyll (mer enn 250 mm på én dag (HURLEY, 1964), mer enn 6300 mm nedbør pr. år (KAPLAN & RAFTER, 1964)) forårsaker leilighetsvis en betydelig transport av overflatevann ut fra fjorden. Dessuten er sterke vinder meget vanlig i området (PANTIN, 1964). Like fullt har det vært påvist delvis stagnerende dypvann (GARNER, 1964; HURLEY, 1964) og svart, sulfidholdig bunnsediment (PANTIN, 1964; KAPLAN & RAFTER, 1964) i Milford Sound. Dette har sin forklaring i at kompensasjonsinnstrømmingen av havvann fant sted i høyere, til dels betydelig høyere, nivå enn sadeldypet (GARNER, 1964). Dertil kommer at tidevannstransporten enten bare fant sted i det øvre vannlag, eller i tilfelle den var fordelt på hele den betydelige vannsøyle (70 m) like ned til sadeldyp, bare ville gi meget små hastigheter, ca. 5 cm/sek. i middel (GARNER, 1964). I Drøbaksundet derimot finner tidevannstransporten sted like ned til sadelen, dersom den ikke motarbeides av interne bølger (BEYER et al., 1967). Videre vil nivået for innstrømmingen som kompensasjon for overflateutstrømmingen heller ikke kunne være så langt over sadeldypet. Kombinert med den leilighetsvis meget betydelige upwelling av sterkt saltholdig vann like utenfor Drøbakerskelen (kfr. GRAN & GAARDER, 1918) gir dette meget gode muligheter for årvisse dypvannsutskiftninger, og dette forklarer det faktum at selv Bunnefjorden holdt seg frisk og produktiv like til for et par mannsaldrer siden. Uheldig for Oslofjordens vedkommende er forekomsten av flere terskler innenfor hverandre, blokkeringen av vestre del av Drøbaksundet, som

begrenser kompensasjonsstrømmens transportkapasitet, samt det forhold at fjordens akse ved Oslo er bøyet 180° slik at en betydelig del av overflatevannet ved fralandsvind ikke slipper ut.

At Oslofjorden representerer et vannsystem som er lukket i den ene enden, er ikke noen betingelse for at dypvannet skulle råtne, tvert imot! Nettopp fordi fjorden er lukket i den ene enden har transporten i overflatelaget lett for å trekke med seg utskifting av det nedenforliggende vann. I vannsystemer som er åpne i begge ender, kan overflatetransport derimot foregå i samme retning uavlatelig uten å behøve å forårsake noen upwelling eller kompensasjonsstrøm. Dypvannet kan bli stående så godt som uberørt av denne transport eller ved friksjon settes i langsom intern sirkulasjon som et tannhjulsystem (kfr. GAARDER, 1916; STRØM 1936; BEYER, 1954 a). Lysefjorden innenfor Lysøen syd for Bergen er eksempel på en fjord som er åpen i begge ender, og hvor våre målinger har vist oksygensvikt skjønt forurensningen er meget beskjeden. Som eksempler på stagnerende dypvann i enda langt mindre avstengte bassenger kan nevnes forskjellige groper i Øresundområdet (SJØSTEDT, 1936) og Cariaco Trench i Det karibiske hav (RICHARDS & VACCARO, 1956).

I Santa Barbara Basin, hvis største dyp er 600 m, er toppsedimentet sulfidholdig fra 560 m dyp og nedover, enda bassenget er åpent både i øst og vest med sadeldyp på henholdvis 300 m og 475 m (EMERY & HÜLSEMANN, 1962).

Siden vi ikke har noen holdepunkter for at den mekaniske tilførsel av oksygen ved vannfornyelse til indre Oslofjord skulle være blitt mindre i vårt århundre enn i forrige, må vi rette oppmerksomheten mot den biokjemiske produksjon og forbruket av oksygen.

Ved den masseoppblomstring av mikroskopiske alger der som følge av gjødslingen av fjorden med kloakkvann opptrer i indre Oslofjord i den lyse årstid (BRAARUD, 1945 a; BRAARUD & NYGAARD, 1966), produseres en mengde oksygen som vi må regne med er større enn den som ble produsert i forgangen tid i samme områder, dyp og årstid. Denne oksygenmengden får fjorden

av følgende grunner imidlertid liten nytte av.

For det første foregår denne produksjonen i det aller øverste vannlag, hvor vannet på grunn av kontakt med luften og bølgevirkksomhet, allikevel ville ha vært noenlunde mettet med oksygen. Produksjonen fører til overmetning med oksygen (kfr. tabellene i BRAARUD & RUUD, 1937; tabellene for Oslofjordprosjektet 1962-65), hvilket resulterer i at overskytende oksygen på grunn av dette vannlags nære kontakt med overflaten og atmosfærisk trykk vil avgis til atmosfæren og derved ikke komme fjorden til gode.

For det andre vil oksygenet på grunn av den utpregete stabilitet som preger de øvre vannlag på den årstid da masseoppblomstringene finner sted, bare i ytterst liten grad transporteres mot dypet.

De tette bestander av phytoplankton i indre Oslofjord, så vel som forurensninger direkte, vil absorbere så meget lys at det dypet ned til hvilket fotosyntese (og dermed oksygenproduksjon) finner sted, er vesentlig mindre i indre fjord enn i ytre fjord (BRAARUD, 1945 b). Vi må regne med at denne forurensningseffekt, særlig på grunn av økningen av oppløste forurensningsstoffer (plantenæringsstoffer), er betydelig større idag enn den var i forrige århundre, og vi må derfor også regne med muligheten for at dette fenomen kan være en medvirkende årsak til at dypvannet i fjorden idag har lettere for å råtne.

Den drastiske økning i kloakkforurensningen av indre Oslofjord fra første til annen verdenskrig ble tallmessig illustrert av BRAARUD (1945 b), som også påpekte at denne forurensning både direkte og indirekte via phytoplankton medfører øket oksygenforbruk. At masseproduksjon av phytoplankton kan være fatalt for bunnvannets oksygenbalanse, fremgår av det faktum at det finnes åpne kystfarvann hvor dypvannet slett ikke er stagnerende bakom terskler, og hvor forurensningen fra land er ubetydelig, og dog med oksygenmangel ved bunnen på grunn av overveldende planktonsedimentasjon (Walvis Bay, ifølge HART & CURRIE, 1960; Gulf of California og Gulf of Tehuantepec, ifølge PARKER, 1963). I disse farvannene tilføres store mengder av plantenæringsstoffer fra dypet ved upwelling forårsaket av fralandsvind, som også gir meget klarvær og dermed stor lys-

energi, i særdeleshet siden det er relativt lave breddegrader det her dreier seg om. Den dominerende betydning av oksygenforbruket fremgår av det paradoks at oksygeninnholdet ved bunnen øker i perioder uten upwelling (PARKER, 1963). Det må dog poengteres at de innstrømmende vannmasser har betydelig lavere oksygeninnhold enn det vann som tilflyter Oslofjordens dyp (kfr. HART & CURRIE, 1960, SVERDRUP et al., 1942).

Siden vi ikke har noen annen sannsynlig forklaring på den forandring i Oslofjordens oksygenbalanse og de tilsvarende uheldige forandringer i sediment og fauna som har funnet sted i løpet av de siste par mannsaldre, enn kloakkforurensningen, må vi regne med at oksygensvikten vil gjøre seg stadig sterkere gjeldende i fremtiden dersom forurensningen fortsetter med å tilta. På den annen side innebærer dette klare årsaksforhold at det står i menneskelig makt å snu utviklingen i retning av penere overflatevann og strender og mer produktive dyp i indre fjord ved å gjennomføre mer effektiv og omfattende rensing av kloakken.

Som utslagsgivende årsaker til forråtnelsen av de topografisk ugunstigst stillede lokaliteter må vi regne har vært anleggelsen av kloakkledninger etter koleraepidemien i 1853 og den nesten eksplosjonsaktige utvikling av byen både industrielt og befolkningsmessig i siste halvdel av det 19. århundre. Uten grenseforandringer øket folkemengden i Kristiania fra 1885 til 1910 med hele 80%, fra 135 000 til 243 000 innbyggere (kfr. JUST, 1959). Den fortsatte befolkningsstilvekst både i Oslo og i Aker, og spesielt den omfattende installasjon av vannklosetter i mellomkrigstiden (kfr. BRAARUD, 1945 b), må da settes i forbindelse med det store omfang som oksygenmangel i den senere tid har fått.

## VIII RESYME

Nærværende rapport er bygget over ikke offentliggjorte data fra flere, for det meste av andre, men i forfatterens regi utførte undersøkelser, nemlig av sediment og bunnfauna i indre Oslofjord i 1938 og 1962/63, av bunnsediment i samme område i 1964, 1965 og 1966, av bunnfauna i Drøbak-området i 1962, samt av hydrografi, sediment og bunnfauna i Frognerkilen i 1964. Ved hver

av disse undersøkelserne var det bare et begrenset antall parametre som ble analysert, og til dels var materialet slett ikke så stort som det burde være i forhold til det område og de problemer som skulle dekkes. Da dertil kom at observasjonene i de foreliggende rapporter eller notater av forskjellige grunner til dels slett ikke, tildels bare i en etter nærværende forfatters mening utilstrekkelig grad hadde vært diskutert, ble det funnet nødvendig å diskutere disse i en videre sammenheng i nærværende rapport. Det ansees at man på bakgrunn av de sammenligninger som her er gjort med resultater fra undersøkelser andre steder, og med støtte av de supplerende opplysninger som er hentet fra litteraturen, har fått en sikrere basis for vurdering av forholdene i vår egen fjord.

Studiene av sedimentets struktur og forandringer i sedimentet som ble observert i fjorden så vel som i laboratoriet, ga en fortreffelig bekreftelse på den i den senere tids litteratur foretatte inndeling av sedimentet og vannmassene i tre under hinannen beliggende soner, nemlig  $O_2$ -sonen (oksygensonen, øverst),  $CO_2$ -sonen (karbondioksydsonen) og  $H_2S$ -sonen (hydrogensulfidsonen). De to grenseflatene mellom disse tre soner kan begge ligge nede i sedimentet eller begge befinne seg oppe i vannet, eller finnes én i vann og én i sediment. I visse deler av indre Oslofjord, særlig de dypere partier av Bunnefjordområdet, forekommer meget betydelige og forholdsvis raske vertikale forskyvninger av disse grenseflatene både oppover og nedover.

Etter sin struktur ble sedimentet inndelt i tre lag, nemlig topplag, mellomlag og dyplag. Topplaget er meget løst og vannholdig og består av sedimentert og/eller utfelt (hydroksyd, sulfid etc) materiale som ikke er blitt bearbeidet av bunndyr, se fig. 2. Ved disses aktivitet dannes mellomlaget, som enkelte steder kan nå like til topps. Dette lag består i overveiende grad av ekskrementer ("faecal pellets"). Overgangen til dyplaget, som over alt ble funnet å være leire, er som regel ganske gradvis, se fig. 14.

Bunnfaunaen har vist seg å være en vesentlig faktor til å forhindre at bunnen råtner, både ved sin sønderdeling og til dels forbrenning av organisk materiale, og ved at den ved sine bevegelser og pellet-dannelse i overordentlig sterk grad beforderer

oksygentilførselen i sedimentet. Når forholdene blir slik at makroskopiske dyr ikke lenger kan leve der, er dette en meget kritisk fase for vedkommende område.

Under anoksiske (uten oksygen) og azoiske (uten dyr) forhold dannes et meget løst og sterkt vannholdig sediment som inneholder store mengder av organisk stoff og har særdeles mørk farge som skyldes utfelt jernsulfid. I det undersøkte område har vi funnet alle overganger fra det friskeste (se fig. 21, nr. 55) til det mest gjennområtne sediment, se fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 og 12. I nærheten av kloakkrenseanlegget på Bekkelaget fant vi en livlig utvikling av forråtnelsesgasser i sedimentet, se fig. 24.

Hvorvidt bunnen på en lokalitet vil råtne eller ei, avhenger av balanseforholdet mellom oksygenforbruket på den ene siden, representert i det vesentlige ved avsetningen av organisk stoff, og oksygentilførselen på den annen side, representert ved vannmassenes sirkulasjon og forflytninger og eventuelt, på grunt vann, ved fotosyntese. I undersøkelsesperioden 1962-66 forekom høyst utpregete fluktuasjoner i dypvannstilførselen, hvilket medførte radikale forrykninger i oksygenbalansen over store områder. Mellom vann, sediment og fauna er det en utpreget gjensidig påvirkning.

Sedimentets topplag gjenspeiler balanseforholdet i øyeblikket. Av de nedenforliggende lag kan vi danne oss et forenklet bilde av oksygenbalansen i tidligere tider. Fig. 18, 19 og 20 viser utbredelsen av bunn med råttent toppsediment i 1938, 1962 og 1965/66. Noen av lokalitetene var råtne hver gang vi besøkte dem. I sedimentkjernene fra disse lokalitetene kunne vi aldri observere noen forandringer. Utenom disse områder fant vi i 1962 det påfallende trekk ved mange prøver at den øverste cm eller så var desidert mørkere enn det nedenforliggende sedimentet bevis på at oksygenbalansen da var dårligere enn den hadde vært i de nærmest foregående år, se fig. 1 (nr. 35) og fig. 21 (nr. 53). Det finnes tilstrekkelige holdepunkter for den oppfatning at oksygenbalansen aldri tidligere har vært så dårlig i indre Oslofjord med unntakelse av 1950, da vi hadde en liknende



situasjon, muligens enda noe verre. I 1963 ble forholdet snudd helt om. Da fikk vi lysere sediment over det mørke, og denne fordeling holdt seg tildels like til 1966, se fig. 2, 9, 10 og 14. Opplysninger fra forskjellige fiskere går ut på at vannet i indre Oslofjord i årene etter 1962 har vært usedvanlig bra, bedre enn i "manns minne". Etter all sannsynlighet representerer fig. 19 og fig. 20 noe i nærheten av ytterpunktene av den variasjon i fordelingsmønsteret for råtten bunn som vi har hatt etter siste verdenskrig.

Selv på de mest utpreget anoksiske av våre stasjoner kom vi, med vårt lille rørlodd, ned til lys leire, som må antas å være avsatt under gunstige oksydasjonsforhold. En bekreftelse på dette er påvisningen, ved andre undersøkelser, av tallrike foraminiferer under, men ikke i det svarte lag. Spørsmålet om når overgangen fra oksiske til anoksiske forhold fant sted, er ikke så enkelt å besvare, fordi, som nærværende undersøkelser har vist, denne overgang som regel hverken er plutselig eller kontinuerlig. Under seg stadig forverrende oksydasjonsbetingelser (økende belastning) vil en lokalitet fra bestandig å være frisk kunne gå over til leilighetsvis (under langvarige hydrografiske stagnasjonsperioder) å være råtten, videre til som regel å være råtten, men frisk en viss tid etter radikale vannutskiftninger, til endelig å ha akkumulert så stor oksygen gjeld at selv ikke disse er tilstrekkelig til å gjenopprette balansen. For det aller dypeste parti i Bunnefjorden kan man dog med sikkerhet si at overgangen fra å være typisk frisk til typisk råtten fant sted for absolutt maksimalt hundre år siden. Men man behøver ikke å gå langt nordover fra denne lokalitet for å finne områder med langt senere tidspunkt for overgang.

Et meget bemerkelsesverdig lyspunkt som nærværende undersøkelser har bragt for dagen, er at en lokalitet, Springerens og skipsleden innenfor denne, som allerede ved undersøkelsene i 1938 viste seg å være råtten og azoisk, noen måneder etter overføringen av kloakk fra Loelven til Bekkelaget fikk et oksydert toppsjikt og senere, etter ytterligere overføring av kloakk samme vei, fikk en meget tett bestand av polychaeter (mak) som effektivt bearbeidet sedimentet, se fig. 23. Sannsynligvis er dog de senere års usedvanlig gode vannutskiftninger også sterkt

delaktige i denne utvikling. Den samme kloakkoverføringen førte muligens samtidig til en forverring av tilstandene i Bekkelagsbassenget. Pågående undersøkelser ventes å kaste lys over denne utviklingen.

Bunnfaunaen viste en meget klar negativ korrelasjon til konsentrasjonen av organisk stoff i sedimentet. I grenseområdene mot råttent sediment i dypet var det av makroskopiske dyr utelukkende polychaeter som forekom. Mikrofaunaen ble ikke undersøkt. En meget beklagelig svakhet ved nærværende såvel som ved andre bunnfaunaundersøkelser, med unntakelse av noen fra særdeles grunne lokaliteter, er mangelen på kjennskap til kontaktvannets og det interstitielle vanns oksygeninnhold. Akvarieforsøk støttet den oppfatning at det vanligvis er oksygenmangel som begrenser dyrenes utbredelse i den forurensete fjord.

I Frognerkilen ble der funnet meget spesielle forhold. De oppløste forurensninger, representert ved kolossale konsentrasjoner av ortofosfat, holdt seg til et tynt overflatesjikt og viste en gradvis fortynning utover i kilen som svarte nøye til blandingen med saltvann, se fig. 28. For bunnen og faunaen var det åpenbart at forurensningen med partikler fra kloakkene lokalt spilte en overveldende rolle. På konvekse bunnpartier ble der funnet et variert dyreliv selv langt inne i kilen; men i den umiddelbare nærhet av kloakkutløpene manglet dyreliv fullstendig. De arter som ble funnet i stort antall på de sterkeste forurensete lokaliteter var slike (Capitella capitata, Polydora ciliata) som fra andre områder også er kjent som utpregete forurensningsindikatorer.

Grensen mellom azoisk og zoisk bunn ble i Frognerkilen funnet å svare til grensen mellom oksisk og anoksisk toppsediment. I kloakkforurensete områder i andre land har man funnet betydelige bestander av visse arter i svart, stinkende mudder. Uoverensstemmelsen er forklart ved den topografiske beskyttelse såvel som den hydrografiske stratifisering som preger Frognerkilen, samt ved det relativt ringe tidevannsvolum. Kombinert gjør disse faktorer vårt område mer følsomt for forurensningspåvirkning.

Ved bunnfaunaundersøkelsene i Drøbak-området i 1962 ble det funnet flere tydelige forskjeller fra det som ble funnet med samme metodikk i 1933/34. Antallet arter viste en drastisk nedgang, særlig på innsiden av Drøbak-terskelen. På utsiden av terskelen viste individtettheten en markant stigning, og begge steder ble det funnet at polychaetene i 1962 i langt sterkere grad enn tidligere og i vesentlig sterkere grad enn det er funnet i Gullmarfjorden (i 1923-26), dominerte i prøvene. Forurensningsindikatoren fremfor noen, polychaeten Capitella capitata, viste en meget sterk bestandsøkning utenfor Drøbak-terskelen; innenfor var den allerede fra før tallrik. Både utenfor og innenfor terskelen ble faunaen i 1962 i meget sterk grad dominert av en slektning av Polydora (polychaet). Kombinert levner disse indikasjoner ingen tvil om at der i 1962 gjorde seg gjeldende en større forurensningseffekt enn der var i 1933/34. Det er viktig å legge merke til at denne effekten også gjør seg gjeldende utenfor Drøbak-terskelen.

Det finnes åpne havområder hvis bunn fra naturens side er dømt til å være råttet. Med sitt for dypvannsutskiftning gunstig beliggende sadeldyp er dette slett ikke tilfelle for Oslofjordens vedkommende. Sedimentundersøkelsene viser at råttens- skapen i Oslofjorden er av relativt ny dato, og at fjorden reagerer raskt og positivt på en reduksjon av belastningen.

Som objekt for fortsatte undersøkelser utpeker seg:

- (1) Lokale effekter av forbedret kloakkbehandling og kloakk- forflytting.
- (2) Bunnfaunaen i Drøbakområdet og utover med tanke på even- tuelle fremtidige forandringer.
- (3) Identifikasjon av ekskrementene (pellets) i sedimentet med hensyn på de opphavelige arter til forskjellig tid og sted.
- (4) Kontaktvannets og det interstitielle vannets  $O_2$ ,  $H_2S$ , pH og Eh.

## IX FIGURFORKLARINGER

Alle sedimentkjerner samt akvariebunnen er fotografert med Asahi Pentax S 3 på Agepan film fremkalt i Neofin blau. Sammen med sedimentet er alltid fotografert en og samme gråskala, Agfa Graukeil, slik at man ved å sammenlikne sedimentet med denne i hvert tilfelle kan få et mål for de absolutte grader av mørkhet i sedimentet så vel som for den grad i hvilken kontrasten eventuelt er overdrevet ved kopieringen. Målestokken fremgår av linjalen. Hvor denne ikke vises, kan man se speilbilde av mm-skalaen på siden av glassrøret.

- Fig. 1. Kjerne nr. 34, Ulsvik, 17-10-1962, 90 m dyp.  
Kjerne nr. 35, mellom Nesodden og Langø, 17-10-1962, 74 m dyp.
- Fig. 2. Kjerne nr. 34, Ulsvik, 14-1-1966, 91 m; detalj.
- Fig. 3. Kjerne nr. 65, Midtmédet, 14-1-1966, 95,5 m.
- Fig. 4. Kjerne nr. 29, Ljanflu, 14-1-1966, 54 m.
- Fig. 5. Kjerne nr. 8, Ulsvik, 14-1-1966, 95 m.
- Fig. 6. Kjerne nr. 26, Stangskjær, 14-1-1966, 26 m.
- Fig. 7. Kjerne nr. 9, Ulsvik, 14-1-1966, 73 m.
- Fig. 8. Kjerne nr. 19, Nordstrand, 14-1-1966, 41 m
- Fig. 9. Kjerne nr. 35, mellom Nesodden og Langø, 14-1-1966, 74 m.
- Fig.10. Kjerne nr. 53, Kjerringrøva, 14-1-1966, 84 m.
- Fig.11. Kjerne nr. 34, Ulsvik, 14-1-1966, 91 m.
- Fig.12. Kjerne nr. 18, ved Ljanflu, 14-1-1966, 116 m.

- Fig.13. Akvariebunnen med V-formete polychaetrør fotografert nesten rett fra siden 4-1-1966.
- Fig.14. Kjerne nr. 8, Ulsvik, 14-1-1966, 95 m; detalj.
- Fig.15. Samme kjerne som i fig. 5 og fig. 14, fotografert fra samme vinkel 2-7-1966.
- Fig.16. Samme kjerne som i fig. 7, fotografert fra samme vinkel 2-7-1966.
- Fig.17. Samme kjerne som i fig. 9, fotografert fra samme vinkel 2-7-1966.
- Fig.18. Utbredelsen av råttten bunn (skravert) og grupper av bunndyr i 1938. Sirkler betegner stasjoner med sedimentkjerner av 15 cm's diameter; tallene angir stasjonsnummer og dyp. ○ = friskt, ⊙ = råttent toppsjikt, ⊕, ⊗ = polychaeter, ⊖ = bløtdyr, ⊘ = krepsdyr, ⊚ = pigghuder i prøven, ⊛ = fauna ikke undersøkt.
- Fig.19. Utbredelsen av råttten bunn i 1962, venstreskravert ifølge prøver tatt i oktober og november, høyreskravert sannsynlig utbredelse i januar samme år. Sirkler betegner stasjoner med sedimentkjerner av 18 mm's diameter; tallene angir stasjonsnummer og dyp. o = friskt, ● = råttent toppsjikt, □ og ■ = friske og råtne prøver med Petersens 0,1 m<sup>2</sup> grabbe. ⊞, ⊟ = polychaeter, ⊞ = bløtdyr, ⊟ = krepsdyr, ⊠ = pigghuder i prøven,
- Fig.20. Utbredelsen av råttten bunn (skravert) i august 1965. Sirkler betegner stasjoner med sedimentkjerner av 18 mm's diameter; tallene angir stasjonsnummer og dyp. Sirklene uten stasjonsnummer, men med prikker under dybdeangivelsen betegner stasjoner tatt i januar 1966, numrene for disse stasjoner er de samme som angitt på samme steder på fig. 19. o = friskt, ● = råttent toppsediment. ⊕, ⊗ = polychaeter i prøven.

- Fig.21. Kjerne nr. 53, Kjerringrøva, 14-11-1962, 84 m.  
Kjerne nr. 55, Steilene 15-11-1962, 30 m.
- Fig.22. Kjerne nr. 7, mellom Skjærholmen og Husbergø,  
12-10-1962, 62 m.  
Kjerne nr. 8, Ulsvik, 12-10-1962, 92 m.
- Fig.23. Kjerne nr. 18, Springerren, 25-8-1965, 34 m.
- Fig.24. Kjerne nr. 14, Bekkelaget, 25-8-1965, 26 m.
- Fig.25. Kjerne nr. 25, Lysakerfjorden, 26-8-1965, 44 m.
- Fig.26. Batymetrisk kart over Frognerkilen; utsnitt av  
Sjøkart nr. 452, 1946, Oslo havn.
- Fig.27. Stasjoner i Frognerkilen 19. - 26. november, 1964.  
fra GIESKES (1965).
- Fig.28. Oppløst  $PO_4$ -P,  $\delta/1$ , og S  $^{\circ}/\infty$  i samme prøver fra  
overflatevannet (0 m) i Frognerkilen, 26. novem-  
ber 1964.
- Fig.29. Drøbaksund med angivelse av grabbestasjoner i  
juni-juli, 1933/34 (BROCH, 1936) og juli, 1962  
(STÅLESEN, 1964).
- Fig.30-33.
- I hvert søylepar er angitt antall arter til  
venstre og det gjennomsnittlige antall individer  
pr.  $0,1 m^2$  til høyre. a = Annelida, b = Amphipoda  
+ Tanaidacea, c = Lamellibranchiata, d = Cumacea  
+ Decapoda, e = Coelenterata, f = Vermes eksklusive  
Annelida, g = Echinodermata, h = Scaphopoda. (a),  
(b), (c), (b), (c), (d) er grupper som er sterkest represen-  
tert på innsiden av Drøbacterskelen. (h), (g),  
(f) er grupper som er sterkest representert på ut-  
siden av Drøbacterskelen.

- Fig.30. Fordelingen av faunakomponentene på grupper for stasjonene utenfor Drøbacterskelen (Elle) i 1933/34. Data fra BROCH (1936).
- Fig.31. Fordelingen av faunakomponentene på grupper for stasjonene innenfor Drøbacterskelen (Gråøy + Digerud) i 1933/34. Data fra BROCH (1936).
- Fig.32. Fordelingen av faunakomponentene på grupper for stasjonene utenfor Drøbacterskelen (Elle) i 1962. Data fra STÅLESEN (1964).
- Fig.33. Fordelingen av faunakomponentene på grupper for stasjonene innenfor Drøbacterskelen (Gråøy + Digerud) i 1962. Data fra STÅLESEN (1964).

T a b e l l XIII

Observasjoner fra Frognerkilen

19/11 - 26/11 - 1964

hentet fra GIESKES (1965)

Stasjon Sikt	Dyp m	S <sup>o</sup> /oo	O <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l	S og/el.S <sup>+</sup> cm	Antall arter		Antall individer Grabbe	
						Skrape	Grabbe		
A-1	0	21,15	6,29	150					
	2,5	22,21	6,18	85		12			
	Sikt	5	22,39	6,28	79	-			
		6				-	18		
	3,5 m	7	23,66	3,99	70			7	27
8					-				
9					0 - 5		0	0	
A-2	0	16,78	7,41	314					
	2,5	22,27	6,18	85					
	4,5						2	4	
	Sikt	5	22,50	5,88	87				
		8	24,86	4,11	77				
2,5 m	12	28,74	1,42	81					
	15	29,67	0,19	107					
	17,5				0 - 15		0	0	
A-3	0	20,62	6,68	128					
	2,5	22,18	6,29	73					
	Sikt	5	22,52	6,01	61				
		8	25,57	3,64	49				
	2,5 m	12	28,68	0,54	70				
16		30,13	0,09	124					
18					0 - 13		0	0	
A-4	17				0 - 19		0	0	

(fortsatt)



Stasjon Sikt	Dyp m	S <sup>o</sup> /oo	O <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l	S og/el.S <sup>+</sup>	Antall arter		Antall individer Grabbe
						Skrape	Grabbe	
A-5  Sikt  2,5 m	0	20,85	6,44	181				
	2,5	22,09	6,17	91		11		
	4				Total			
	5	22,70	5,51	81				
	7				-			
	8	27,03	2,29	71				
	9				-			
	11				0 -18		0	0
B-1	1,5-2					17 <sup>1)</sup>		
	6					19	10	76
	8				-			
B-2  Sikt  4 m	0	16,55	6,88	486				
	2,5	22,16	6,10	81				
	5	22,57	5,00	71				
	8	26,47	2,58	62				
	12	29,37	0,33	135				
	13,5				0 -14		0	0
C-1  Sikt  3 m	0	12,36	7,48	613				
	2				-		5	139
	2,5	22,16	5,79	77				
	3				-			
	1-5					15		
	3-4					7		
	4,5						1	1
	5	22,56	4,34	71				
6					-		5	6
	6-7					0		
	7	23,77	3,74	69				
	8				0 -12,5		0	0

(fortsatt)

Stasjon Sikt	Dyp m	S <sup>o</sup> /oo	O <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> -P 8/1	S og/el.S <sup>+</sup>	Antall arter		Antall individer Grabbe
						Skrape	Grabbe	
C-2	0	10,84	7,40	708				
	2,5						11	1062
Sikt	3	22,43	5,46	77	-	10		
3 m	4,5				-			
	5				1 - 7,5	19	13	88
	5,5				-			
	6-8					21		
	7				-		9	50
	7,5				-			
	9				0 - 8		0	0
C-3	0	17,37	6,39	562				
Sikt	2	22,31	5,41	84				
3 m	7				0 - 23,5		0	0
D-1	0	15,29	6,62	499				
	0-1,5					11		
Sikt	2	22,34	5,18	86				
	2,5				0 - 18 <sup>2)</sup>		4	23
2,5 m	4	22,54	4,22	79	0 - 3 <sup>3)</sup>	0	1	3
	5				0 - 18,5			
	5,5						0	0
E-1	0	9,10	7,69	786				
	0,75-1					3		
Sikt	1,5					0		
	2	22,31	5,22	78				
1,5 m	4,5				0-21		0	0

Sikt = Sikt målt med Secchi skive.

- = Sedimentkjerneprøve uten svart lag. Beliggenheten og tykkelsen av svart sediment i de øvrige kjerneprøver angitt i avstand fra sedimentoverflaten (0).

1) Prøven samlet med rive.

2)3) Disse to prøvene er etter all sannsynlighet blitt forbyttet, konf. teksten s. 63.

Individtallene for grabbefangstene er originaltallene, d.v.s. pr. 1/10 m<sup>2</sup>.

IX. LITTERATUR

- Anderson, D.Q., 1939: Distribution of organic matter in marine sediments and its availability to further decomposition.  
J. Mar. Res. 2: 225 - 235.
- Banse, K., 1955. Über das Verhalten von meroplanktischen Larven in geschichtetem Wasser.  
Kieler Meeresforsch. IX(2): 188 - 200.
- Barnard, J.L., 1958: Amphipod crustaceans as fouling organisms in Los Angeles - Long Beach Harbors, with reference to the influence of seawater turbidity.  
Calif. Fish Game 44 (2): 161 - 170.
- Bellan, G.L., 1966: Discussion of "Relationship of polychaetes to varying dissolved oxygen concentrations" by D.J. Reish.  
Third Internat. Conf. Water Pollut. Res. Formal Disc. III - 10: 1-3. Munich.
- Beyer, F., 1954 a: Studies of a threshold fjord - Dramsfjord - in Southern Norway. I. Hydrography.  
Univ. Oslo Magisteravh. 173 pp.+ 38 figs + 21 pls.
- Beyer, F., 1954 b: Studies of a threshold fjord - Dramsfjord - in Southern Norway. II. Zooplankton. Ibid.  
59 pp.+ 9 figs.
- Beyer, F., 1958: A new, bottom-living Trachymedusa from the Oslo Fjord. Description of the species, and a general discussion of the life conditions and fauna of the fjord deeps.  
Nytt Mag. Zool. 6: 121 - 143.
- Beyer, F., 1967: Om representativiteten av undersøkelsesperioden 1962 - 66.  
Oslofjorden og dens forurensningsproblemer I.  
Undersøkelsen 1962 - 1965. Delrapport nr. 18.

- Beyer, F., Ågot Dybwad og J. Versvik, 1966: Zooplankton. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer I. Undersøkelsen 1962 - 1965. Delrapport nr. 5.
- Beyer, F. og E. Føyn, 1951: Surstoffmangel i Oslofjorden. En kritisk situasjon for fjordens dyrestand. Naturen 75. Årg. 10: 289 - 306.
- Beyer, F. og E. Føyn, 1956: Oslofjordens forurensning. Pp. 29 - 36 i Borgestad Legat I 1929 - 1954. Oslo.
- Beyer, F., E. Føyn, J.T. Ruud and E. Totland, 1967: Stratified currents measured in the Oslofjord by means of a new, continuous depth-current recorder, the Bathyrheograph. J. Cons. int. Explor. Mer 31 (1): 5- 26.
- Beyer, F. og J. Versvik, 1967: Om utbredelsen av hvirvelløse dyr langsmed bunnen av indre Oslofjord i 1962 -65. Undersøkelser utført ved hjelp av bunnslede. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer I. Undersøkelsen 1962 - 1965. Delrapport nr. 7.
- Billmann, E., 1940: Lærebog i uorganisk Kemi. Sjette Udgave. 392 pp. København.
- Blegvad, H., 1932: Undersøgelser af Bundfaunaen ved Kloakudløb i Øresund. Beretn. dansk. biol. Sta. XXXVII: 3 - 20.
- Böhle, B., 1965: Undersøkelser av blåskjell (Mytilus edulis L.) i Oslofjorden. Fisker og Havet, 1965; 1: 19 - 25.
- Borchert, H., 1965: Formation of marine sedimentary iron ores. Pp. 159 - 204 in Riley, J.P. and G. Skirrow, ed. Chemical oceanography. 2.

- Braarud, T., 1945 a: A phytoplankton survey of the polluted waters of Inner Oslofjord.  
Hvalråd. Skr. 28: 1- 142.
- Braarud, T., 1945 b: Forurensning og selvrensning av sjøvann. Undersøkelser i Oslofjorden.  
Naturen 69. Årg. 7 -8: 212 - 235.
- Braarud, T. og Ingrid Nygaard, 1966: Fytoplankton. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer I. Undersøkelsen 1962 - 1965. Delrapport nr. 4.
- Braarud, T. and J.T. Ruud, 1937: The hydrographic conditions and aeration of the Oslo Fjord 1933 - 1934.  
Hvalråd. Skr. 15: 1 - 56.
- Brand, T. von, 1946: Anaerobiosis in invertebrates. No. 4 of the "Biodynamica Monographs" ed. by B. J. Luyet. 328 pp. Missouri.
- Broch, Hj., 1936: Die Bedeutung der Drøbak-Schwelle für die Bodenfauna der Garnelen-Felder.  
Avh. norske VidenskAkad. I. Mat.- Nat.kl. 1935, 5: 1 - 32.
- Brodie, J.W., 1964: The Fiordland Shelf and Milford Sound. Pp. 15 - 23 in Skerman, T. M., ed. Studies of a southern fiord. N. Z. Dep. sci. industr. Res. Bull. 157.
- Bruun, A.F. and T. Wolff, 1961: Abyssal benthic organisms: Nature, origin, distribution, and influence on sedimentation. Pp. 391 - 397 in Sears, Mary, ed. Oceanography. Publ. Amer. Ass. Advanc. Sci. 67.
- Chester, R., 1965: Elemental geochemistry of marine sediments. Pp. 23 - 80 in Riley, J.P. and G. Skirrow, ed. Chemical oceanography. 2.

- Christiansen, B., 1958: The foraminifer fauna in the Drøbak Sound in the Oslo Fjord (Norway).  
Nytt Mag. Zool. 6 : 5- 91.
- Demel, K. and Z. Mulicki, 1954: Quantitative investigations on the biological bottom productivity of the South Baltic.  
Rep. Sea Fish. Inst. Gdynia 7: 75 - 126.
- Ekman, S., 1953: Zoogeography of the sea.  
London. 417 pp.
- Emery, K.O., 1963: Organic transportation of marine sediments.  
Pp. 776 - 793 in Hill, M.N., ed.  
The Sea. 3. N.Y. & Lond.
- Emery, K.O. and J. Hülsemann, 1962: The relationships of sediments, life and water in a marine basin.  
Deep- Sea Res. 8 : 165 - 180.
- Emery, K.O. and S.C. Rittenberg, 1952, cit. Wood, 1963:  
Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol. 36 : 735 - 806.
- Emery, K.O. and R.E. Stevenson, 1957: Estuaries and lagoons.  
Pp. 673 - 750 in Hedgpeth, J.W., ed. Geol. Soc. America. Memoir 67, 1.
- Enequist, P., 1949: Studies on the soft-bottom amphipods of the Skagerak.  
Zool. Bidr. Uppsala XXVIII: 297 - 492.
- Filice, F.P., 1954, cit. Reish, 1960: An ecological survey of the Castro Creek area in San Pablo Bay.  
Wasmann J. Biol. 12: 1 - 24.
- Føyn, E., 1955: Continuous oxygen recording in seawater.  
Rep. Norweg. Fish. Invest. XI (3): 1 - 8.

- Gaarder, T., 1916: De vestlandske fjordes hydrografi. I  
Surstoffet i fjordene.  
Bergens Mus.Aarb. 1915 -16. Naturvidensk. rekke, 2:  
1 - 200.
- Garner, D.M., 1964: The hydrology of Milford Sound.  
Pp. 25 -33 in Skerman, T.M., ed. Studies of a southern  
fiord.  
N.Z. Dep. sci. industr. Res. Bull. 157.
- Gaufin, A.R. and C.M. Tarzwell, 1956: Aquatic macro-invertebrate  
communities as indicators of organic pollution in  
Lytle Creek.  
Sewage industr. Wastes 28 (7): 906 - 924.
- Gieskes, W.Chr.; 1965: Some investigations into the hydrographical  
and biological conditions of the Frognerkilen (Oslo-  
fjord).  
Spes. Rep. Inst. mar. Biol. Oslo. 59 pp.
- Gislén, T., 1940: Investigations on the ecology of Echiurus.  
Acta Univ. Lund. N.F. Avd. 2,36 (10): 1 - 39.
- Gleditsch, Ellen, 19 : Forelesninger over anorganisk kjemi.  
Del II: 95 - 197. Univ. Studentkontor, Oslo.
- Goerke, H., 1966: Nahrungsfiltration von Nereis diversicolor  
O.F. Müller (Nereidae, Polychaeta).  
Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven X (2): 49 - 58.
- Gran, H.H. und T. Gaarder, 1918: Über den Einfluss der atmos-  
phärischen Veränderungen Nordeuropas auf die hydrogra-  
phischen Verhältnisse des Kristianiafjords bei Drøbak  
in März 1916.  
Publ. Circ. Cons. Explor. Mer 71: 1 - 29.
- Gunkel, W., 1962: Überlegungen zur Rolle der Bakterien im  
Stoffkreislauf des Meeres.  
Kieler Meeresforsch. XVIII (3): 136 - 144.

- Gunkel, W. and C.H. Oppenheimer, 1961, cit. Gunkel, 1962:  
Experiments regarding the sulfide formation in  
sediments of the Texas Gulf Coast.  
Bact. Proc. 1961, 49.
- Hart, T.J. and R.I. Currie, 1960: The Benguela Current.  
"Discovery" Rep. XXXI: 123 - 298.
- Hartmann, Olga, 1960: The benthonic fauna of Southern Cali-  
fornia in shallow depths and possible effects of  
wastes on the marine biota. Pp. 57 - 81 in  
Pearson, E.A., ed.  
Proc. First Internat. Conf. Waste Disposal in the  
Marine Environment N.Y., Oxf., Lond., Paris.
- Hayes, F.R. 1964: The mud-water interface Pp. 121 - 145 in  
Barnes, H., ed.  
Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 2.
- Hecht, F., 1932: Der chemische Einfluss organischer Zersetzungs-  
stoffe auf das Benthos, dargelegt an Untersuchungen  
mit marinen Polychaeten, insbesondere Arenicola  
marina L. Senckenbergiana 14 (4/5): 199 - 220.
- Hempel, Christine, 1960: Über das Festsetzen der Larven und  
die Bohrtätigkeit der Jugendstadien von Polydora  
ciliata (Polychaeta sedentaria)  
Helgoländ. wiss. Meeresunters. 7 (2): 80 - 92.
- Hjort, J. and K.Dahl, 1900: Fishing experiments in Norwegian  
fiords.  
Rep. Norweg. Fish. Invest. I (1): 1 - 215.
- Hjort, J. and H.H. Gran, 1900: Hydrographic - biological in-  
vestigations of the Skagerrak and the Christiania  
Fiord.  
Ibid. (2): 1 - 56 + tables 1 - 26.



- Hjort, J. and J.T. Ruud, 1938 a: Deep-sea prawn fisheries and their problems.  
Hvalråd. Skr. 17: 1 - 144.
- Hjort, J. and J.T. Ruud, 1938 b: A bottom-sampler for the mud-line.  
Ibid.: 145 - 151 + Plate.
- Hurley, D.E., 1964: Benthic ecology of Milford Sound.  
Pp. 79 - 89 in Skerman, T.M., ed. Studies of a southern fiord.  
N.Z. Dep. sci. industr. Res. Bull. 157.
- Indrehus, Jane, 1967: A quantitative and qualitative study of the fauna on and adjacent to the soft bottom of Oslofjord. Master's thesis, Durham Univ., England.
- Jacobowa, Lydia und E. Malm, 1931: Die Beziehungen einiger Benthos-Formen des Schwarzen Meeres zum Medium.  
Biol. Zbl. 51: 105 - 116.
- Jensen, Aa. J.C., 1932: Hydrografisk Undersøgelse af Øresunds Forurening ved København.  
Beretn. dansk. biol. Sta. XXXVII: 21 - 34.
- Just, C., 1959: Oslo. Aschehous konversasjonsleksikon. Fjerde utg. XIV: 672 - 685.
- Kanwisher, J., 1962: Gas exchange of shallow marine sediments.  
Coll. Pap. Woods Hole oceanogr. Instn 1302: 13/ - 19.
- Kaplan, I.R. and T.A. Rafter, 1964: Transformations of sulphur compounds in the sediments of Milford Sound.  
Pp. 73 - 76 in Skerman, T.M., ed. Studies of a southern fiord.  
N.Z. Dep. sci. industr. Res. Bull. 157.
- Kaplan, I.R. and S.C. Rittenberg, 1963: Basin sedimentation and diagenesis. Pp. 583 - 619 in Hill, M.N., ed. The Sea. 3.

- Kornerup, A. og J.H. Wanscher, 1963: Fargene i farger.  
Norsk utgave ved R. Revold. 236 pp. Oslo.
- Krey, J., P.H. Koske und K.-H. Szekiolda, 1965: Produktions-  
biologische und hydrographische Untersuchungen in  
der Eckernförder Bucht.  
Kieler Meeresforsch. XXI. (2): 135 - 143.
- Kuenen, Ph. H., 1965: Geological conditions of sedimentation.  
Pp. 1 - 21 in Riley, J.P. and G. Skirrow, ed.  
Chemical oceanography. 2.
- Kühlmorgen-Hille, G., 1965: Qualitative und quantitative  
Veränderungen der Bodenfauna der Kieler Bucht in den  
Jahren 1953 - 1965.  
Kieler Meeresforsch. XXI (2): 167 - 191.
- Larsen, T., 1966: En hydrografisk og faunistisk undersøkelse av  
Iddefjordens terskelområde.  
Hovedfagsoppg. mar. zool. Univ. Oslo. 53 pp. + 9  
figs. + 14 tab.
- Laughton, A.S., 1963: Microtopography. Pp. 437 - 472 in Hill,  
M.N., ed.  
The Sea. 3. N.Y. & Lond.
- Linke, O., 1939: Die Biota des Jadebusenwattes.  
Helgoländ wiss. Meeresunters. 1(3): 201 - 348.
- Lüneburg, H., 1953: Beiträge zur Hydrographie der Wesermündung.  
II. Teil. Die Probleme der Sinkstoffverteilung in  
der Wesermündung.  
Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven II: 15 - 51.
- McNulty, J.K., 1961: Ecological effects of sewage pollution  
in Biscayne Bay, Florida: Sediments and the dis-  
tribution of benthic and fouling macro-organisms.  
Bull. mar. Sci. Gulf Caribb. 11(3): 394 - 447.

- Mayor, A.G., 1924: Causes which produce stable conditions in the depth of the floors of Pacific fringing reef-flats.  
Publ. Carneg. Instn 340: 27 - 36.
- Molander, A., 1928: Animal communities on soft bottom areas in the Gullmar fjord.  
Kristinebergs Zoologiska Station 1877 - 1927 (2):  
1 - 90 + chart.
- Moore, H.B., 1931 a: The muds of the Clyde Sea area III. Chemical and physical conditions; rate and nature of sedimentation; and fauna.  
J. Mar. biol. Ass. U.K.N.S. XVII (2): 325 - 358.
- Moore, H.B., 1931 b: The specific identification of faecal pellets.  
Ibid. (2): 359 - 365.
- Moore, H.B., and R.G. Neill, 1930: An instrument for sampling marine muds.  
Ibid. XVI (2): 589 - 594.
- Morita, R.Y. and C.E. Zobell, 1955: Occurrence of bacteria in pelagic sediments collected during the Mid-Pacific Expedition.  
Deep-Sea Res. 3: 66 - 73.
- Naumann, E., 1930, cit. Hayes, 1964: Einführung in die Bodenkunde der Seen.  
Binnengewässer 9: 1 - 126.
- Norges Geografiske Oppmåling, 1951: Vannstandsobservasjoner. Stasjon: Oslo. Pp. 1 - 19 + tab. og diagr.
- Norges Geotekniske Institutt, 1962: Undersøkelse av sedimenter fra Oslofjorden.  
Rapport 62/321 9 pp. Oslo.

- Pantin, H.M., 1964: Sedimentation in Milford Sound.  
Pp. 35 - 47 in Skerman, T.M., ed, Studies of a  
southern fiord. N. Z. Dep. sci. industr. Res. Bull.157.
- Parker, R.H., 1963: Zoogeography and ecology of some macro-  
invertebrates, particularly mollusks, in the Gulf  
of California and the continental slope off Mexico.  
Vidensk. Medd. dansk naturh. Foren. Kbh. 126: 1 - 178  
+ Pls. I - XV.
- Pearson, E.A. (ed.) 1959: Proc. First Internat. Conf. Waste  
Disposal in the Marine Environment.  
N.Y., Oxf., Lond., Paris. 569 pp.
- Persoone, G., 1965: The importance of fouling in the harbour  
of Ostend in 1964.  
Helgoländ. wiss. Meeresunters. 12 (4): 444 - 448.
- Petersen, C.G.J., 1963: Havets Bonitering II. Om Havbundens  
Dyresamfund og om disses Betydning for den marine  
Zoogeografi.  
Beretn. dansk. biol. Sta. XXI: 1- 42 + Tillæg 1- 68.
- Petersen, C.G.J., 1915: Om Havbundens Dyresamfund i Skagerak,  
Kristianiafjord og de danske Farvande.  
Ibid. XXIII: 3- 26 + tab. + Kaart.
- Pettersson, H., 1954: The ocean floor.  
New Haven. 181 pp.
- Remane, A., 1933: Verteilung und Organisation der benthonischen  
Mikrofauna der Kieler Bucht.  
Wiss. Meeresuntersuch. Abt. Kiel, N.F.21: 161 - 221.
- Remane, A., 1958: Ökologie des Brackwassers. Teil I, pp. 1 -  
216 in Remane, A. und C. Schlieper: Die Biologie des  
Brackwassers.  
Binnengewässer XXII.
- Remane, A., 1963: Diskussion. P. 114 in Ziegelmeier, 1963.

- Reish, D.J., 1955: The relation of polychaetous annelids to harbor pollution.  
Publ. Hlth. Rep., Wash. 70(12): 1168 - 1174.
- Reish, D.J. 1959: An ecological study of pollution in Los Angeles - Long Beach Harbors, California.  
Occ. Pap. Allan Hancock Fdn 22: 1- 119.
- Reish, D.J., 1960: The use of marine invertebrates as indicators of water quality. Pp. 92 - 103 in Pearson, E.A., ed. Proc. First Internat. Conf. Waste Disposal in the Marine Environment. N.Y., Oxf., Lond., Paris.
- Reish, D.J., 1966: Relationship of polychaetes to varying dissolved oxygen concentrations.  
Third Internat. Conf. Water Pollut. Res. Sect. III, 10: 1- 10. Munich.
- Revelle, R., and R. Fairbridge, 1957: Carbonates and carbon dioxide. Pp. 239 - 296 in Hedgpeth, J.W., ed. Geol. Soc. America. Memoir 67. 1
- Richards, F.A. and R.F. Vaccaro, 1956: The Cariaco Trench, an anaerobic basin in the Caribbean Sea.  
Deep-Sea Res. 3 (3): 214 - 228.
- Riley, G.A., 1963: Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization.  
Limnol. Oceanogr. 8(4): 372 - 381.
- Risdal, D., 1963: Foraminiferfaunaen i en del sedimentkjerter fra indre Oslofjord.  
Norg. geol. Unders. 224 : 1 - 90.
- Rittenberg, S.C., K.O. Emery and W.L. Orr, 1955: Regeneration of nutrients in sediments of marine basins.  
Deep-Sea Res. 3(1): 23 - 45.

- Ruud, J.T. og J. Versvik, 1966: Fisket i Oslofjorden.  
Oslofjordens og dens forurensningsproblemer I.  
Undersøkelsen 1962 - 1965. Delrapport 3.
- Sars, G.O., 1865: Om den aberrante Krebsdyrgruppe Cumacea, og  
dens nordiske Arter.  
Forh. VidenskSelsk. Krist. 1864: 1 - 83.
- Sars, G.O., 1866: Oversigt af Norges marine Ostracoder.  
Ibid. 1865: 1 - 130.
- Sars, G.O., 1868: Beretning om en i Sommeren 1865 foretagen  
zoologisk Reise ved Kysterne af Christianias og  
Christiansands Stifter.  
Nyt Mag. Naturv. XV: 84 - 128.
- Sars, G.O., 1869: Undersøgelser over Christianiafjordens  
Dybvandsfauna, anstillede paa en i Sommeren 1868  
foretagen zoologisk Reise.  
Chra., 58 pp.
- Sars, G.O., 1870: Carcinologiske Bidrag til Norges Fauna I.  
Monografi over de ved Norges Kyster forekommende  
Mysider.  
Hft. 1: 1 - 64 + Tab. I - V. Chra.
- Sars, G.O., 1879: Ibid. Hft. 3: 1 - 131 + Tab. IX - XLII.
- Sars, G.O., 1899: An account of the Crustacea of Norway. II.  
Isopoda 270 pp + Pls 1-100; Suppl. Pls I - IV. Bergen.
- Sars, G.O., 1900: Ibid. III. Cumacea. 115 pp. + Pls I - LXXII.  
Bergen.
- Sars, G.O., 1928: Ibid. IX. Ostracoda. 277 pp. + Pls I -  
CXIX. Bergen.
- Sars, M., 1866: Om arktiske Dyreformer i Christianiafjorden.  
Forh. VidenskSelsk. Krist. 1865: 196 - 200.

- Sars, M., 1868: Bidrag til Kundskab om Christianiafjordens Fauna.  
Nyt. Mag. Naturv. XV: 231 - 344 + Tab. I - VII.
- Schemmekes, J.G.S., 1963: Studien über die Chemie und Fauna des Weichbodens in Sauerstoff-freien und Sauerstoff-armen Gebieten des inneren Oslofjords.  
Spes. Rep. Inst. mar. Biol. Oslo. 40 pp.
- Shurin, A.T., 1964: Features of the benthos in the northern and eastern Baltic in the summer of 1961 and 1962.  
Ann. biol. Copenhagen XIX: 73 - 74.
- Sjøstedt, L.G., 1936: Untersuchungen aus dem Öresund XXII. Beitrag zur Hydrographie des Sundes.  
Acta Univ. Lund., N.F., Avd. 2, 31 (12): 1 - 61.
- Stålesen, Gerd, 1964: En sammenlikning mellom bunnfaunaen på reke-feltene i Oslofjorden like innenfor og utenfor Drøbakterskelen i 1933/34 og 1962.  
Hovedfagsoppg. mar. zool. Univ. Oslo. 50 pp.
- Stålesen, O., 1963: Fisken på rekefeltene i Oslofjorden. En undersøkelse av de forandringer som har funnet sted de siste 30 år.  
Hovedfagsoppg. mar. zool. Univ. Oslo. 43 pp.+ karter + tab.
- Strøm, K.M., 1936: Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords, with remarks upon sedimentation under anaërobic conditions.  
Skr. norske VidenskAkad. I. Mat.- Naturv. Kl. 1936 (7): 1 - 85 + Pls 1 - 9.
- Sverdrup, H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1942: The oceans, their physics, chemistry, and general biology.  
New York. 1087 pp.

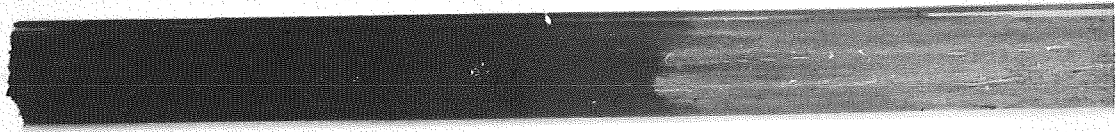
- Thamdrup, H.M., 1935: Beiträge zur Ökologie der Wattenfauna auf experimenteller Grundlage.  
Medd. Komm. Havundersøg. Kbh., Ser. Fiskeri.  
X (2): 1- 125.
- University of California, Berkeley 1965: Sanitary Engineering Research Lab., College of Engineering and School of Public Health. Ser1 Rep. 65 - 7. Final Rep. A comprehensive study of San Fransisco Bay. I. Physical, chemical, and microbiological sampling and analytical methods.
- Versvik, J., 1963: Undersøkelser over Lycenchelys sarsi i Oslofjorden, - og en sammenlikning med et materiale fra Barentshavet.  
Hovedfagsoppg. mar. zool. Univ. Oslo. 68 pp.
- Wilhelmi, J., 1915 , cit. Hecht, 1932: Leitsätze für die Einleitung von Abwässern in das Meer.  
Wass. u. Abwass. 9.
- Wohlenberg, E., 1937: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt.  
Helgoländ.wiss. Meeresunters. 1(1): 1- 92.
- Wood, E.J.F., 1963: Heterotrophic micro-organisms in the oceans.  
Pp. 197 -222 in Barnes, H., ed. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 1.
- Ziegelmeier, E., 1963: Das Makrobenthos im Ostteil der Deutschen Bucht nach qualitativen und quantitativen Bodengreiferuntersuchungen in der Zeit von 1949 - 1960.  
Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven. Sonderband: 101 - 114.
- Zobell, C.E., 1938, cit. Hayes, 1964: J.sed. Petrol. 8: 10 - 18.



Zobell, C.E., 1946: Marine microbiology.  
240 pp. Waltham, Mass.

Zobell, C.E., 1957: Marine bacteria. Pp. 1035 - 1040 in  
Hedgpeth, J.W., ed. Geol. Soc. America.  
Memoir 67, 1.

34



35

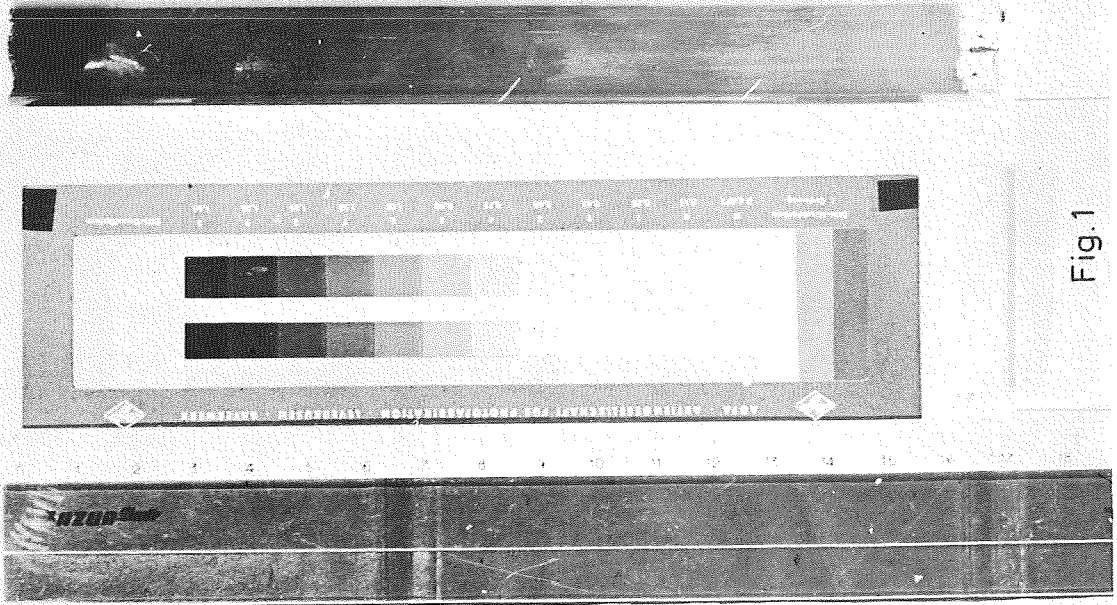


Fig.1

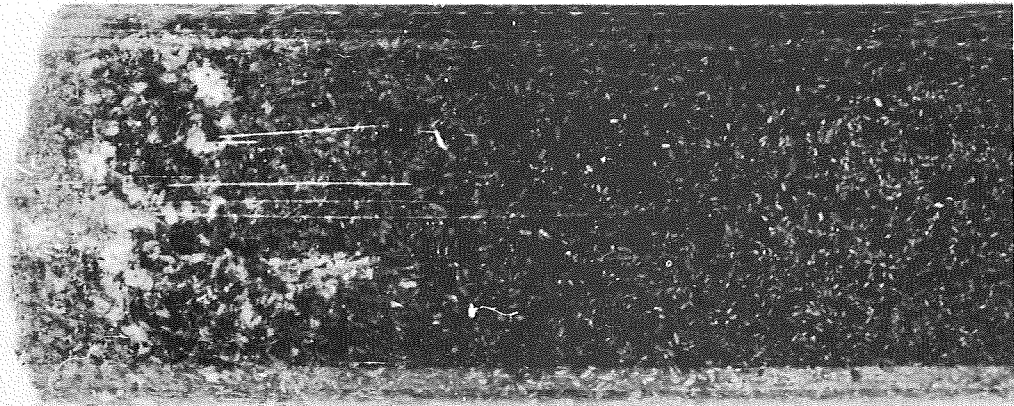
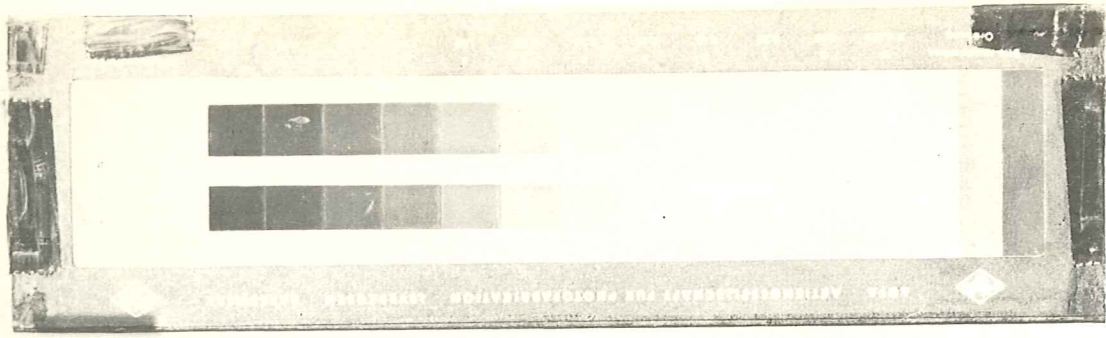
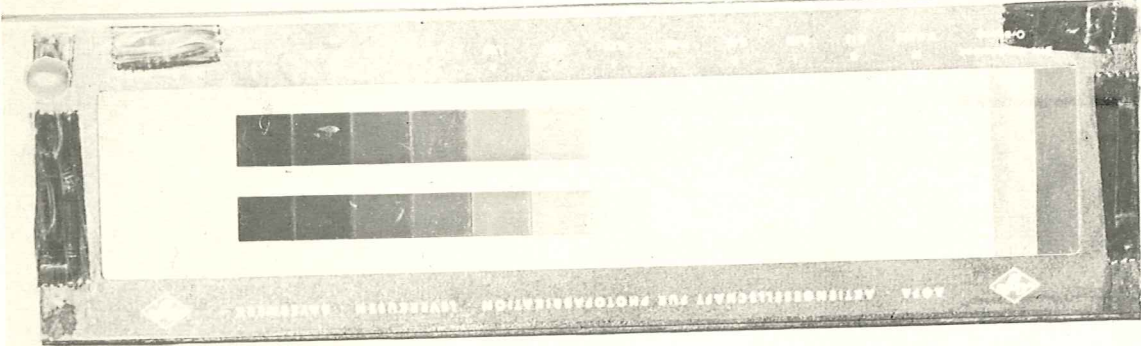


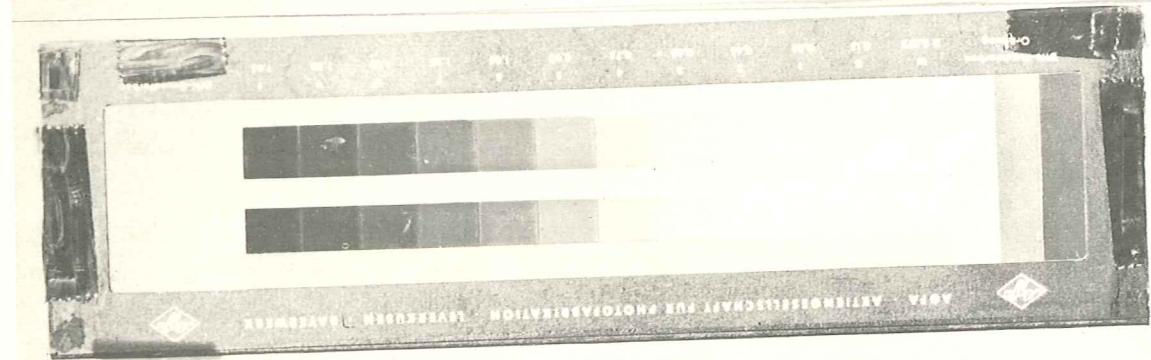
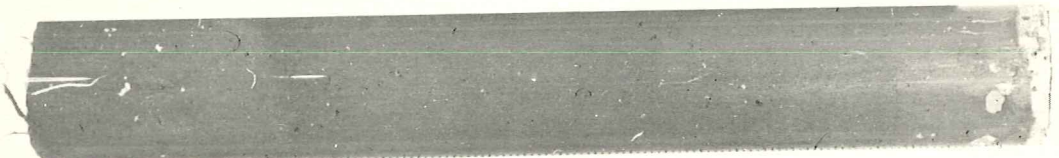
Fig.2



8



29



65



Fig. 5

Fig. 4

Fig. 3

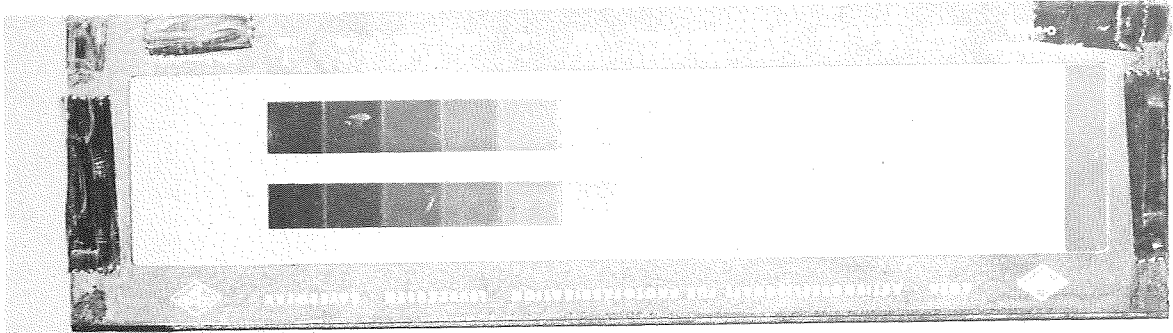


Fig. 8

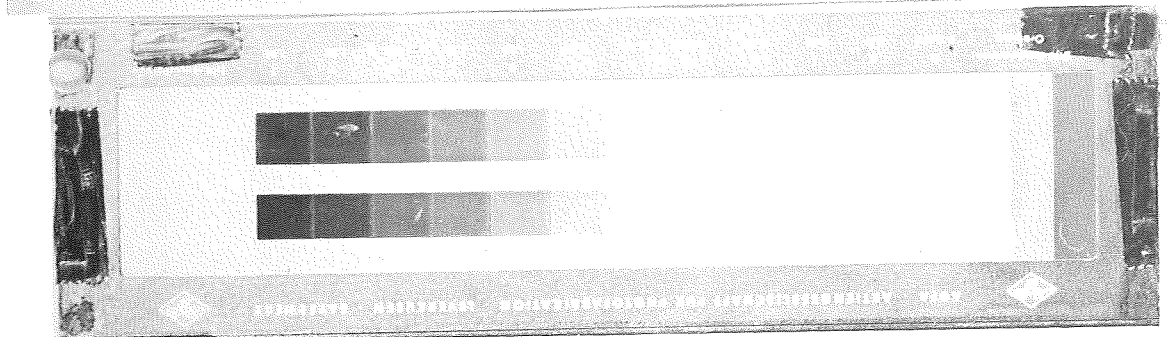
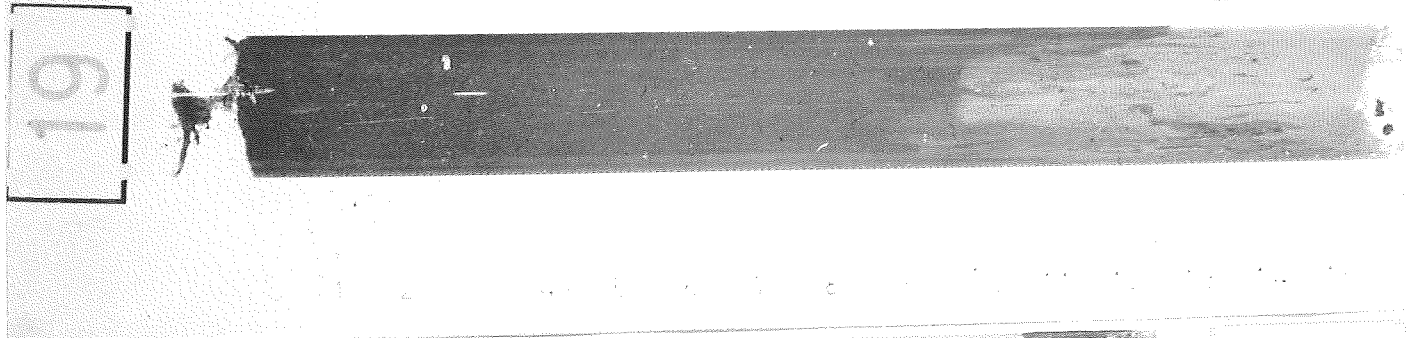


Fig. 7

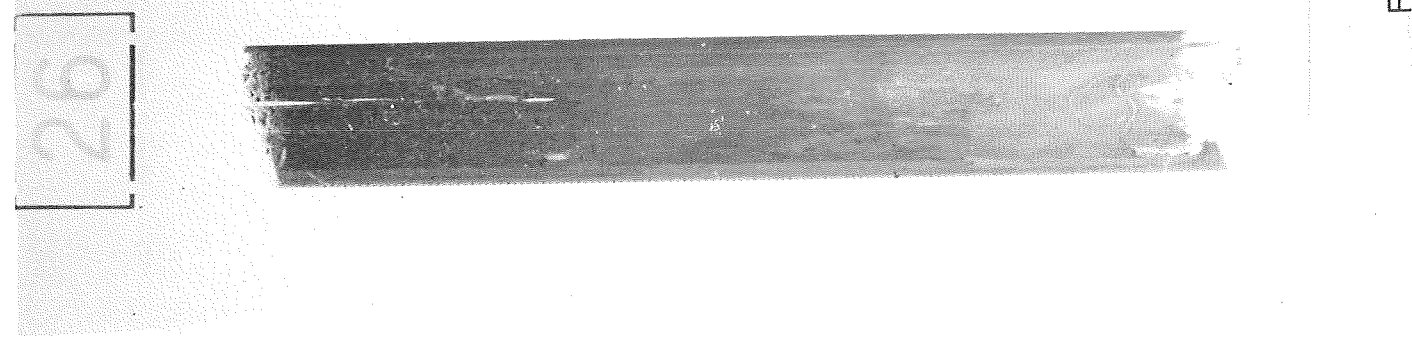
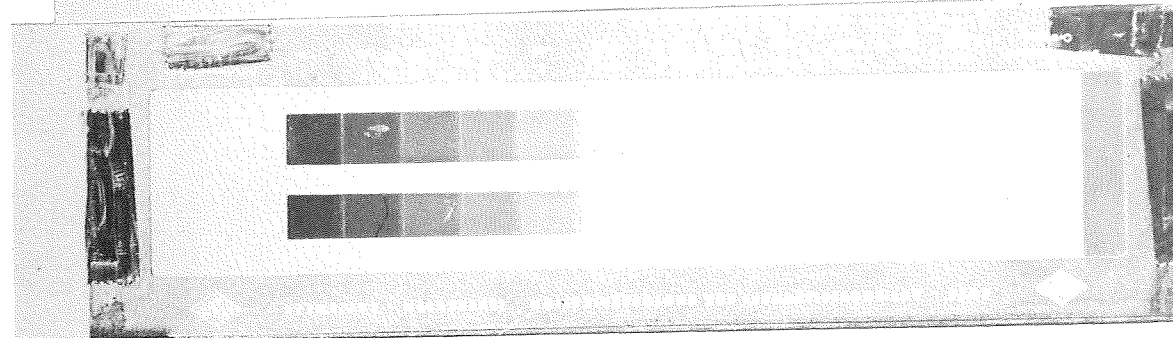
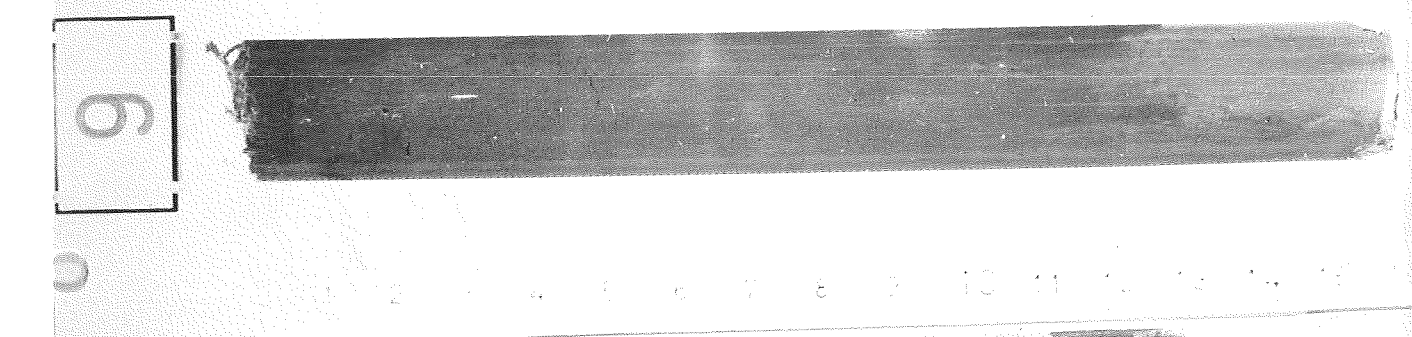


Fig. 6

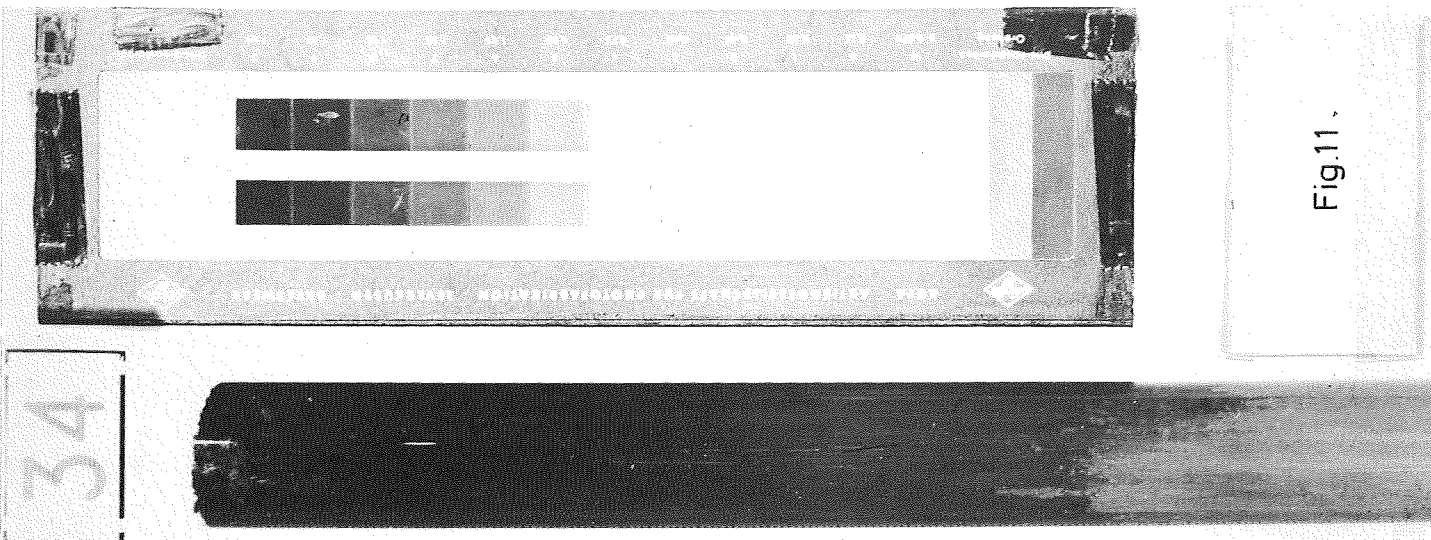


Fig.11

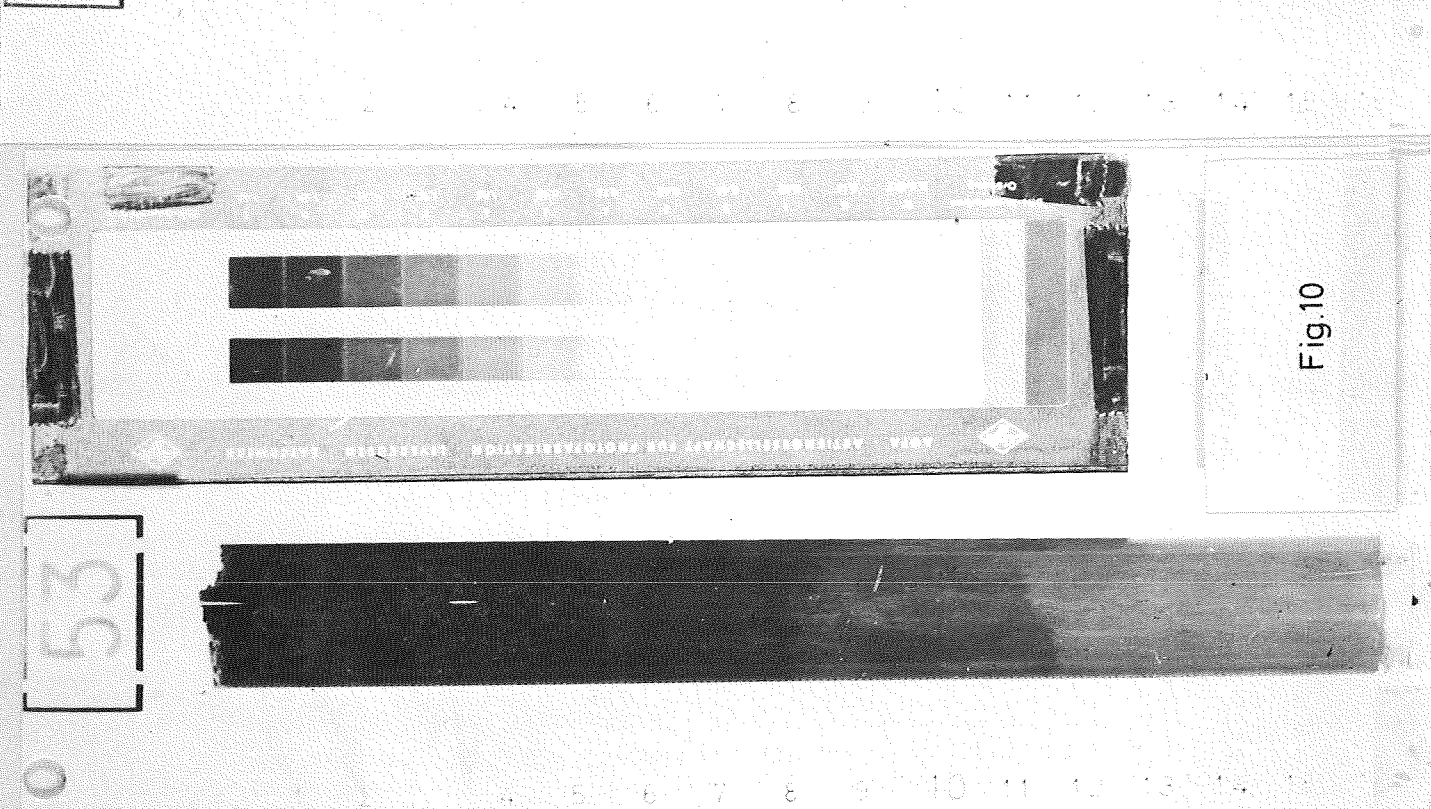


Fig.10

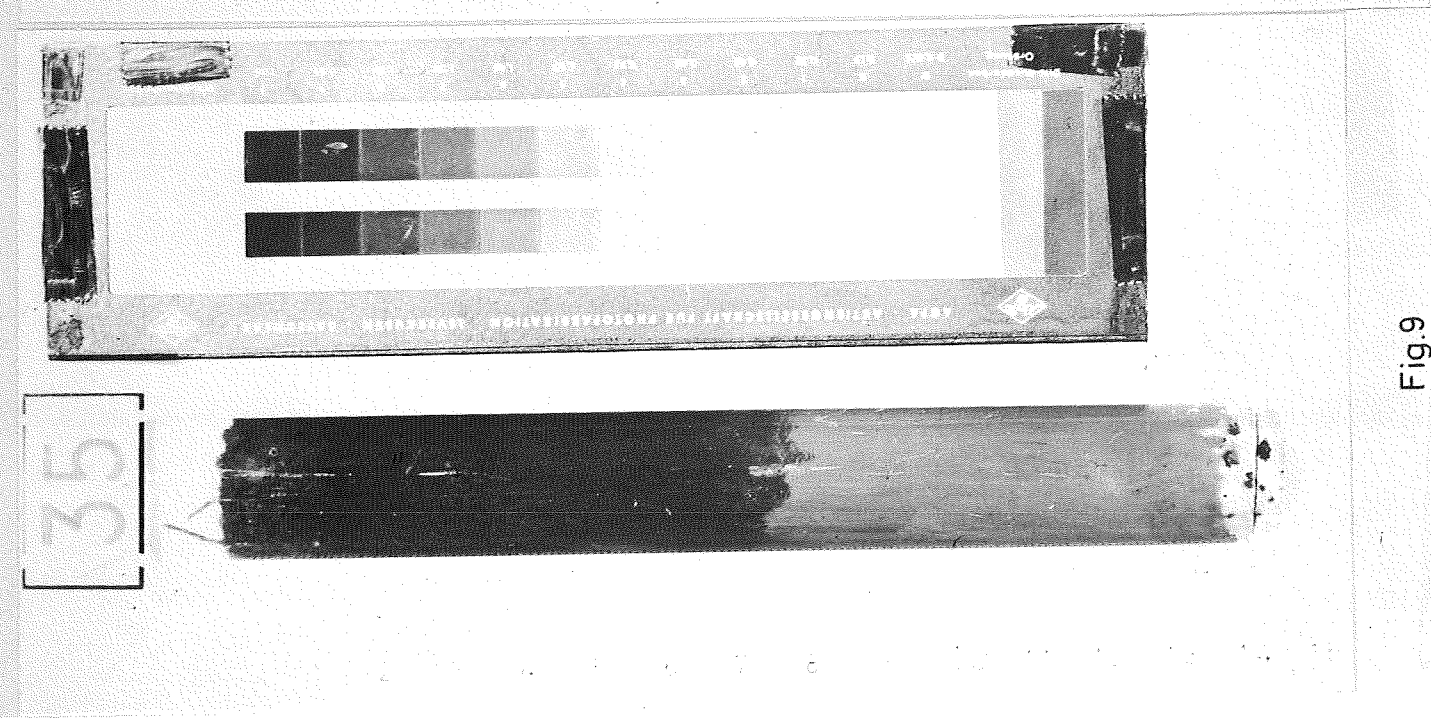


Fig.9

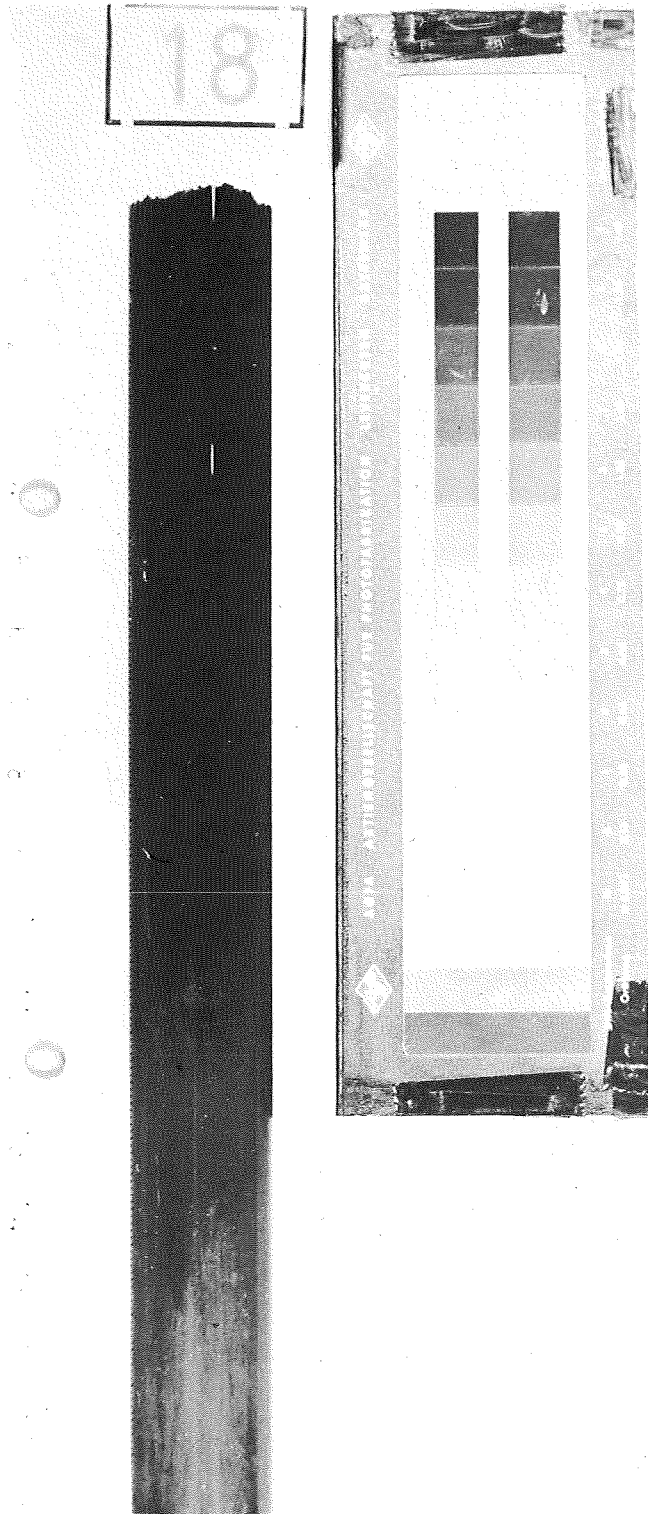


Fig.12

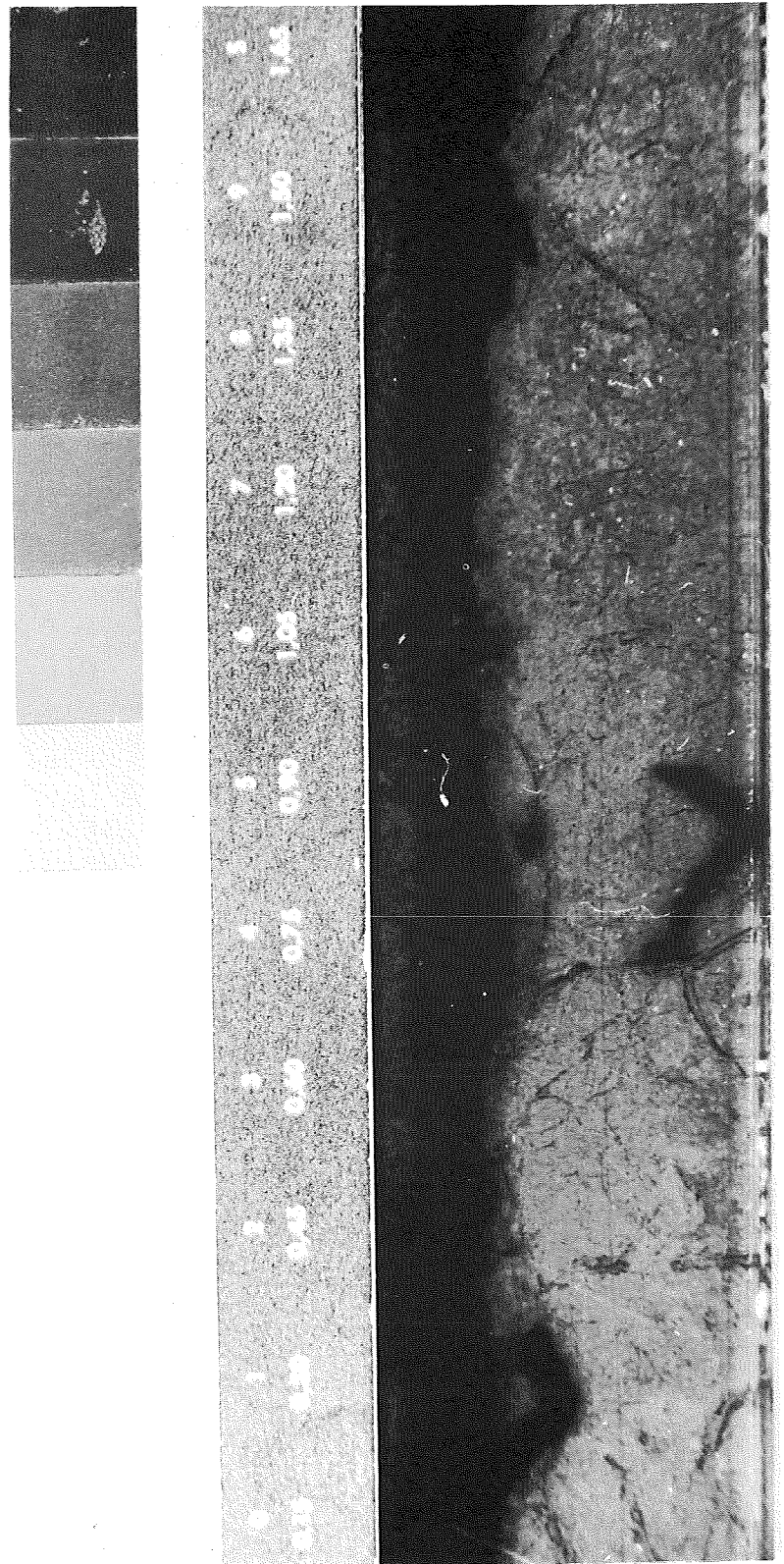


Fig.13

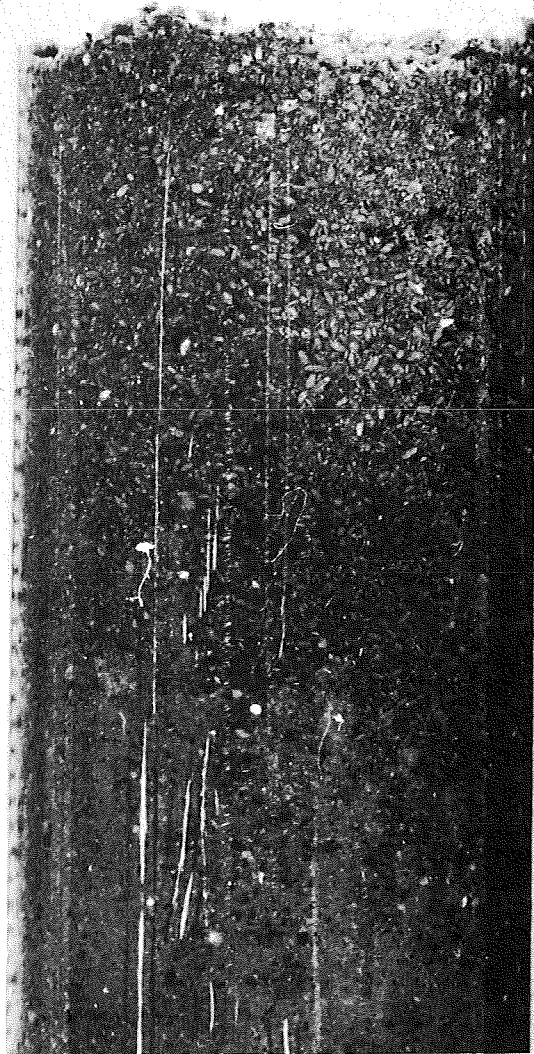
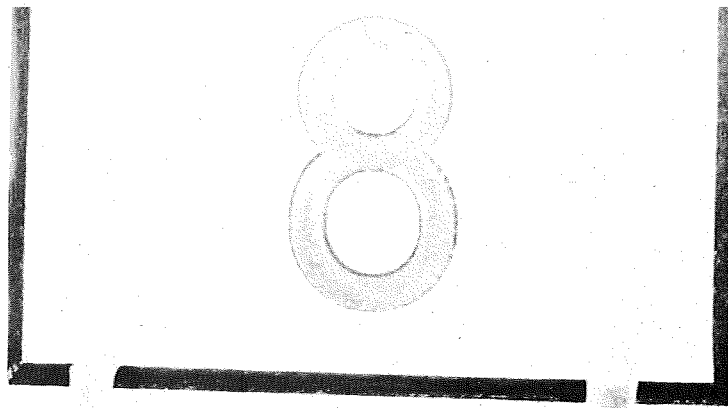


Fig.14

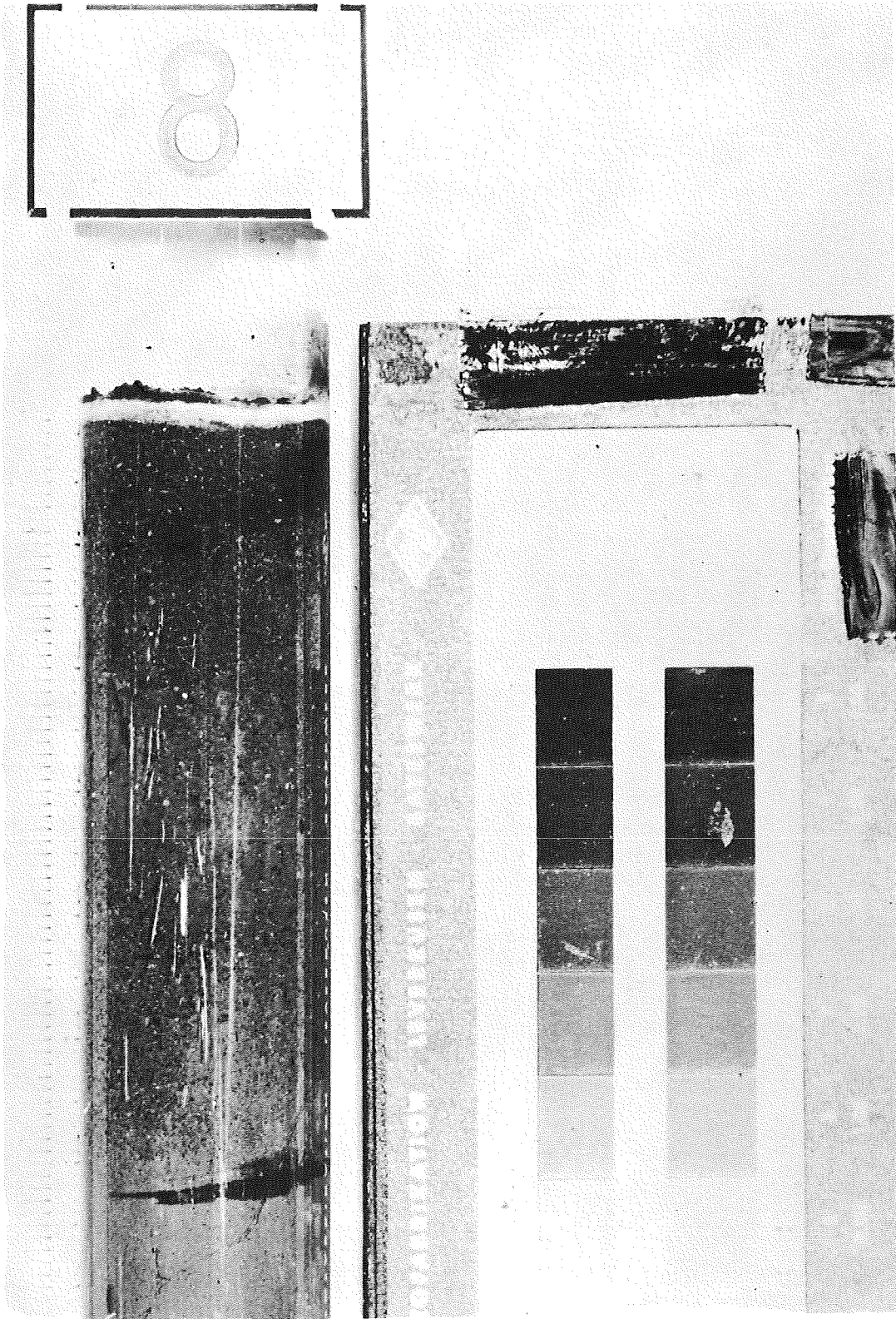


Fig.15



9



Fig.16

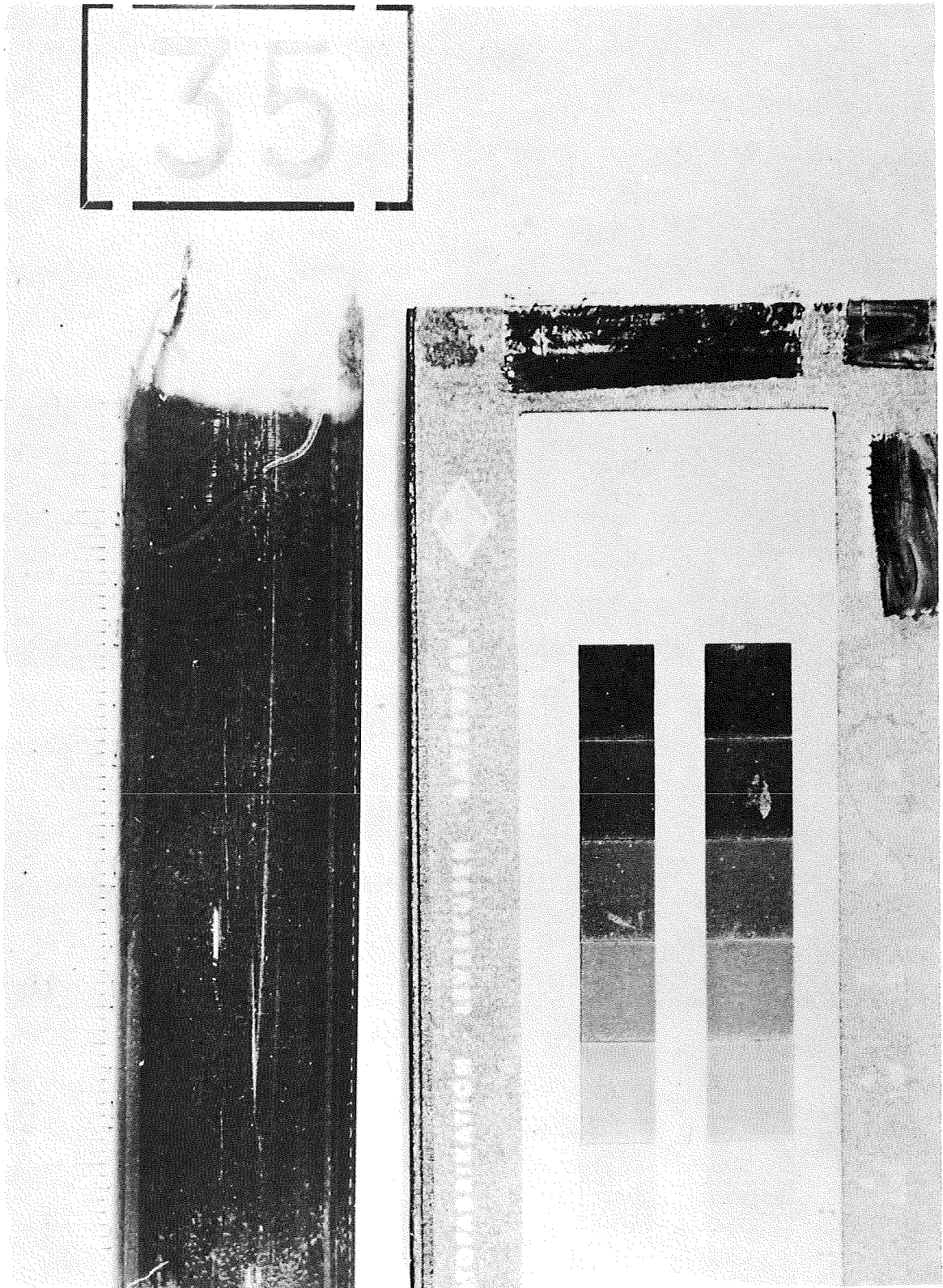


Fig.17

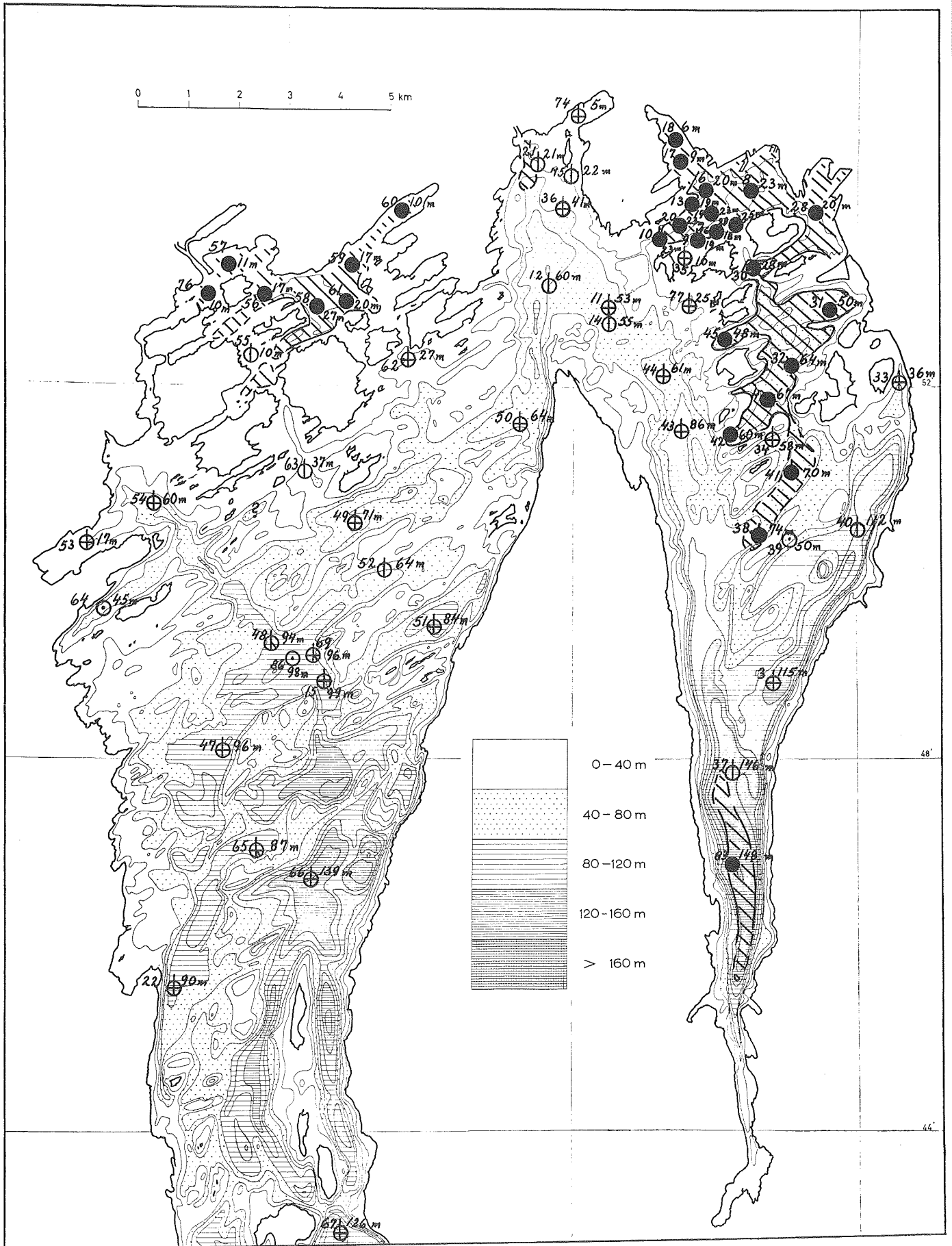


Fig. 18



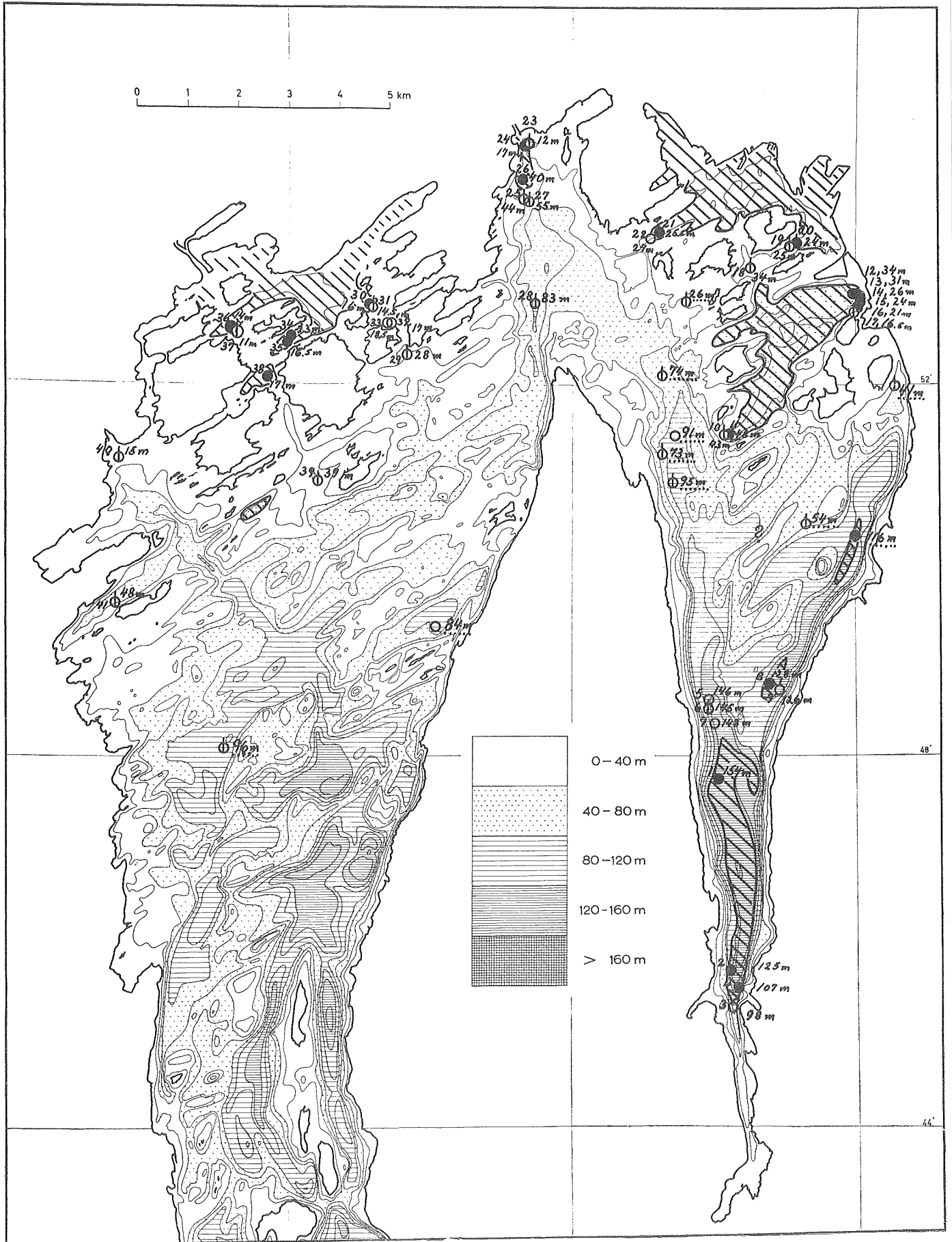


Fig. 20

53

55

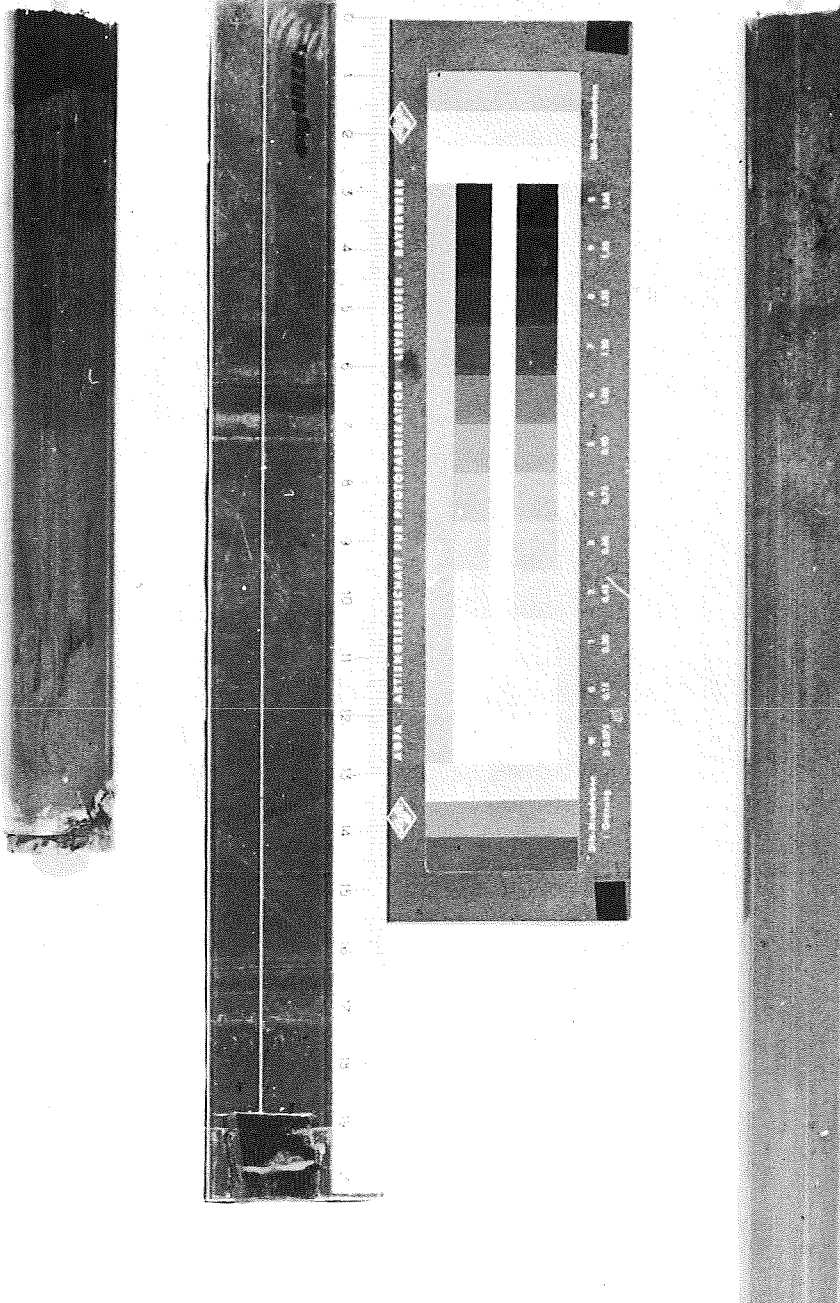
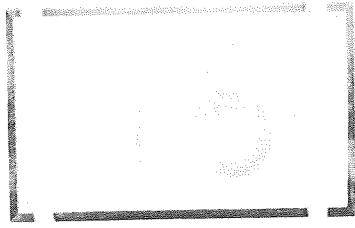


Fig. 21





0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

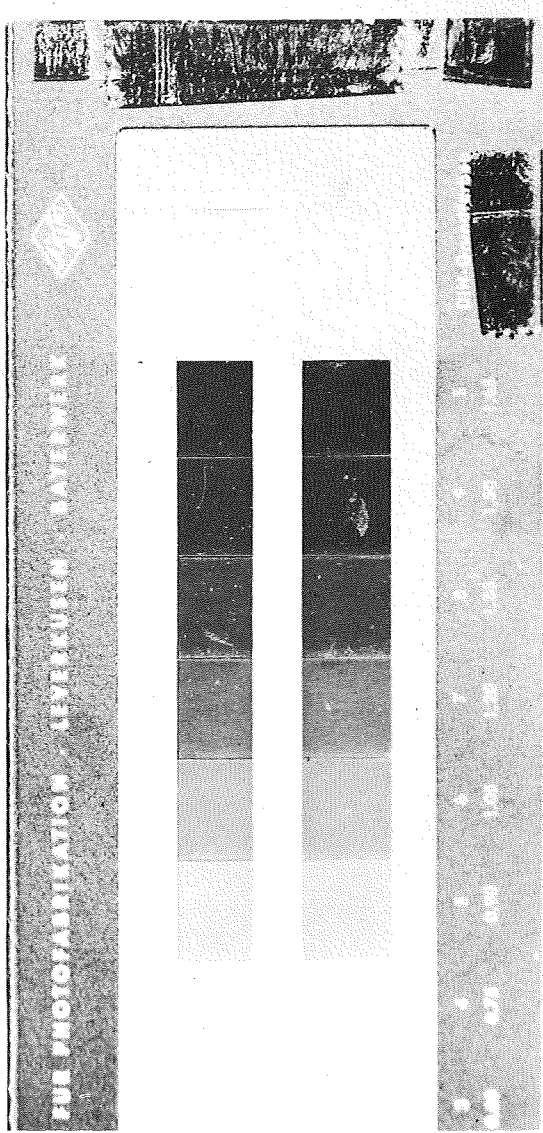
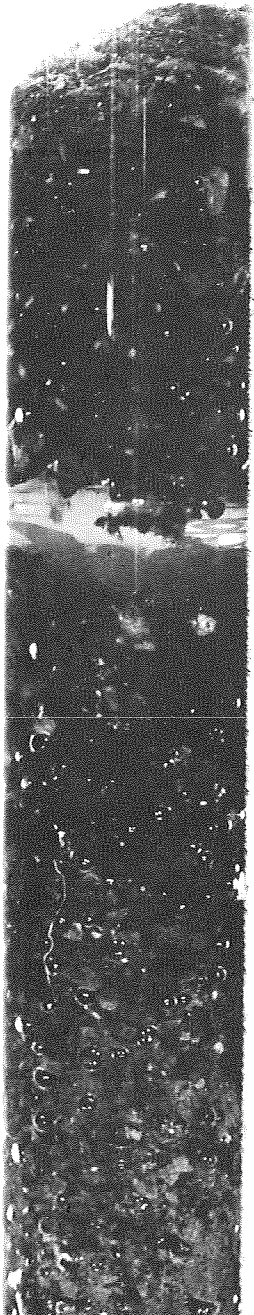
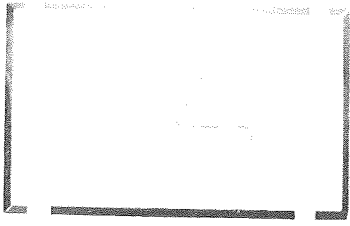


Fig. 23





0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8

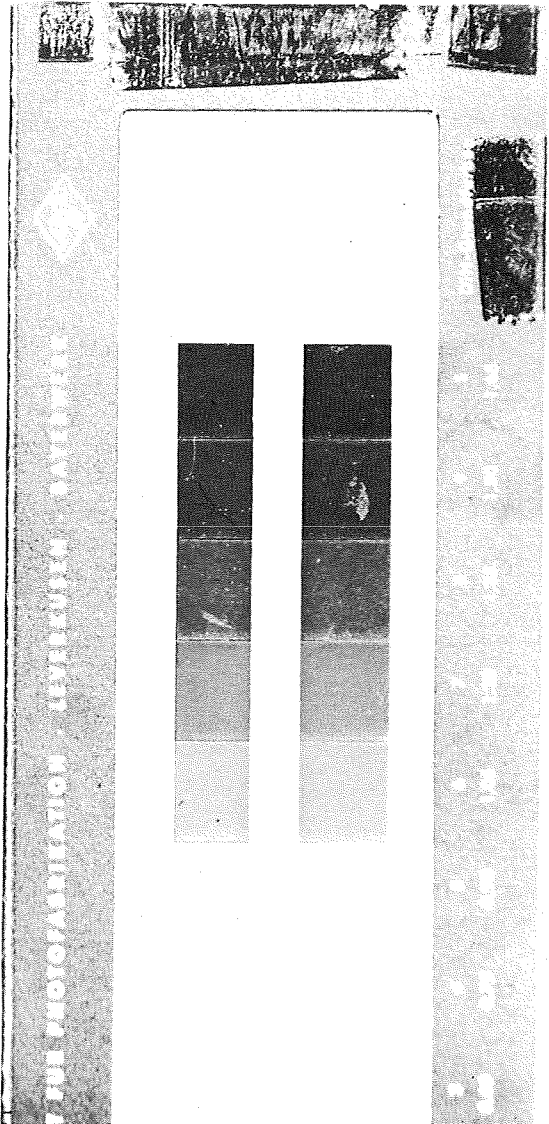


Fig.24

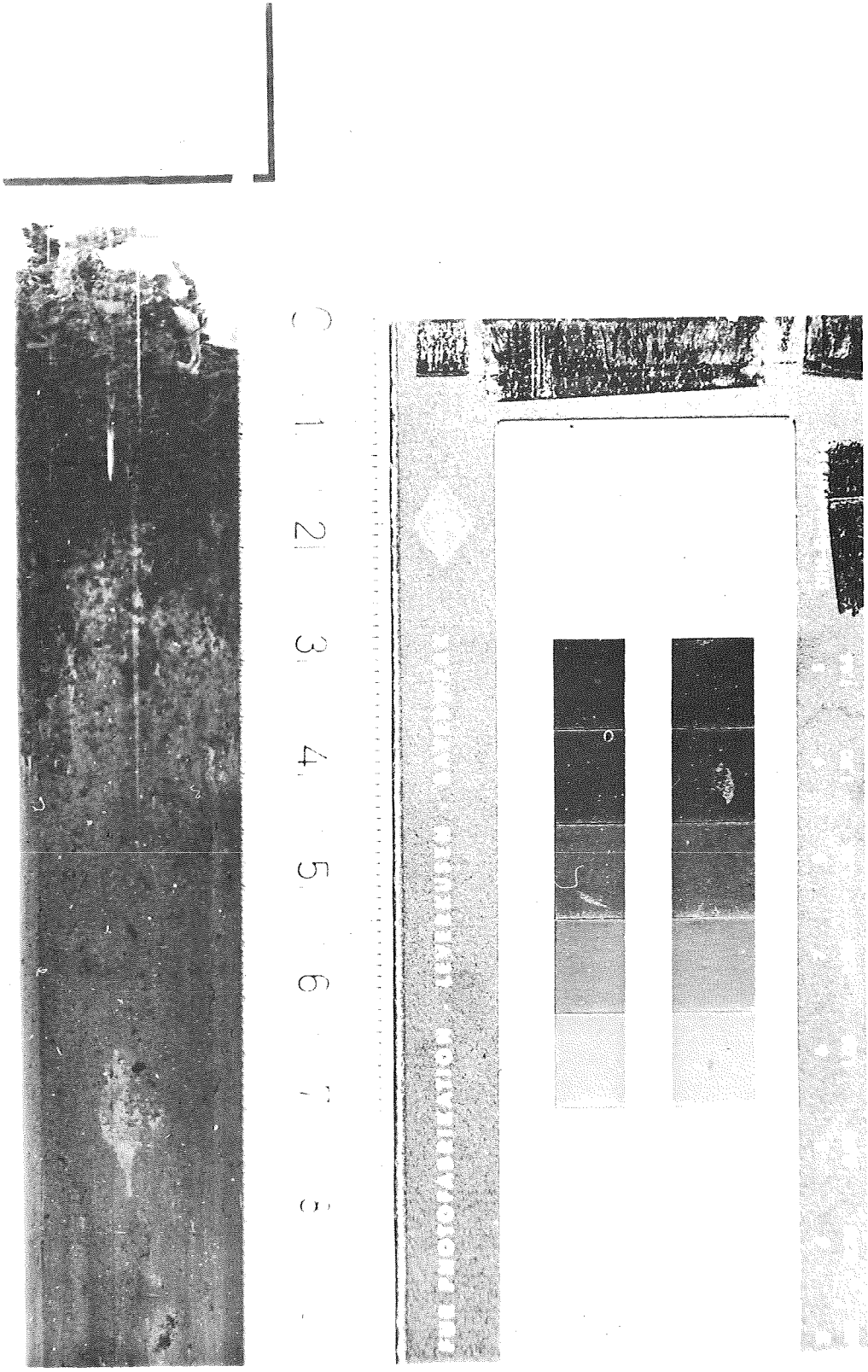
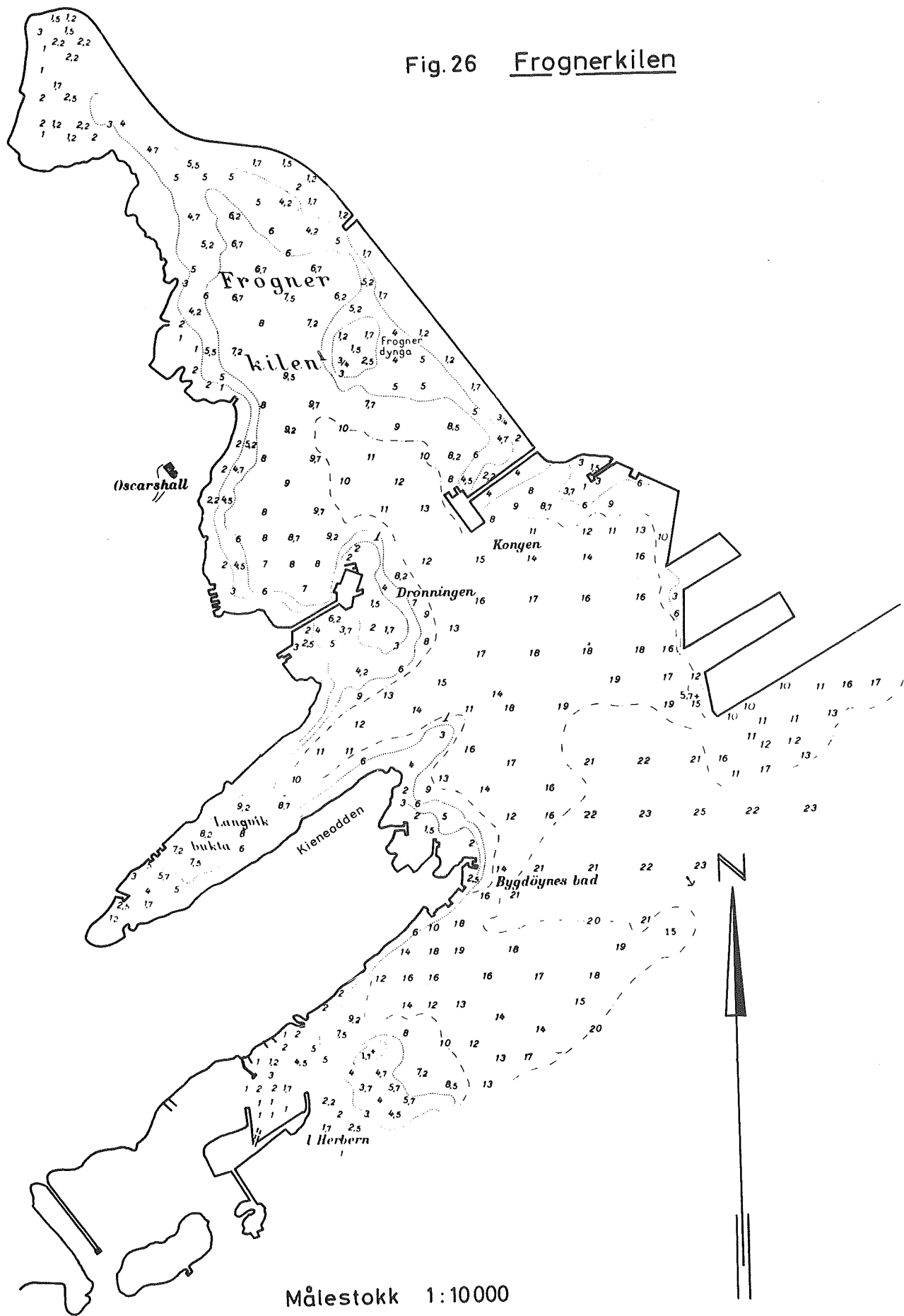


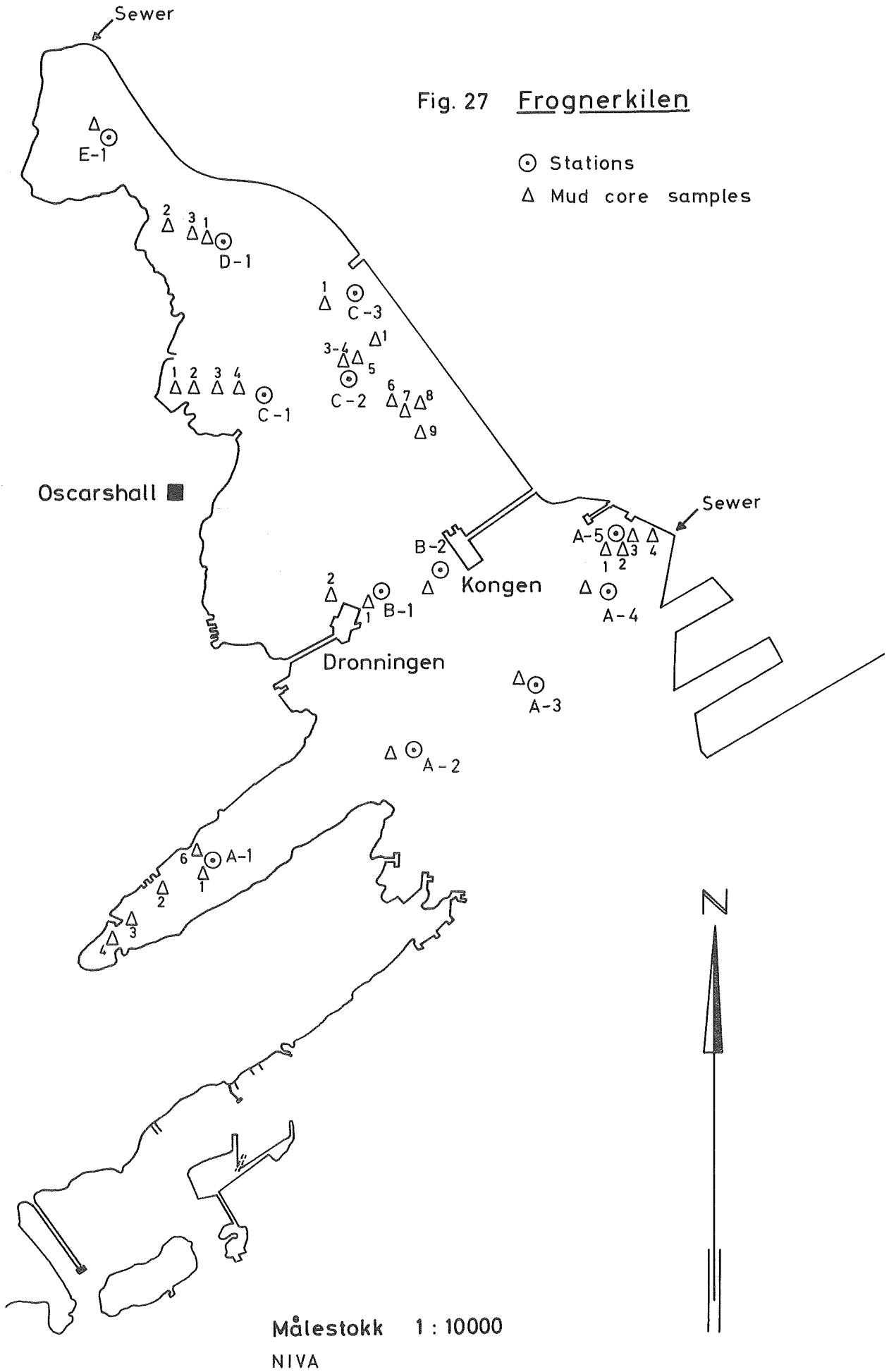
Fig. 25

Fig. 26 Frognerkilen



Målestokk 1:10000

Fig. 27 Frognerkilen



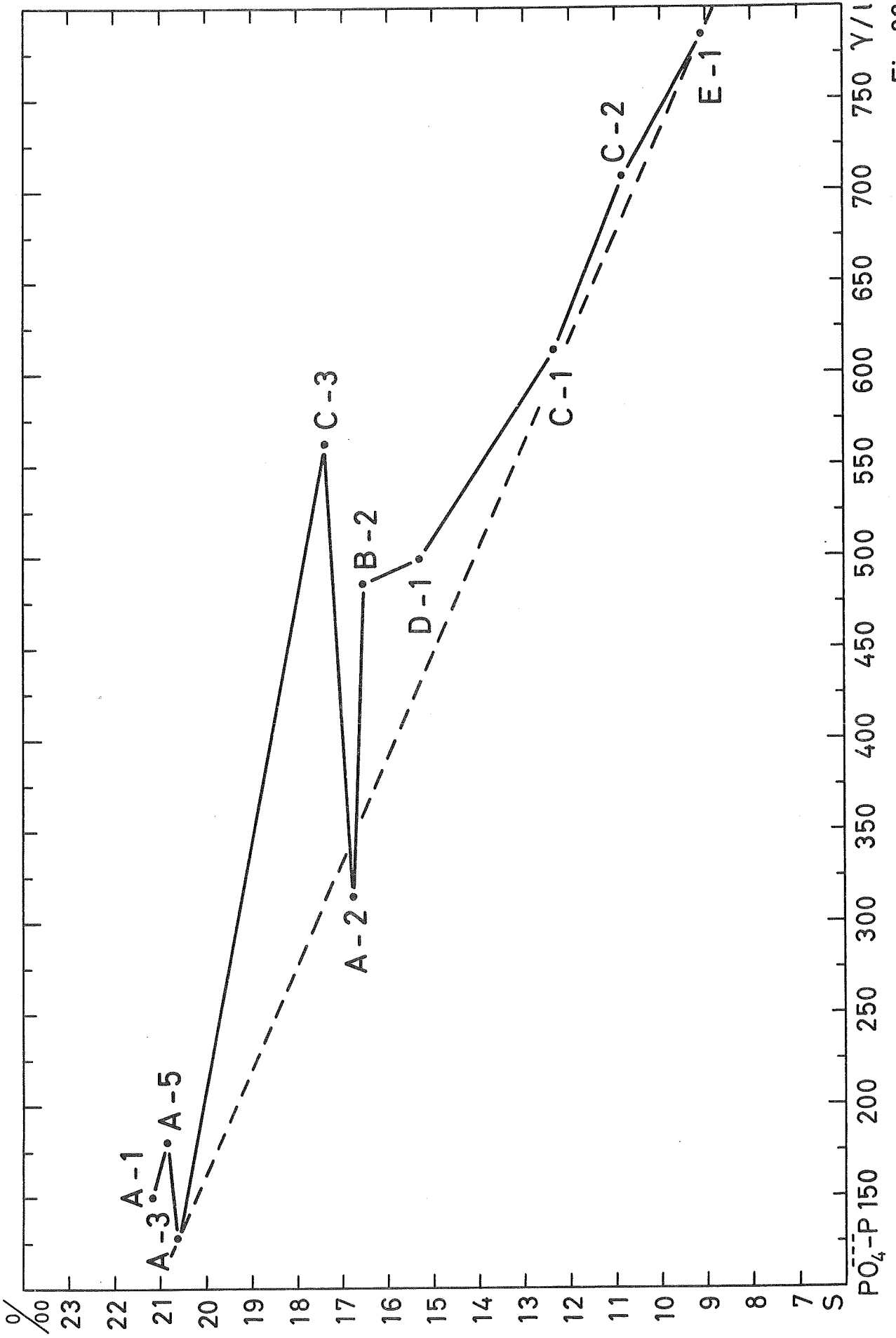


Fig.28

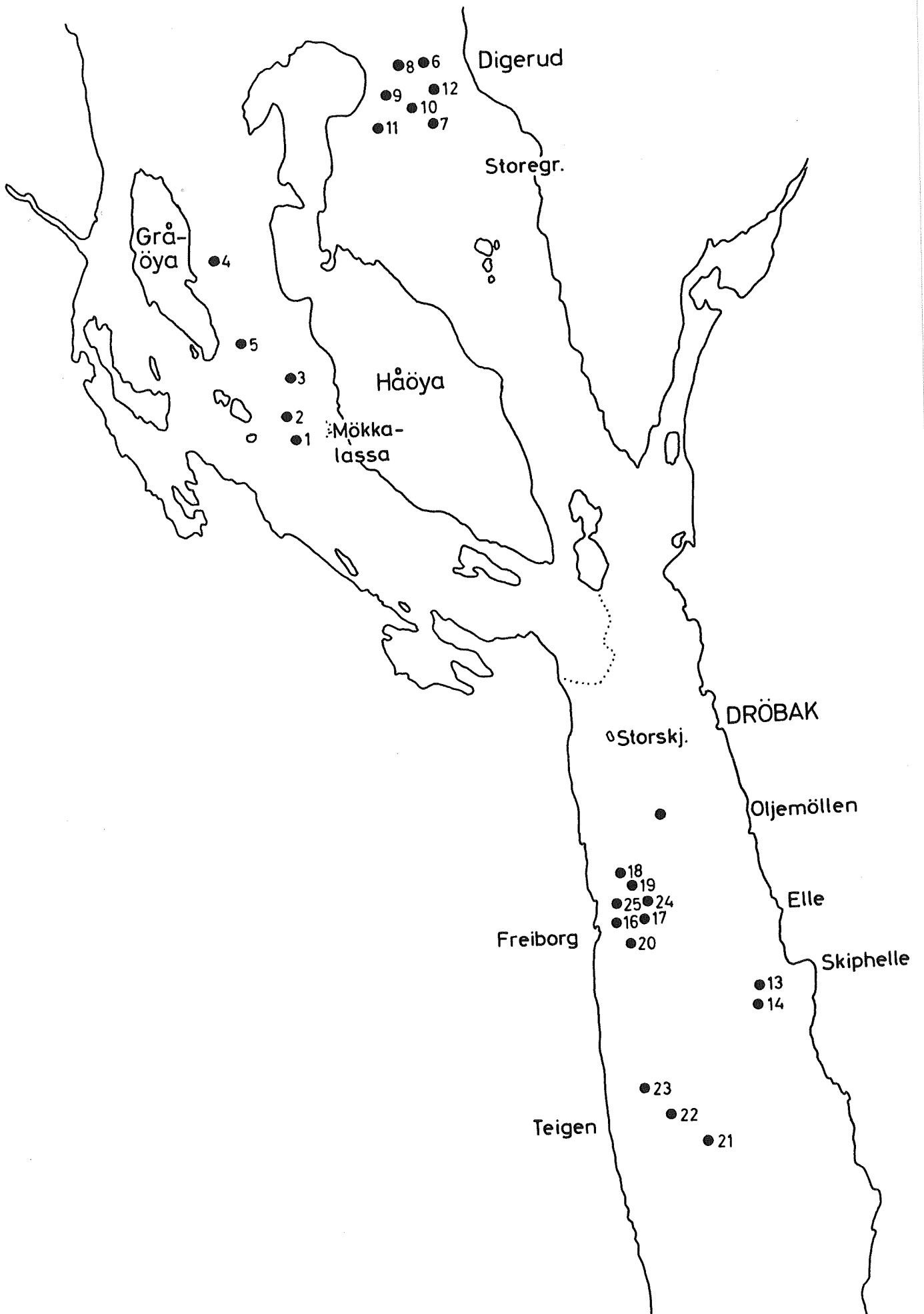


Fig. 29

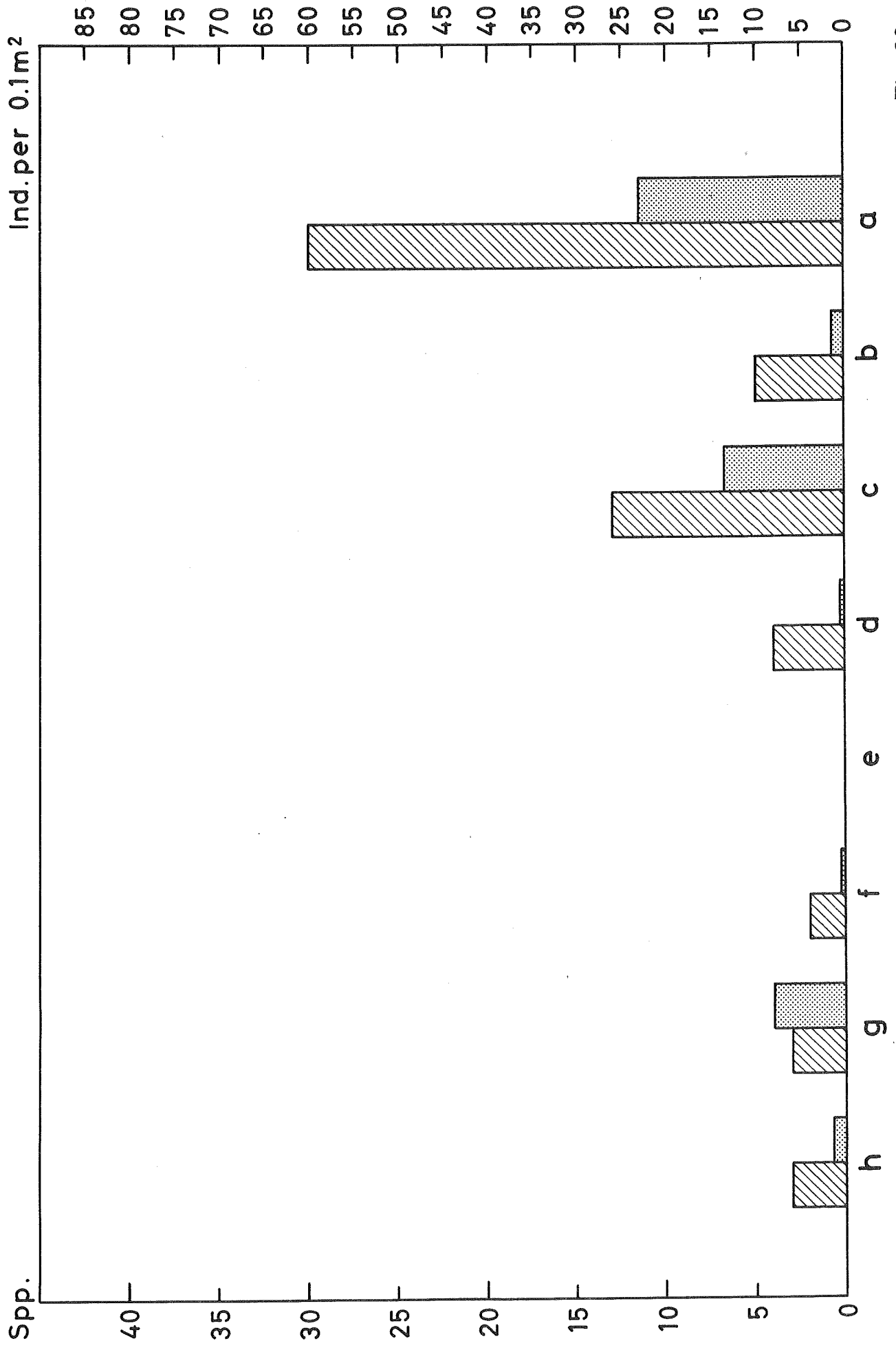


Fig. 30

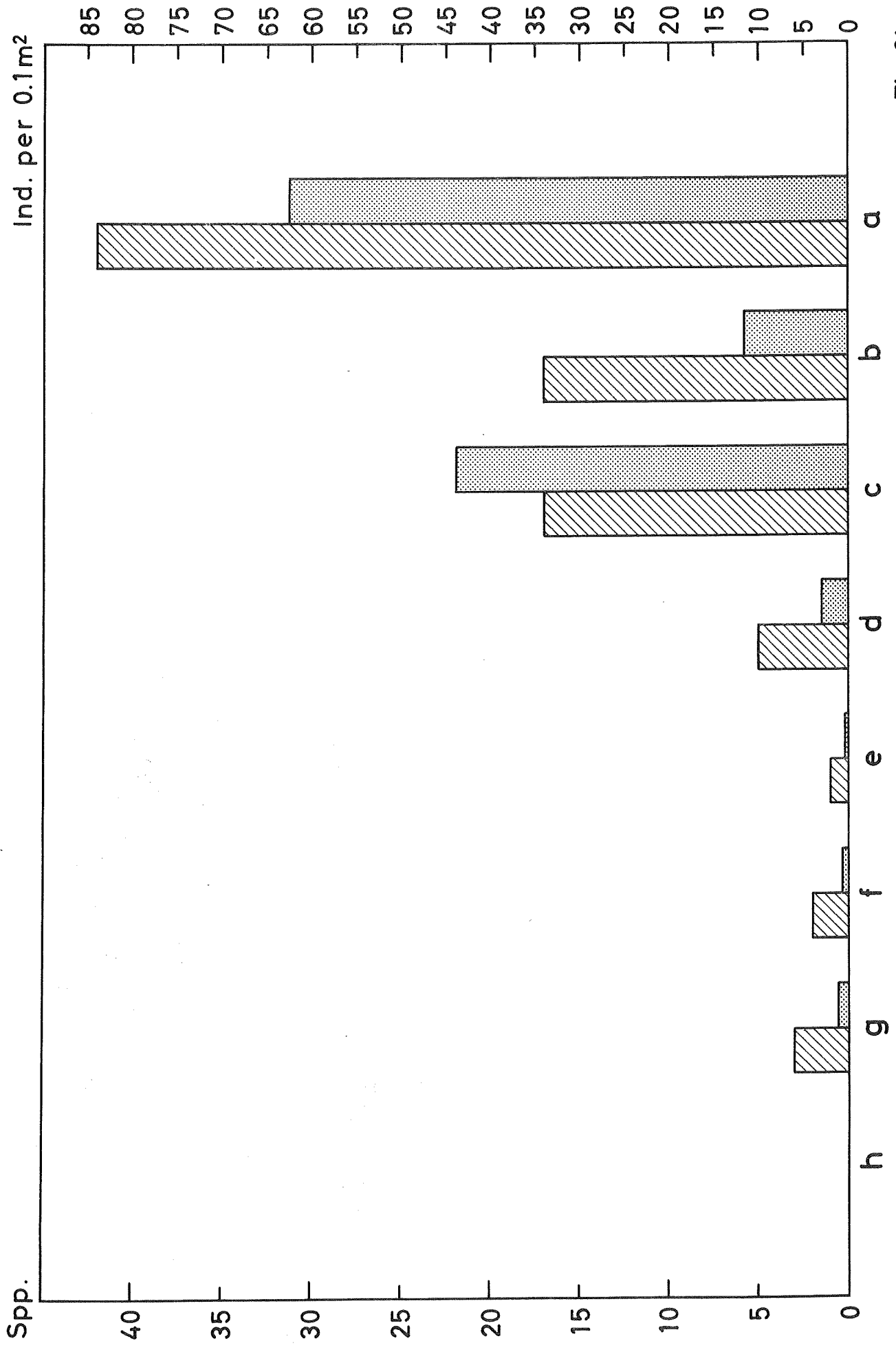
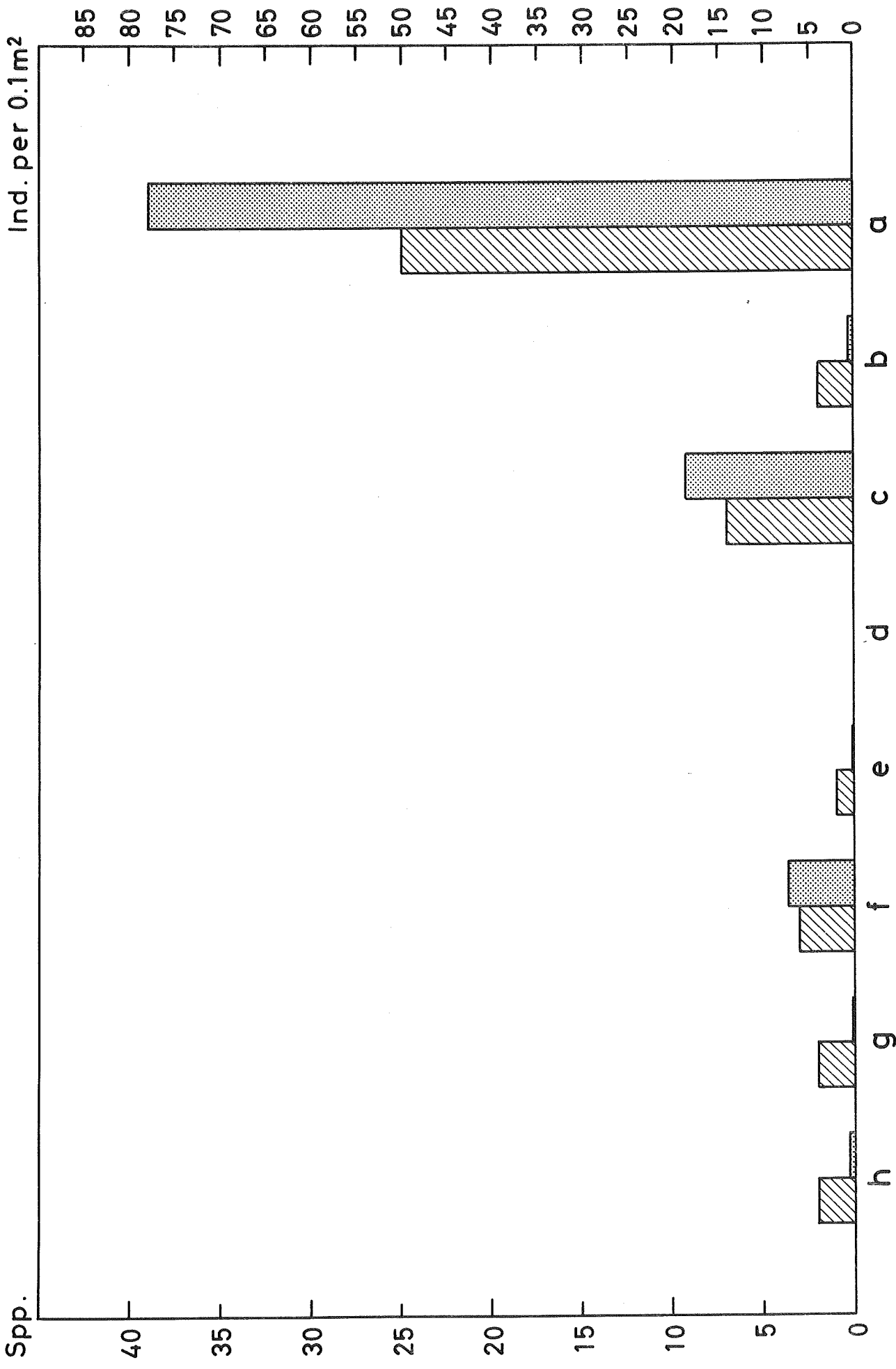


Fig. 31



Fig. 32



Spp.

Ind. per 0.1m²

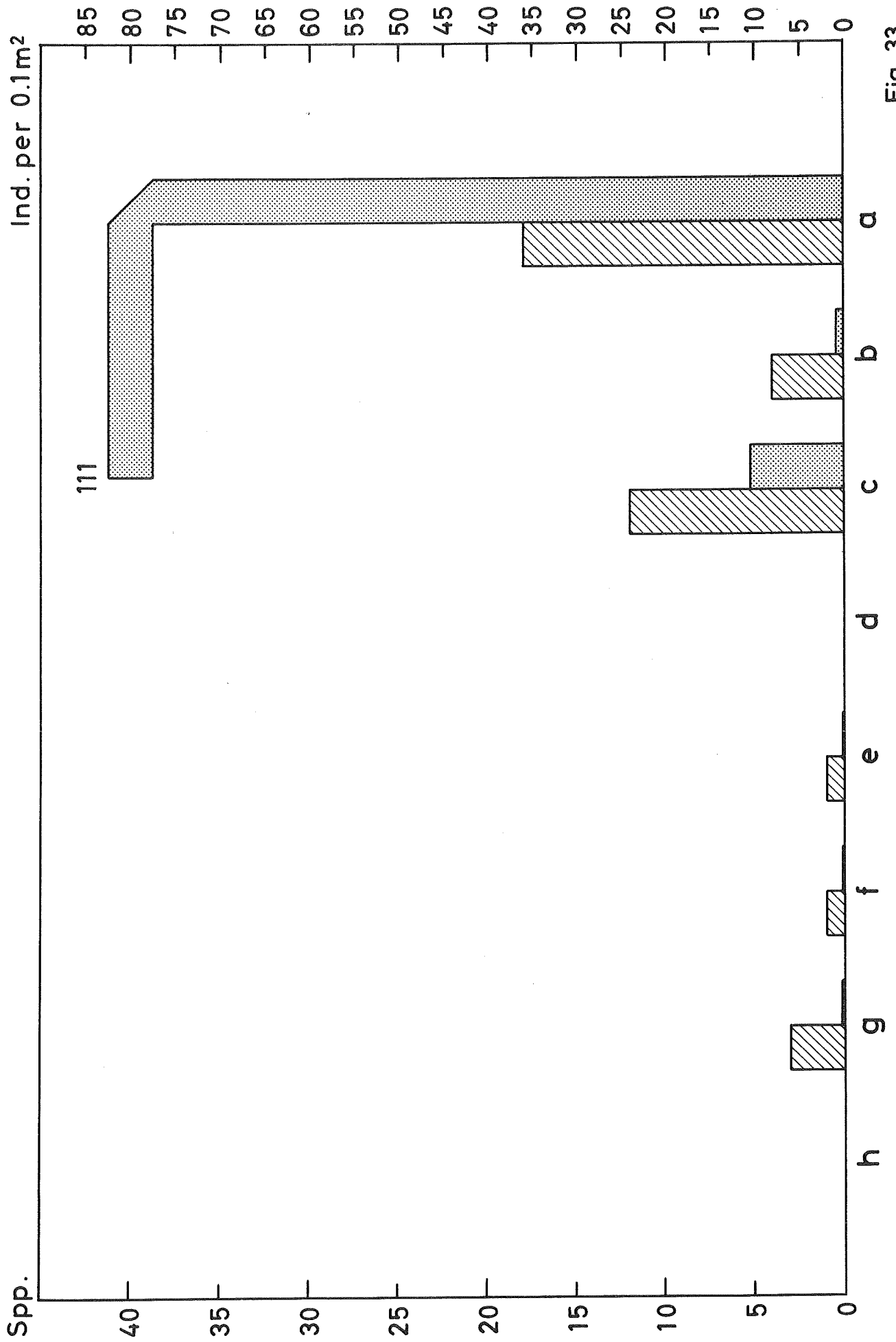


Fig. 33