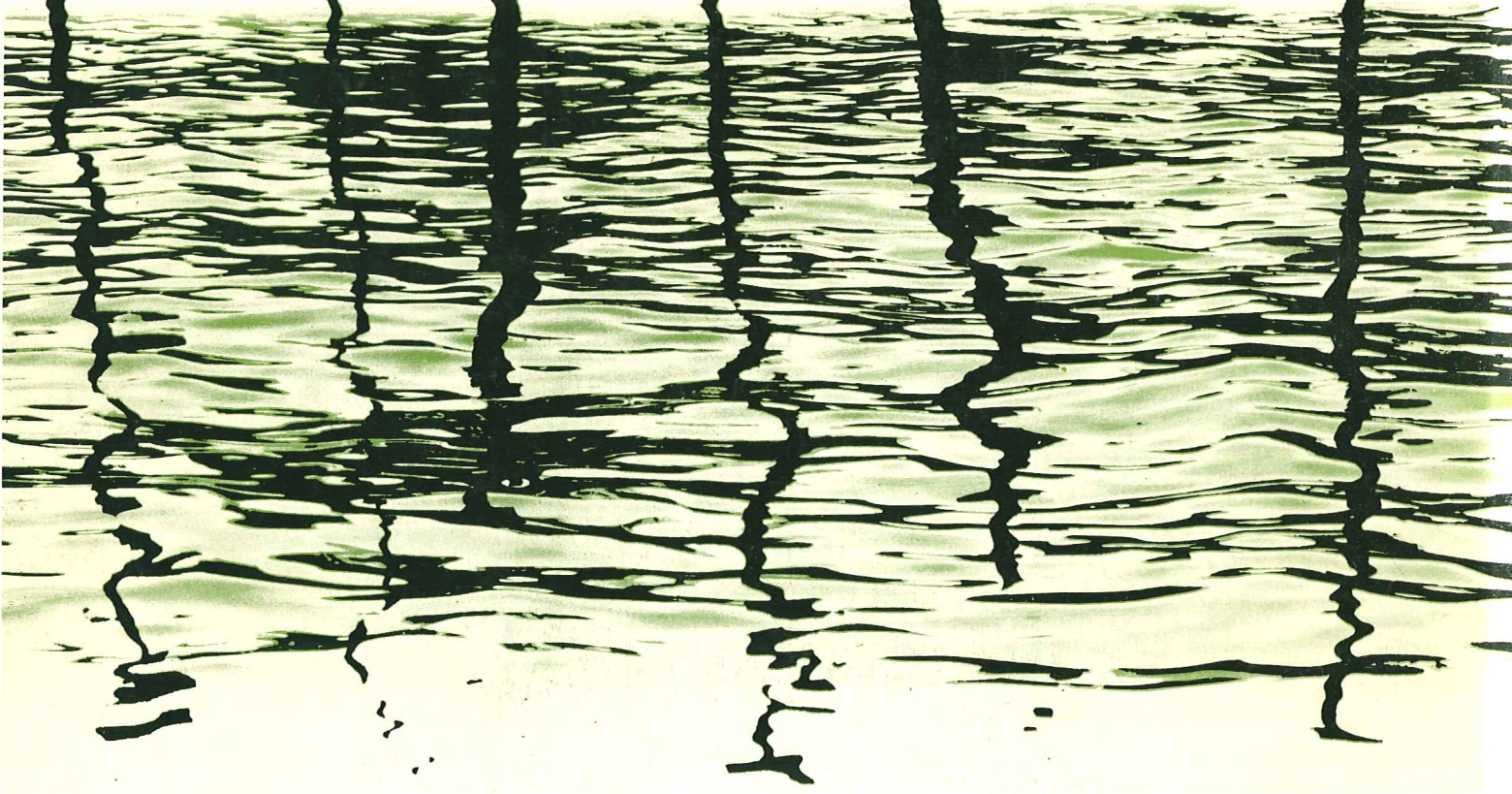


NORSK
INSTITUTT
FOR
VANNFORSKNING

OR-0191

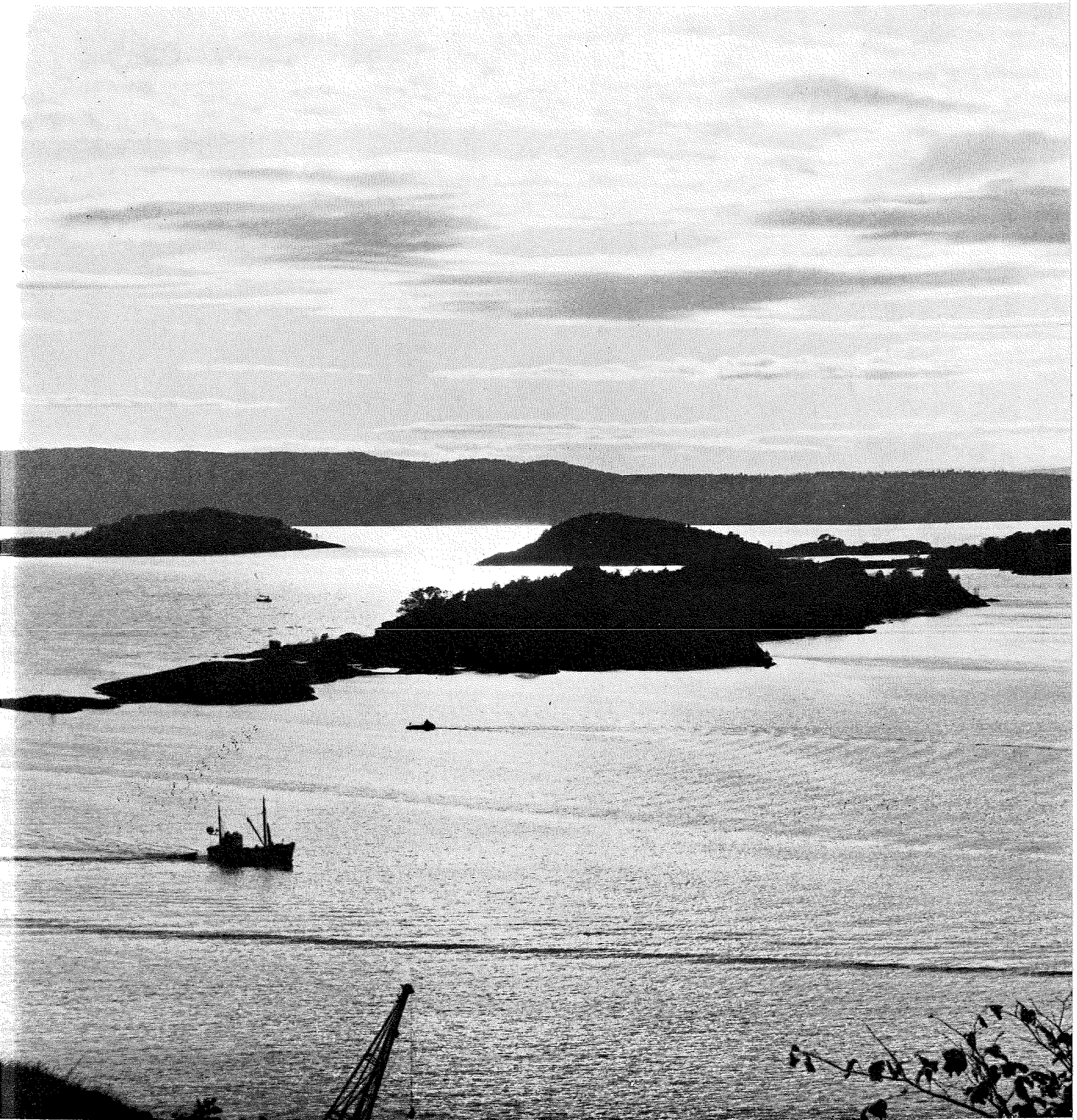


OSLOFJORDEN

og dens
forurensningsproblemer

Delrapporter

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



Oslofjorden og dens forurensningsproblemer

I. Undersøkelsen 1962–1965

SAMLERAPPORT REDIGERT AV INSTITUTTSJEF KJELL BAALSRUD

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING OSLO 1968

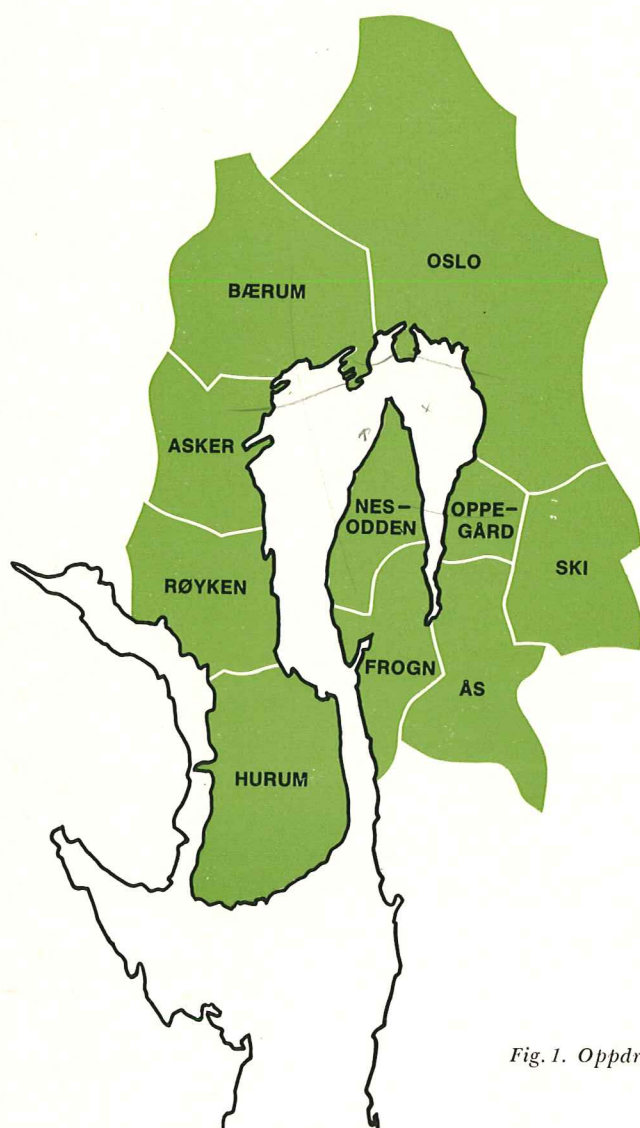


Fig. 1. Oppdragskommunene.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	6	KJEMI	37
INNLEDNING	11	TILFØRSLER OG MATERIALBALANSE	41
Oslofjordens forurensning og Oslofjordprosjektets opplegg	11	REKREASJONSKVALITET	44
ARBEIDSOPPLEGG OG GJENNOMFØRING	13	Rekreasjonsulempenes årsaker	44
Oseanografisk feltarbeid	13	Mulige botemidler	46
Bearbeidelse av det oseanografiske materiale	14	Helsemessige forhold	46
Eksperimentelt biologisk arbeid	17	FJORDENS TILSTAND FØR OG NÅ	48
Målinger av ferskvannstilførsler	17	SAMMENFATTENDE VURDERINGER	51
Rapporter	17	Innledning	51
Kontakter	17	Naturvitenskapelige resultater	52
STRØMMER OG VANNUTSKIFTNING	18	Generelt	52
Hydrografiske betingelser	18	Overflatelagets utskiftningsmekanismer	52
Vertikaldiffusjon i dypvannet	18	Dyplagens utskiftningsmekanismer	53
Dypvannsinnstrømninger	21	Tilførslenes fordeling i overflatelag og dyplag	54
Diffusiv utveksling i topplaget. Tidevann	21	Sanerende tiltak	55
Estuarin sirkulasjon	22	Generelt	55
Vinddreven sirkulasjon	22	Reduksjon av overflatelagets produktivitet	55
BIOLOGI	26	Sikring av dyplagens oksygenforsyning	56
Fastsittende alger	27	Bekjempelse av drivgods og annet overflatemateriale	57
Planteplankton	27	Andre tiltak	57
Dyreplankton	30	Tekniske tiltak på kortere sikt	58
Bunnfauna	31	Videregående vurderinger	60
Fisk	34	HOVEDKONKLUSJONER	62
Laboratorieforsøk	35		
		DELRAPPORTOVERSIKT	2. omslagsside
		PROSJEKTETS OPPBYGNING OG DETS	
		MEDARBEIDERE	3. omslagsside

FIGURFORTEGNELSE

Fig. 1 Oppdragskommunene	4	Fig. 17 Utbredelsen av områder med råttne bunn i 1938, 1962	
» 2 Bunnprofil	8	og 1965	32
» 3 Oslofjorden	9	» 18 Sedimentkjerner som viser børstemakk og ekskrementer	33
» 4 Indre fjord	10	» 19 Forskjellige typer av sedimentkjerner	33
» 5 F/F «Gunnar Knudsen»	13	» 20 Gjødslingspåvirkning av fjordvannet	36
» 6 F/F «H. H. Gran»	13	» 21 Akkumulasjon av ortofosfat i Bunnefjorden	38
» 7 Stasjonsnett for de fysiske og kjemiske hovedmålinger	15	» 22 Oksygenforholdene. Utviklingen i dyplagene fra år til år i perioden 1962–1965	39
» 8 Parameteroversikt for de fysiske og kjemiske hovedmålinger	16	» 23 Nedbørfeltet til indre Oslofjord	40
» 9 Midlere årstidsvariasjoner i hovedbassengene	19	» 24 Midlere ferskvannsavrenning til indre Oslofjord	42
» 10 Utskiftningsprosessene i dypvannet	20	» 25 Indre fjords tilførselsbelastning	43
» 11 Vindfordelingen på Fornebu i 1965	23	» 26 Siktedypet den 17. august 1965	45
» 12 Vindens innflytelse på brakkvannslaget om sommeren	25	» 27 Siktedypets avhengighet av turbiditeten	47
» 13 Utbredelseskart for 4 arter av fastsittende alger	27	» 28 Modell av kalkflagellaten <i>Coccolithus huxleyi</i>	49
» 14 Vegetasjonsprofiler	28–29	» 29 De viktigste terskler og bassenger	50
» 15 Utbredelseskart for enkeltarter av planteplankton	30		
» 16 Faunaprøver innsamlet med bunnslede	32		

FORORD

En omfattende undersøkelse av forurensningssituasjonen i indre Oslofjord er blitt foretatt i årene 1962—1966. Arbeidet har vært utført som et oppdrag ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Etter anmodning fra teknisk rådmann i Oslo kommune utarbeidet instituttet i 1961 et forslag til arbeidsprogram med omkostningsoverslag. Det ble etter avtale oversendt Oslo og Bærum kommuner, og formannskapene godtok programmet, som med små endringer er blitt fulgt. Kontakten om prosjektet har i første omgang vært med teknisk rådmann Paul Grøstad, Oslo kommune og teknisk rådmann Anton Getz, Bærum kommune. På deres råd garanterte Oslo og Bærum kommuner for de anslåtte omkostninger ved hele prosjektet. Senere er prosjektet blitt tiltrådt av de andre 8 kommuner rundt indre Oslofjord: Hurum, Røyken, Asker, Oppegård, Ski, Ås, Nesodden og Frogn. Det er grunn til å fremheve at arbeidsprogram og budsjettforslag ble godtatt fullt ut, uten endringer eller avkortninger. Vi takker de deltakende kommuner, med Oslo og Bærum i spissen, for den tillit de har vist instituttet.

Oppgaven var så vanskelig og omfattende at instituttet ønsket å knytte landets fremste spesialister på de aktuelle fagområder som medarbeidere til prosjektet. Professorene Trygve Braarud, Ernst Føyn, Håkon Mosby og Johan T. Ruud ble anmodet om å danne et rådgivende utvalg for det naturvitenskapelige arbeid. I tiden 1962—1967 har dette utvalg, sammen med prosjektets øvrige medarbeidere, hatt en rekke møter av 1—2 dagers varighet, hvor prosjektets opplegg, gjennomføring og resultater er blitt diskutert.

Oslofjordprosjektet har ikke bare vært et arbeid av usedvanlige dimensjoner, også etter internasjonal målestokk, men det har i sjelden grad vært preget av samarbeid, hvor vitenskapsmenn fra universitetene i Oslo og Bergen, sammen med NIVA's personale, har deltatt i et forskningsprosjekt med praktisk siktepunkt.

Det er en glede å rette en samlet takk til prosjektets universitetsforbindelser for den helhjertede innsats som er ytet. Selv om oppgaven har ligget innenfor universitetsinstituttene arbeidsområder, har prosjektets størrelse og faste opplegg nødvendigvis satt store krav, som er kommet i tillegg til de ekstraordinære oppgaver som har påhvilt universitetene i en omleggings- og ekspansjonsfase med sterkt økende studenttall.

Det er en almen erfaring at det tar lang tid å bearbeide materiale som er bragt til veie ved store naturvitenskapelige feltundersøkelser. Det er ved disse undersøkelsene frembragt et så omfattende materiale at det vil ta mange år å få det tilfredsstillende vitenskapelig gjennomarbeidet. Innenfor rammen av oppdraget har det imidlertid i første omgang vært viktig å sammenstille, så raskt som mulig, de resultater som trenges for den praktiske viderebehandling av Oslofjordproblemet.

Som et resultat av Oslofjordprosjektet er det utarbeidet 20 delrapporter. De inneholder resultater og synspunkter som har vært gjenstand for inngående diskusjon, men hver delrapport er i sin form og innhold et resultat av de enkelte forfatteres arbeid. Basert på delrapportene har instituttet utarbeidet denne samlerapport, som nødvendigvis må gi en sterkt forenklet fremstilling av det omfattende materiale som er behandlet i delrapportene. Samlerapporten er nøye diskutert med alle prosjektets medarbeidere.

En videre bearbeidelse av Oslofjordproblemet er allerede godtatt av Oslo og Bærum kommuner. Den vil hovedsakelig bestå i tekniske vurderinger av de tiltak som det ifølge denne rapport er aktuelt å behandle videre. NIVA er ansvarlig også for det fortsatte arbeid som allerede er i gang.

Til slutt en hjertelig takk til prosjektets administrative leder, siv.ing. Hans Munthe-Kaas, og samtlige vitenskapelige deltakere.

Oslo, 12. juni 1967.

Kjell Baalsrud.

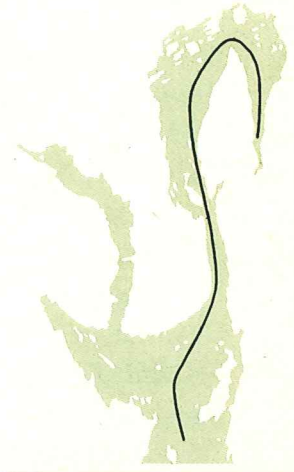
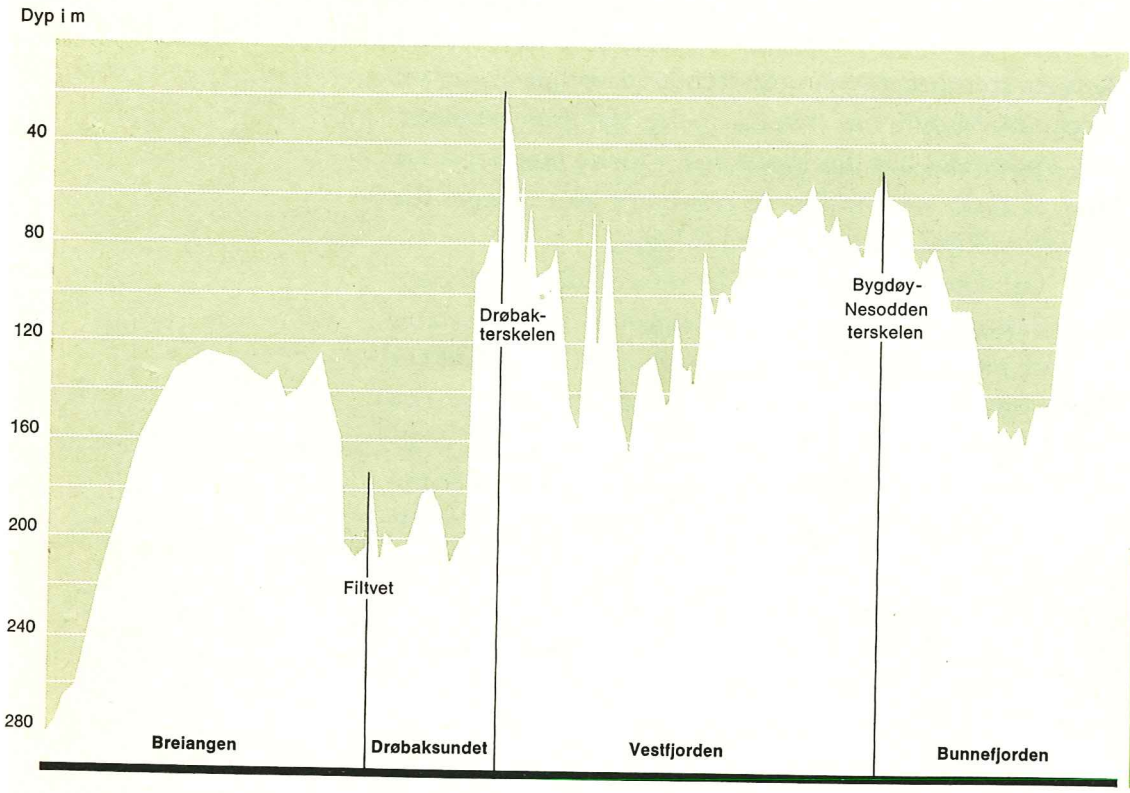


Fig. 2. Bunnprofil.
 Linjen over viser profilens beliggenhet i fjorden. I selve snittet er den horisontale målestokk ca. 200 ganger mindre enn den vertikale.

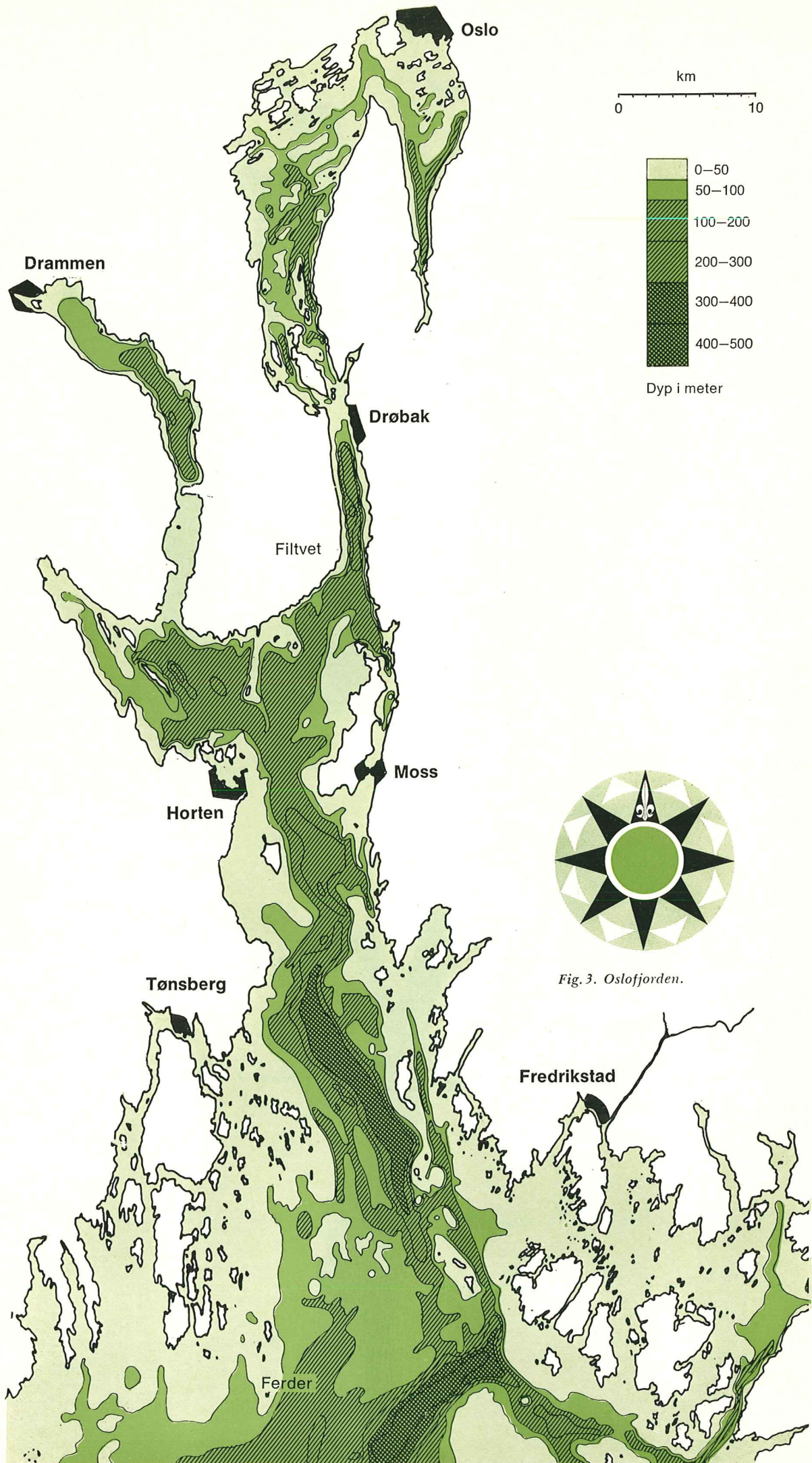


Fig. 3. Oslofjorden.

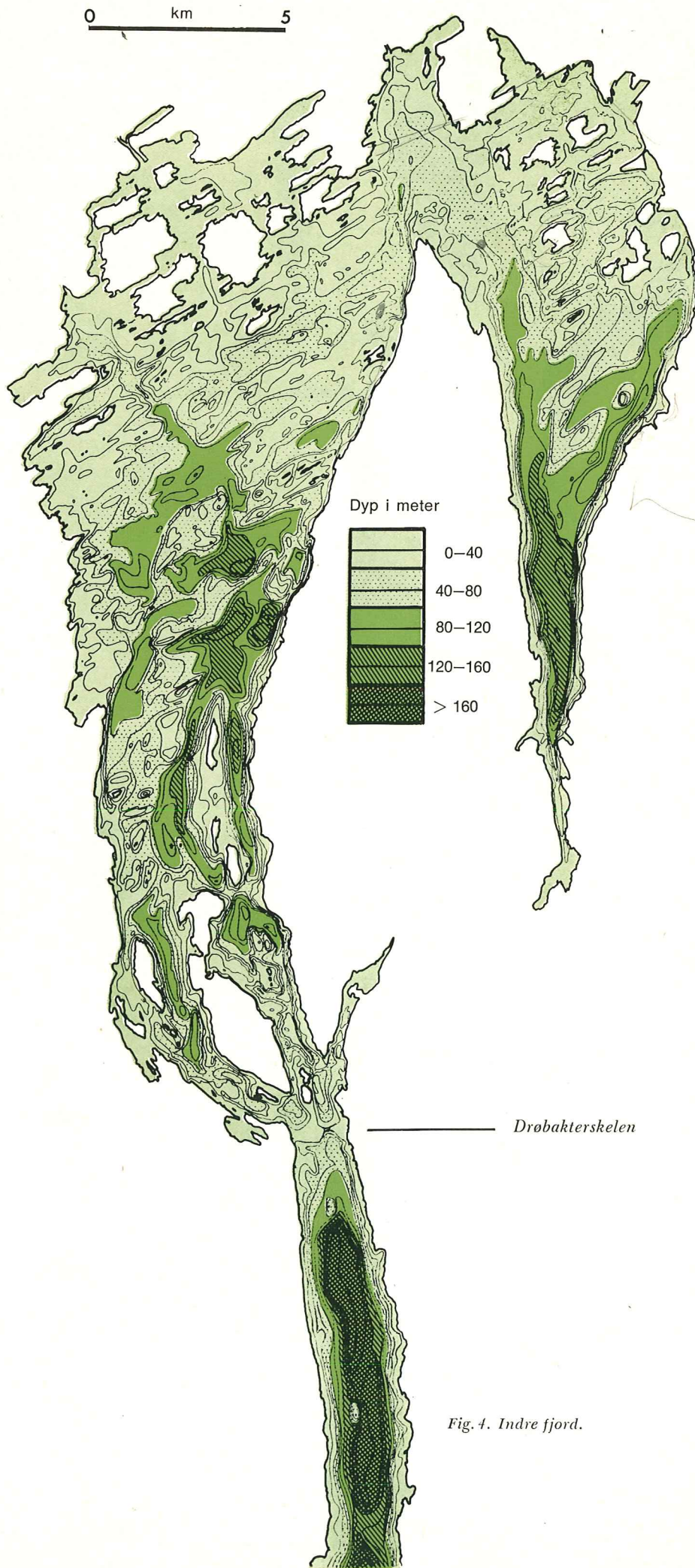


Fig. 4. Indre fjord.

INNLEDNING

OSLOFJORDENS FORURENSNING OG OSLOFJORDPROSJEKTETS OPPLEGG

Forurensningen av Oslofjorden er blitt et begrep som har opptatt folk i Oslo-regionen sterkt, særlig i de senere år. Den indre del av Oslofjorden, det vil si innenfor Drøbakerskelen (fig. 4), har vært utsatt for en stadig stigende påvirkning. Denne har i alle fall siden århundreskiftet gradvis ført til så påtakelige endringer at det er oppstått skadevirkninger av forskjellig slag.

Lokale forurensningsulemper meldte seg tidlig, særlig i de innerste vikene. Forholdene i Bjørvika, Piperikilen, Frognerkilen og senere Bestumkilen og Holtekilen ble slik at områdene mistet sin aktualitet som friluft- og badesteder. Tidlig i dette århundre ble vannklosettet innført i Oslo. Senere har antall installasjoner av vannklosetter og andre sanitære innretninger steget meget raskt, samtidig som befolkning og antall leiligheter har øket. Industriutbyggingen i Oslo har også hatt et betydelig omfang og har bidratt til forurensningssituasjonen.

Det var vitenskapsmenn som først oppdaget at også de store vannmasser i hele den indre Oslofjord begynte å bli merkbart forurenset. Dette fremgår blant annet av vitenskapelige artikler av Hjalmar Broch (1936), Trygve Braarud og Johan T. Ruud (1937), Trygve Braarud og Adam Bursa (1939) og Trygve Braarud (1945).

I årene etter siste krig syntes forholdene å forverre seg ytterligere, og vitenskapelige undersøkelser, utført av Fredrik Beyer og Ernst Føyn ved Universitetet i Oslo i årene 1946 til 1950, viste at drastiske endringer hadde foregått i de dypere vannlag i fjorden. I 1953 oversendte professorene Trygve Braarud og Johan T. Ruud et promemoria om situasjonen til teknisk rådmann i Oslo, der de ga en summarisk fremstilling av forurensningen av Oslofjorden sett fra marinbiologisk synspunkt. I et foredrag som professor Trygve Braarud holdt i Polyteknisk Forening i 1954 understreket han de konsekvenser som utnyttelsen av Oslofjorden som resipient måtte få, og nødvendigheten av at det ble sørget for at utviklingen i fjorden ble fulgt ved regelmessige observasjoner. Diskusjonen om forurensningsproblemene tiltok ytterligere i etterfølgende år.

En lang rekke foreninger og institusjoner nedsatte i 1954 et «Aksjonsutvalg mot Oslofjordens forurensning», som med godt resultat drev opplysningsvirksomhet med slagord som «Oslofjorden er ingen søppel-

kasse» og «Hold Oslofjorden ren». Utvalget konsentrerte oppmerksomheten om søppel og skrot, som publikum kastet på sjøen og som lå igjen på stranden, men de pekte også på det alvorlige problem som kloakkutslippene representerte.

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd nedsatte i 1955 et «Utvalg for vannrensing» (det senere Norsk institutt for vannforskning, NIVA). Medlem av utvalget, vannverkssjef S. Bechholm, tok allerede i 1955 opp spørsmålet om utvalget kunne vurdere forholdene i Oslofjorden. Mangelen på fagfolk og erfaring gjorde det umulig for utvalget å påta seg en oppgave som var så stor og av så komplisert natur.

I 1960 rettet teknisk rådmann i Oslo en forespørsel til NIVA om instituttet kunne legge frem et forslag til vurdering av Oslofjordens forurensning. Instituttet, som ble opprettet i 1958, hadde i 1960 utvidet sin virksomhet betydelig. Instituttets styre fant at NIVA burde påta seg ansvaret som den sentrale institusjon, hvis det skulle utføres en bred undersøkelse av Oslofjordproblemet med praktisk siktepunkt. Instituttet foreslo i 1960 for Oslo kommune at visse forundersøkelser skulle utføres i forbindelse med utarbeidelsen av programmet. Den 13/12 1961 kunne et program for undersøkelse av Oslofjordens forurensning legges frem for Oslo og Bærum kommuner. Formannskapene i disse kommuner godtok programmet og garanterte for de samlede omkostninger, som da ble anslått til 1,9 millioner kroner for et arbeid som skulle strekke seg over 5 år fra 1962–1966.

De andre 8 kommuner som kloakkmessig sokner til indre Oslofjord: Hurum, Røyken, Asker, Oppegård, Ski, Ås, Nesodden og Frogn har senere tiltrådt prosjektet etter å være forespurt gjennom Regionplankomiteen for Oslo-området. (Fig. 1).

I løpet av prosjektperioden viste det seg imidlertid at den opprinnelige omkostningsramme ble for snau. Det skyldtes først og fremst lønns- og prisstigningen gjennom perioden, men også at undersøkelsene av de hydrografiske forhold måtte utvides. Det ble dessuten uforutsette meromkostninger, fordi det viste seg å innebære forskningsmessige fordeler å ta i bruk elektronisk databehandling. Derved ble omkostningsoverslaget øket til 2,8 mill. kroner. Dette ble forelagt for initiativkommunene, Oslo og Bærum, i en oversendelse av

5/4 1965 og de godtok den økonomiske utvidelsen. Senere er utvidelsen blitt forelagt de 8 andre deltakerkommuner til behandling.

Undersøkelsen av Oslofjorden representerte et så stort prosjekt at instituttet ansatte en egen administrativ leder, siv.ing. Hans Munthe-Kaas, som tiltrådte 1/1 1962. En oversikt over prosjektets oppbygning og dets medarbeidere er vist på 3. omslagsside.

Prosjektets klare målsetting har vært å skaffe resultater som kan danne utgangspunkt for tekniske tiltak mot den stigende forurensning. Hovedoppgaven var derfor ikke å beskrive forurensningssituasjonen i seg selv, men å finne frem til forholdet mellom forurensningstilførsler og forurensningsvirkning, forstå innflytelsen av vannutskiftning og andre ytre faktorer, og å vurdere forurensningens forskjellige skadevirkninger. Det var også viktig å gjennomføre undersøkelsen på en slik måte at det ved liknende undersøkelser i fremtiden kunne bli foretatt en vurdering av endringer i god eller dårlig retning.

Det var helt på det rene at det ikke var mulig å legge opp et skreddersydd undersøkelsesprogram som med sikkerhet kunne gi de ønskede informasjonen. Det ble derfor, som ved andre tilsvarende store prosjekter, lagt opp et så bredt program at det ga rimelig sikkerhet for at forhold som kunne få betydning for de endelige vurderinger ble tatt med. Det brede spektrum av undersøkelsesmåter og observasjoner som inngikk i prosjektet, hadde betydelige konsekvenser for omfanget av det praktiske arbeid som til enhver tid måtte utføres, og for den kompliserte databehandling som senere viste seg å bli nødvendig.

Den usikkerhet ved opplegget som man sto overfor, er karakteristisk for situasjoner hvor man tar sikte på å basere praktiske tiltak på observasjoner og vurderinger av kompliserte naturfenomener. Det er overveiende sannsynlig at når man med årene får erfaringer fra flere liknende omfattende undersøkelser, vil man stå vesentlig bedre rustet til å legge opp enklere og mer effektive undersøkelsesprogrammer.

Det er grunn til å understreke at et prosjekt som dette er avhengig av de vitenskapelige erkjennelser på de tilhørende fagområder, og at det i de forskjellige oseanografiske disipliner for tiden foregår en sterk utvikling. Anvendt forskning kan utføres effektivt så lenge den kan dra nytte av vel gjennomarbeidede resultater fra den grunnleggende forskning. Men i stigende grad viser det seg ved slike prosjekter at også den grunnleggende forskning må bringes fremover, om det skal oppnås gode resultater på de anvendte forskningsområder.

Oslofjordprosjektet har befunnet seg i denne situasjon hele tiden, idet det generelle vitenskapelige grunnlag for studiet av forurensningens virkninger i havet

og kystfarvann er utilstrekkelig. Spesielt gjelder det forståelsen av vannutskiftningsprosesser i fjorder og kystfarvann, hvor det har vist seg at den oseanografiske vitenskap ikke hadde tilstrekkelige resultater å bygge på. Men også på det biologiske felt er det en åpenbar mangel på kunnskap om forurensningens virkning på de forskjellige organismer.

I denne forbindelse er det viktig å vurdere Oslofjordprosjektet i et internasjonalt perspektiv. De fleste større havnebyer har forurensningsproblemer av stor praktisk betydning. En rekke steder er det utført forskjellige rensiltak for å bedre på forholdene, og mange steder pågår det vitenskapelige undersøkelser med sikte på å komme frem til et bedre vurderingsgrunnlag. Det er å vente at en rekke viktige fellestrekk vil bli bragt frem på denne måten. Men samtidig må det understrekes at hver sjøvannsresipient har sitt særpreg som kan ha en dominerende innflytelse på forurensningens virkninger og være avgjørende for de praktiske vurderinger. Dette gjelder ikke minst for indre Oslofjord. Både den grunne terskel ved Drøbak med innenforliggende store dyp, den lille tidevannsforskjell og de små mengder ferskvann som tilføres, gjør at området skiller seg meget fra de fleste forurensede kystområder.

Under arbeidet har det vært bygget på andres erfaringer gjennom tilgjengelig faglitteratur og ved direkte kontakt med institusjoner som arbeider med tilsvarende problemer. Dette har vært til betydelig støtte for prosjektet.

Takket være de mangeårige undersøkelser utført ved Universitetet i Oslo, kan det sies at vi i mange år har kjent de kvalitative hovedtrekk i Oslofjordens naturforhold. For en praktisk vurdering av forurensningsforholdene måtte imidlertid også de kvantitative forhold bli klarlagt. Sterkt forenklet kan man derfor si at Oslofjordprosjektets primære oppgave har vært å føre frem til kvantitative oppfatninger av prosesser som man i grove trekk allerede kjente til.

Ved vurdering av praktiske tiltak mot forurensninger er det viktig å være klar over oppgavens spesielle natur. Som regel vil man måtte akseptere forurensningskilden, og søke å møte ulempene med motiltak som reduserer belastningen eller på annen måte bedre forholdene i resipienten. Det blir i slike tilfelle som regel aktuelt med relative forbedringer, og på en slik måte at det koster mer jo bedre resultater som ønskes. Den ingeniørmessige del av arbeidet vil sjelden ha en entydig målsetting, men vil gjelde vurdering av grader av forbedringer, basert på kvantitative beskrivelser av den eksisterende og den ønskede situasjon. Det er karakteristisk at de praktiske tiltakene ofte tilstreber prosentvise forbedringer og ikke vesensforskjellige tilstander.

ARBEIDSOPPLEGG OG GJENNOMFØRING

Oslofjordprosjektets hoveddel tok sikte på å utføre en bred, vitenskapelig beskrivelse av indre Oslofjord. Beskrivelsen skulle omfatte vannmassene i fjorden, påvirkningen fra elvevann og kloakkvann og vannutvekslingen med ytre Oslofjord og havet utenfor. Gjennom en klarlegging av forurensningens årsaker og virkninger, skulle det skaffes grunnlag for vurdering av tiltak som kunne bedre forholdene. Beskrivelsen skulle gjelde de øvre vannlag og dypvannet i de forskjellige bassengavsnett i indre Oslofjord. Ferskvannstilførsel nedsetter saliniteten i overflatelagene, så disse blir lettere enn de dypere lag, og dette forhold aksentueres når de øvre lag blir oppvarmet. På den måten blir det hele året en lagdeling, med et øvre lag med lettere vann over det tyngre, dypere vannlag. I en slik situasjon sier man at vannmassene har stor stabilitet. Det foregår stadig horisontale strømminger innen lagene og en sterkt begrenset vannutveksling mellom lagene (vertikaldiffusjon). Arbeidet skulle ta sikte på å beskrive disse prosesser kvantitativt. Videre skulle de biologiske forhold langs bunnen, i strandsonen og i de frie vannmasser beskrives. Denne biologiske beskrivelse skulle omfatte både planter og dyr. De kjemiske forhold, spesielt oksygenforholdene, skulle vurderes nøye, dels som et ledd i de hydrografiske vurderinger, dels for å supplere de biologiske iakttagelser og dels som en ren beskrivelse av vannets egenskaper med henblikk på betydningen for den biologiske aktivitet.

Tilstanden i indre Oslofjord er til enhver tid et resultat av en rekke enkeltprosesser. Prosjektets mest sentrale oppgave har derfor vært å finne frem til forståelse av de viktigste fysiske, kjemiske og biologiske prosesser og samspillet mellom dem.



Fig. 5. F/F «Gunnar Knudsen».



Fig. 6. F/F «H. H. Gran».

Gjennom en slik klarlegging av årsak og virkning kunne det skapes en reell mulighet for å forstå fjordens egenskaper som resipient, noe som er nødvendig for å tilrettelegge tiltak som kan forhindre uheldige utviklingstendenser, og om mulig bedre de nåværende forhold.

Beskrivelsen måtte ta hensyn til at det har foregått en gradvis utvikling fra en opprinnelig naturtilstand mot en tydelig forurenset tilstand i fjorden.

Den nåværende tilstand skulle søkes sammenliknet med forholdene før i tiden. I tidshistorisk perspektiv vil resultatene av denne undersøkelsen få spesiell verdi som sammenlikningsgrunnlag for fremtidige undersøkelser, når den fortsatte utvikling skal vurderes.

OSEANOGRAFISK FELTARBEID

Den sentrale del av Oslofjordprosjektet har falt under det oseanografiske fagområdet. Naturlig nok var det tidligere Universitetet i Oslo som først og fremst interesserte seg for de spesielle forhold som Oslofjorden frembyr. Ved dets biologiske institutter har det gjennom mer enn 100 år vært utført vitenskapelige målinger i de enkelte deler av Oslofjordområdet. Oslofjordprosjektet hadde et godt startgrunnlag ved at det kunne bygge videre på det rikholdige erfaringsmateriale som på denne måten har vært samlet ved undersøkelsene, finansiert ved universitetsmidler og ved bidrag fra spesielle legater. Som et ledd i Universitetets arbeid, har det vært i drift en biologisk stasjon i Drøbak siden 1894, og Universitetet har nå to mindre forskningsfartøyer for sine arbeider. Bare det ene av disse, «Gunnar Knudsen», (fig. 5) har hatt utstyr og

mannskap for relativt omfattende toktprogram i Oslofjorden.

Oslofjordprosjektet har tatt sikte på registrering og vurdering av fysiske, kjemiske og biologiske forhold i vannmassene. Selv om problemstillingen omfatter indre fjord, var det også nødvendig å skaffe en rekke data om forholdene utenfor Drøbakterskelen. Det var videre klart at undersøkelsesprogrammet ikke kunne gjennomføres med det utstyr og med de båter som Universitetet disponerte, da de måtte kunne disponeres for Universitetets eget forskningsarbeid og undervisning. Som et ledd i prosjektet ble det derfor avsatt midler til bygging av en båt. Forskningsfartøyet «H. H. Gran» (fig. 6) ble ferdig i februar 1963, og ble straks satt inn i det regulære toktarbeidet. Båten, som er tegnet av konstruktør Rich. Furuholmen, er 46 fot lang, har oppholdsrom forut, stort styrhus midtskips og et lavtliggende laboratorium med åpen arbeidscockpit akter. Den er beregnet for helårsdrift og kan navigere til de enkelte målepunkter i all slags vær. Det vitenskapelige utstyr ombord er moderne og spesielt tilpasset de krav et prosjekt av denne type setter. Båten har vist seg hensiktsmessig for fjordundersøkelser, og sammen med «Gunnar Knudsen» utgjør den et utmerket hjelpemiddel for undersøkelser i Oslofjorden. Dessuten har det vært gjort bruk av to mindre motorbåter.

Arbeidet har vært mangesidig, men hovedarbeidet har falt inn under følgende avsnitt:

Hydrografiske tokt. Ca. 60 hovedtokt er foretatt til 12 faste stasjoner i indre og midtre Oslofjord. (Fig. 7 A). Det har her vært utført målinger og prøvetakinger fra overflaten til bunnen. I 1964 og 1965 er det dessuten foretatt ca. 70 tokt til 4 av de samme stasjoner (nord i Bunnefjorden og Vestfjorden) med målinger ned til 100 m for å følge utviklingen i tidsrommene mellom hovedtoktene.

Et mindre antall observasjoner er utført langs 10 snitt tvers over fjorden for å lete etter eventuelle gradienter på tvers av fjordens lengderetning. (Fig. 7 B).

Overflatetokt. Disse har omfattet målinger og prøvetaking i overflaten på et stort antall steder, vesentlig i indre Oslofjord. 14 tokt er gjennomført, vesentlig om sommeren. (Fig. 7 C).

Biologiske tokt. Av disse har det vært en rekke forskjellige typer, alt etter de organismer som skulle samlles og den redskap som har vært brukt. Spesielle tokt har vært utført for å samle inn bunnsedimentprøver.

Strømmålinger har vært utført flere steder. Den største serien ble utført i Drøbaksundet med registrerende apparatur, mens de andre foregikk i indre Oslofjord og Breiangen ved hjelp av strømkors.

Ferder stasjon. I samarbeid med Fiskeridirektoratet er det opprettet en prøvetakingsstasjon på Ferder. Den kom i drift i januar 1964.

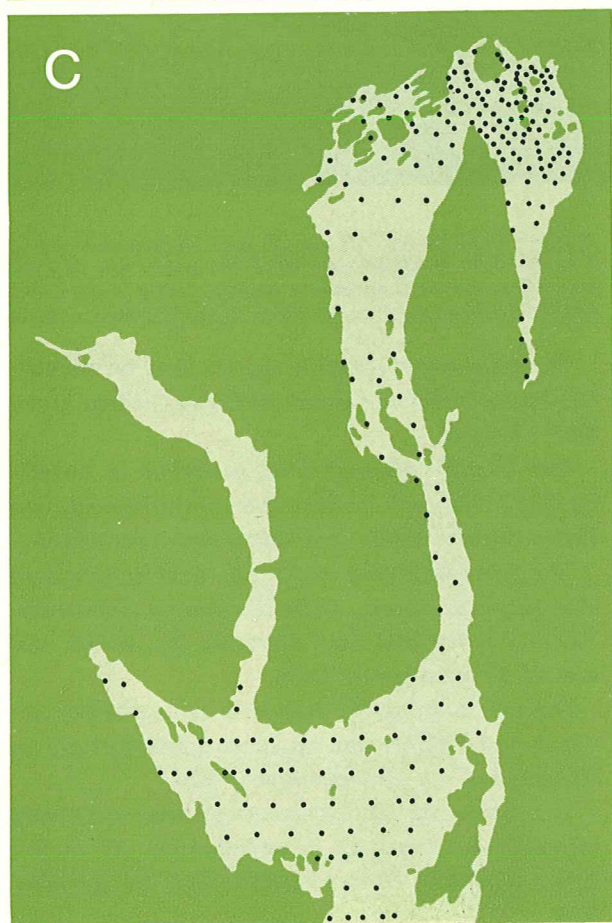
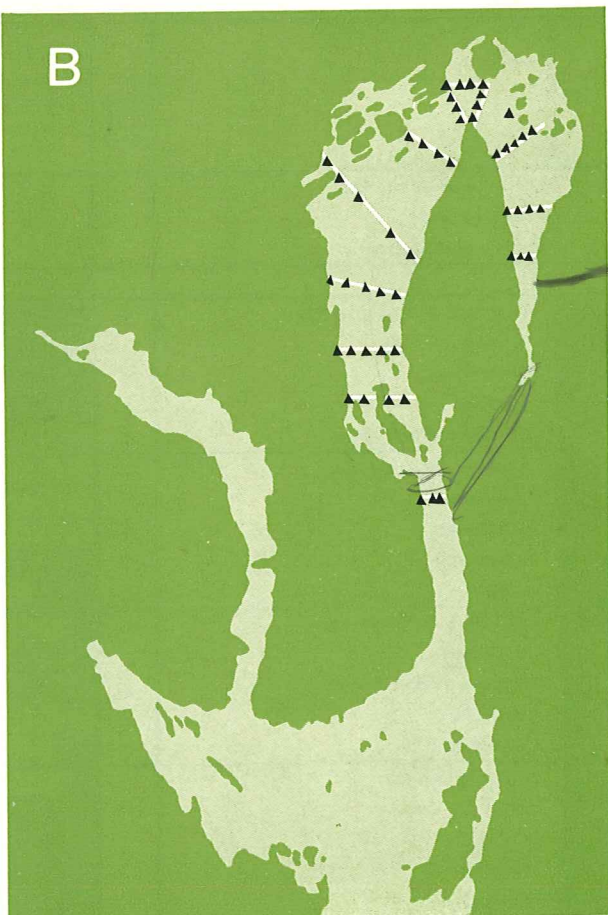
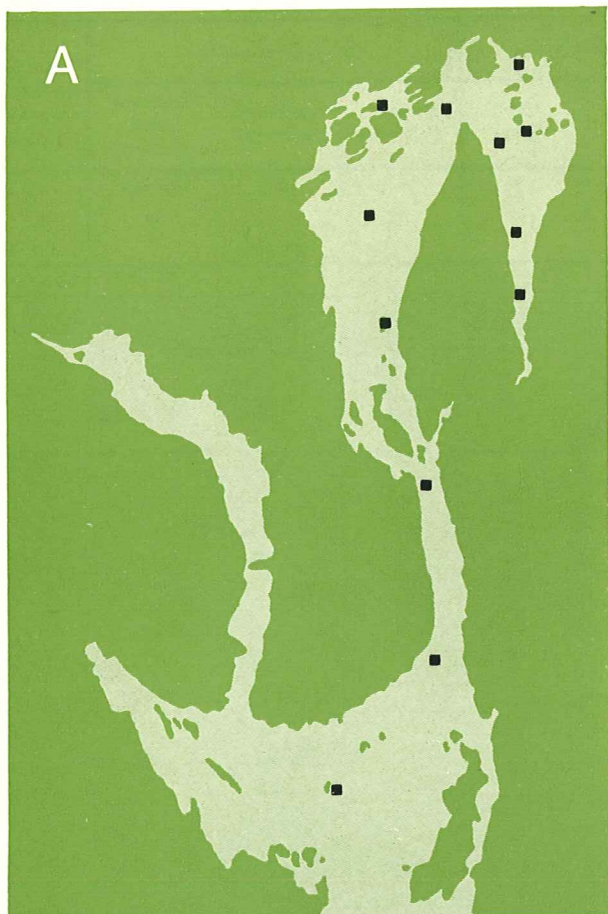
Det foregår en rask utvikling innen måleteknikken i den fysisk-kjemiske oseanografi, slik at det etter hvert er blitt mulig å utføre stadig flere målinger på stedet ved direkte avlesninger og ved registrering på papir eller lydbånd. I en viss utstrekning har denne metodikk vært anvendt på temperaturmålinger, salinitetsmålinger og transparensmålinger. Direkte målinger på hver stasjon har betydelige fordeler, ikke bare fordi det effektiviserer arbeidet, men også fordi man øyeblikkelig får informasjon om de hydrografiske forhold, og derved kan tilrettelegge feltarbeidet på stedet best mulig.

På den annen side har den direkte registrering visse svakheter, hvorav den viktigste er at analysenøyaktigheten er mindre god enn for de konvensjonelle metoder. Forskningsfartøyet «H. H. Gran» er utstyrt med et laboratorium som muliggjør at kjemiske analyser kan bli utført med en gang. Denne mulighet ble utnyttet ved spesielle anledninger, men stort sett ble laboratoriet bare brukt til forbehandling og konservering av prøver som senere ble bearbeidet og analysert i instituttets laboratorier.

Et stort antall egenskaper (parametre) er blitt undersøkt ved prøvene. (Fig. 8). Salinitetsbestemmelser ble utført ved Universitetet i Bergen, og de øvrige analyser er blitt utført i instituttets laboratorier. Analysenes nøyaktighet og reproducerbarhet er meget viktig og representerer ofte et vanskelig problem. I de aller fleste tilfelle var det ønskelig med en så nøyaktig bestemmelse av de enkelte egenskaper at det med sikkerhet kunne trekkes konklusjoner om gradienter i tid eller rom. På den annen side var analyseantallet ved prosjektet så stort at det hele måtte bearbeides rutinemessig, og dette tillot ikke individuell behandling av hver enkelt analyse. Ved analysebehandlingen og ved vurderingene av tallmaterialet etterpå er det blitt lagt spesiell vekt på beregning av analysenøyaktighet, og det er foretatt korreksjoner eller eliminasjoner av data der hvor det ble funnet nødvendig. Det store antall analyser medførte også at ikke alle kunne bli utført samtidig. Derfor var forbehandling og konservering av prøvene viktig. I løpet av prosjektet ble prøvetaking, forbehandling, konservering og analysering stadig forbedret, slik at observasjonene i prosjektets siste tid for en del parametre ble mer verdifulle enn i den første tid. For de biologiske prøvene satte økonomien en grense for hvor stor del av materialet som kunne bli undersøkt.

BEARBEIDELSE AV DET OSEANOGRAFISKE MATERIALE

De fysiske, kjemiske og biologiske undersøkelser har resultert i et omfattende tallmateriale. For mange formål kunne tallene vurderes direkte av de respektive saksbearbeidere, men for andre formål, spesielt ved



- A** Basisprogram hydrografi og kjemi
- B** Spesialprogram hydrografiske tverrsnitt
- C** Spesialprogram overflatelagets kvalitet



Fig. 7. Stasjonsnett for de fysiske og kjemiske hovedmålinger.

		Måledyp i sjøen	Basismåleserier				Spesialmåleserier			Kartlegging av tilførsler via vassdrag og kloakker
			Indre og midtre fjord		Ytre fjord	Raskere endringer	Tverrsnittsgradienter	Overflate-lagets egenskaper		
Antall stasjoner pr. tokt			9-15		1 (a)	1-4	52	70-150	14-28	
Antall tokt totalt			58		30	70		14		
Antall stasjonsbesøk							ca. 300		ca. 300	
År			62 63 64 65	62 63 64 65	62 63 64 65	62 63 64 65	62 63 64 65	62 63 64 65	62 63 64 65	
Direkte i vannmassene	Temperatur (høy presisjon)	c	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	
	—»—	d	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	
	Saltinnhold	d	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	
	Siktedyp	e	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	
I laboratoriet	Gjennomsommelighet	d	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●	
	Salinitet (høy presisjon)	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Oksygen	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Ortofosfat	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Totalfosfat	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Nitrat	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Bundet + fri ammonium	c	b b b							
	Totaljern	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Silisium (ikke-mineralsk)	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Turbiditet	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Filtratfarge	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	Lignosulfonsyre	c	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	○●○●○●○●	
	pH									
	Klorid									
	Alkalitet									
Asiditet										
Kjemisk oksygenforbruk										
Biokjemisk oksygenforbruk										
Sedimenterbare stoffer										
Tørrestoff (filtrat og filtrand)										
Gløderest (—»—)										
Vannføring										

Fig. 8. Parameteroversikt for de fysiske og kjemiske hovedmålinger.

I tillegg til disse parametre, som prosjektet selv har målt, er vind- og nedbørdata stilt til disposisjon av Meteorologisk Institutt og tidevanndata av Norges geografiske oppmåling.

a) Ved Ferder. b) Bare på noen få tokt. c) Standard måledyp 1, 4, 8, 12, 16, 20, 40, 60, 80, 120, 160 og 200 meter. Siste dyp på hver stasjon justert til ca. 5 meter over bunnen. d) Hver meter fra 0 til 25. Dypere hver 5. meter til ca. 100 meter. e) Sett fra båten ned i vannet.

vurderinger av vannutskiftning og beregning av middelverdier, var det nødvendig å ta i bruk mer avansert databehandlingsteknikk. Det ble derfor allerede høsten 1964 bestemt at alle fysiske og kjemiske tall skulle underkastes elektronisk databehandling. Dette har utvilsomt i betydelig grad øket verdien av det innsamlede materiale og muliggjort en del nøyaktige vurderinger som ellers ikke hadde latt seg utføre. På den annen side har det medført at prosjektets ramme økonomisk sett ble utvidet, og det har også tatt betydelig tid å få det varierte tallmaterialet inn på maskinene på en hensiktsmessig måte, og å programmere de forskjellige beregninger som det var ønskelig at maskinene skulle gjøre.

Det omfattende arbeid med bearbeidelse av det innsamlede materiale har foregått ved følgende institusjoner:

Det fysisk-oseanografiske materiale er bearbeidet ved Geofysisk Institutt's Oseanografiske avdeling, Universitetet i Bergen.

Det kjemisk-oseanografiske materiale er hovedsakelig bearbeidet ved Institutt for marin biologi, avd. C, Universitetet i Oslo, men delvis også ved NIVA.

Det marinbotaniske materiale, såvel av benthosalger som planteplankton, er bearbeidet av personale ved NIVA i samarbeid med Institutt for marin biologi, avd. B, Universitetet i Oslo.

Det marinzoologiske materiale er bearbeidet av personale ved NIVA i samarbeid med Institutt for marin biologi, avd. A, Universitetet i Oslo.

Det fysisk- og kjemisk-oseanografiske observasjonsmateriale har vært stilt til rådighet for alle medarbeidere i prosjektet og har vært utnyttet for spesielle formål.

EKSPERIMENTELT BIOLOGISK ARBEID

Selv om undersøkelsesprogrammet hovedsakelig har omfattet målinger i selve Oslofjorden, har det også vært utført et paralleltgående, laboratoriemessig forskningsarbeid. Det har vært utført en rekke vekstforsøk under laboratoriemessig kontrollerte betingelser med karakteristiske alger fra Oslofjorden. Dette har vært et ledd i en vurdering av hvor de vekstfrembringende stoffene kommer fra, og hvilke utslag de kan gi. Arbeidet bygger på erfaringer innhøstet ved instituttet gjennom seks år om bruk av algekulturmetsoden for ferskvanns- og sjøvannsforurensninger. Det foreligger ikke erfaringer fra andre institutter om bruk av denne metoden for kvantitative vurderinger av dette slag. Resultatene må derfor tolkes med forsiktighet.

MALINGER AV FERSKVANNSTILFØRSLER

En meget viktig del av arbeidet har bestått i å måle tilførsler til indre Oslofjord. For dette formål ble det tatt spesiell kontakt med Oslo kommune, og i samarbeid med kommunen opprettet 14 målestasjoner i kloakkavløp og hovedelver som løper til Oslofjorden. I Bærum ble det likeens benyttet to målestasjoner som kommunen hadde opprettet på eget initiativ. Målinger i kloakker og elver i de andre kommuner har vært fulgt opp ved en rekke enkeltprøvetakinger og målinger, men uten at det ble ansett nødvendig med tilsvarende faste målestasjoner for kontinuerlig drift. På målestedene har det vært plassert automatiske prøvetakere for sammenhengende perioder på 1–3 uker, slik at det i laboratoriet kunne behandles blandprøver som representerte midlere forurensningstilførsler gjennom disse periodene.

RAPPORTER

I rapportplanen var 1966 avsatt til bearbeidelse og rapportfremstilling. Dette arbeidet tok til allerede høsten 1965, men likevel har det vist seg at tiden ble noe knapp, og at rapporten ikke kunne bli ferdig så tidlig som opprinnelig forutsatt (1. juli 1966).

Rapporten består av 20 delrapporter og en samle-rapport. Delrapportene, som stort sett er skrevet av de enkelte saksbehandlere, er hver for seg selvstendige arbeider, men samlet skal de dekke alt det arbeid som prosjektet har omfattet. De har faglig preg og er først og fremst beregnet på en faglig leserkrets. Under rapportutarbeidelsen har delrapportforfatterne stått fritt ved fremstilling og ordlegging i de enkelte delrapporter. Det har imidlertid foregått diskusjoner om samtlige enkeltundersøkelser ved at disse er blitt lagt frem på arbeidsmøtene. Oversikt over delrapportene er gitt på 2. omslagsside.

Samlerapporten tar først og fremst sikte på å bringe de konklusjoner som prosjektet har ført frem til. Den bygger på delrapportene, men gir ikke i og for seg noe

resymé av de enkelte delrapporter. Samlerapporten står for instituttets regning. Den er imidlertid fremlagt til kritisk gjennomgåelse for alle forfattere av delrapportene, likesom den er blitt omhyggelig diskutert på møter i det rådgivende utvalg. Medarbeidernes kritikk og råd er innarbeidet i samlerapporten.

Det er i denne forbindelse viktig å understreke at Oslofjordprosjektet er så omfattende, og Oslofjorden et så komplisert naturlig system, at det ikke er noen enkeltperson gitt å ha full oversikt over alle forhold. Det er viktig å ha dette for øye også ved den fortsatte diskusjon av Oslofjordens forurensningstilstand og de tiltak som kan komme på tale.

KONTAKTER

På samme måte som Oslofjordprosjektet i utpreget grad har kunnet dra nytte av tidligere vitenskapelige erfaringer om Oslofjorden både generelt og direkte, antas Oslofjordprosjektet på sin side å gi betydelige vitenskapelige resultater av interesse for studiet av forurensning av sjøvann i sin alminnelighet.

Det ventes at flere av medarbeiderne senere vil bearbeide resultatene videre for publisering som vitenskapelige artikler, og som bidrag på vitenskapelige kongresser. Det er meningen at de enkelte forfattere skal stå fritt i denne sammenheng, så snart samlerapporten er blitt akseptert av oppdragsgiverne.

Under arbeidsgangen har det vært en rekke internasjonale kontakter om problemstillingen og selve arbeidet. Personalet tilknyttet prosjektet har vært på studiereiser, og det har vært et større antall utenlandske forskere på gjennomreise i Norge, hvor de er blitt orientert om Oslofjordprosjektet. Det har på denne måten vært oppnådd en allsidig meningsutveksling, og det er skjedd en betydelig miljødannelse omkring denne oppgaven, som har hatt en gunstig virkning på arbeidets fremføring.

For å dra spesiell nytte av erfaringene i de andre nordiske land, arrangerte NIVA i samarbeid med NORDFORSK et symposium om forurensninger av fjorder og kystvann i januar 1965. Symposiet ble meget vellykket og har hatt stor betydning for videreføringen av Oslofjordprosjektet. Dessuten må nevnes at instituttsjef Baalsrud på en reise i USA i 1966 hadde anledning til å diskutere Oslofjordproblemet med en rekke fagfolk, og blant annet legge frem problemstillingen i et foredrag for kolleger ved University of California, Berkeley. Ved dette universitetet utføres et prosjekt med undersøkelse av hele San Fransisco Bay, som på mange måter er analogt. Videre har forhold vedrørende Oslofjorden og andre tilsvarende forurensede områder vært inngående diskutert på Water Pollution Research Conference-møtene i London 1962 og i München 1966.

STRØMMER OG VANNUTSKIFTNING

Hydrografiske betingelser

Ved behandling av utskiftningsproblemene i indre Oslofjord er det hensiktsmessig å betrakte vannmassene som bestående av to faser: et dypvann som hovedsakelig utgjøres av en forholdsvis ensartet sjøvannsmasse, og et topplag som for størstedelen av året er utpreget brakt. (Fig. 9). Dypvannet er forholdsvis skarpt avgrenset oppad ved overgangen til brakkvannslaget, mens toppsjiktet er karakterisert ved temmelig jevnt stigende saltholdighet fra overflaten ned til sjøvannsfasen. De to vannlag er således ikke adskilt ved noe utpreget sprangsjikt, men ved en sone med maksimal stabilitet, [det vil si med en stor gradient i spesifikk vekt (tetthet)] som ofte kan iakttas i nedre del av brakkvannslaget. Denne sjiktningen er ikke et resultat av naturlige prosesser i indre Oslofjord alene, men kommer i stand ved utveksling av vann med Breiangeren. Sjiktningen i brakkvannsfasen er av den aller største betydning for utvekslingsprosessene i fjorden. Spesielt kommer dette til uttrykk i den vertikale diffusjonskoeffisient som har et minimum i brakkvannslagets nedre sjikt. Dette minimum ser ut til å falle sammen med nivået for maksimal stabilitet.

Vannutskiftningen, eller fornyingen av vannet i indre Oslofjord, er i virkeligheten et system av flere forskjellige prosesser. Disse opptrer dels samvirkende, dels uavhengige eller alene.

Man skiller mellom to vesensforskjellige former for fornying (fig. 10). Ved den ene formen skjer fornyingen ved at gammelt vann fortrenges av nytt vann utenfra slik at det kommer i stand en sirkulasjon. Ved den andre formen skjer fornyingen som en gradvis tilblending ved uordnede bevegelser eller strømmer som ikke setter seg sammen til en sirkulasjon. Slik blanding av vannmasser betegnes som turbulent diffusjon, og man skiller gjerne mellom vertikal og horisontal diffusjon.

Hver av de to formene for vannutskiftning er representert ved flere forskjellige enkeltprosesser som er av viktighet for vannfornyingen i indre Oslofjord. Disse er omtalt i det følgende, og deres relative betydning diskutert.

VERTIKALDIFFUSJON I DYPVANNET

Vertikaldiffusjonen gjør seg gjeldende på alle dyp i samtlige av fjordens bassenger. Ved denne prosessen

blandes vann fra høyere nivå med vann i lavere nivå, og da det førstnevnte alltid er mindre salt, vil denne blandingen transportere salt oppover. Denne salttransporten danner grunnlaget for bestemmelse av de vertikale diffusjonskoeffisienter i Bunnefjorden og Vestfjorden. I høyere vannlag, der den hydrografiske sjiktning undergår store årstidsvariasjoner, vil den vertikale diffusjonskoeffisient ha en betydelig periodisk tidsvariasjon. I dypvannet er denne effekten så vidt liten at det overfor våre vurderinger er tilstrekkelig å referere til den midlere diffusjonskoeffisient.

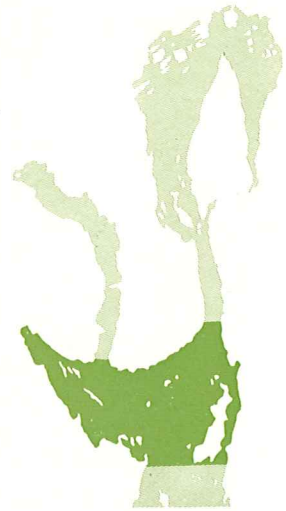
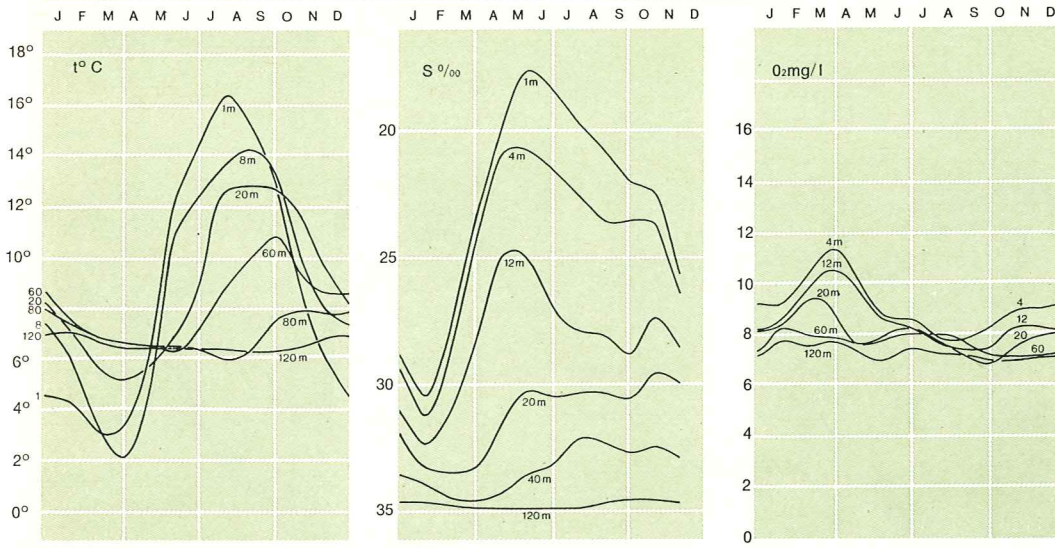
Den direkte vannfornyning som vertikaldiffusjonen forårsaker i dyplaget, er ikke særlig stor. I Bunnefjorden oppnås på denne måten en fornying av bunnvannet på ca. 1 % pr. uke. Den effektive fornying er imidlertid enda dårligere, fordi fornyingsvannet i middel har brukt om lag 20 uker på veien gjennom dypvannet ned til bunnen. I høyere nivå er fornyingen raskere. Den ligger på ca. 1,6 % pr. uke i 80 m nivået. Fornyingsvannet er da også meget «friskere», idet det «bare» har brukt nær 7 uker på veien ovenfra.

Vesentlig bedre er forholdene i Vestfjorden. Her fornyes bunnvannet (160 m) med ca. 6 % pr. uke, og fornyingsvannet er også meget friskere med en midlere alder på ca. 3,5 uker. Tilsvarende tall for 80 m nivået er her en fornyingshastighet på 7,1 % pr. uke. For å trenge ned til dette nivået bruker vannet ikke fullt 2 uker.

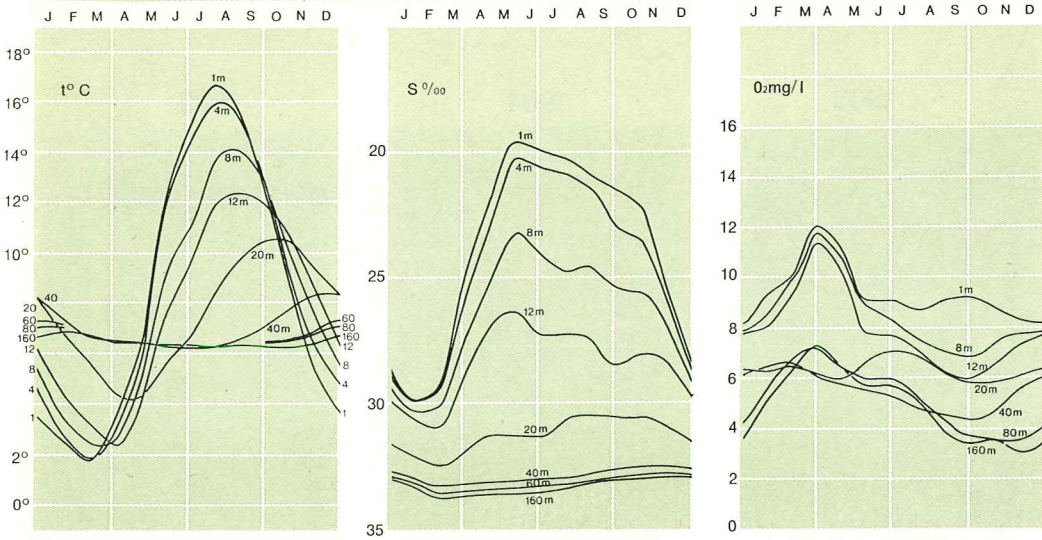
Tendensen til sterkere vertikalutveksling utover i fjorden er et alminnelig trekk. Åpnere farvann er ikke bare sterkere eksponert overfor turbulensgenererende faktorer, men stabiliteten er også i alminnelighet avtakende utover i fjorden, et forhold som letter vertikalutvekslingen i ytre del. Således er Skagerak-verdier for den vertikale diffusjon ca. 10 ganger sterkere enn for Vestfjorden.

Den diffusive utskiftning av dypvannet har liten umiddelbar praktisk konsekvens for oksygeninnholdet eller tilstanden av forurensning. Dette beror på at det sjikt hvorfra fornyingsvannet er hentet, i alminnelighet selv er forurenset eller oksygenfattig. Da transporten gjennom det sterkt stabile brakkvannssjikt er uhyre liten, blir det forholdene i sjøvannsfasens øvre del som blir bestemmende for renheten av det vann som inngår i den vertikale utskiftningsprosess med dypvannet.

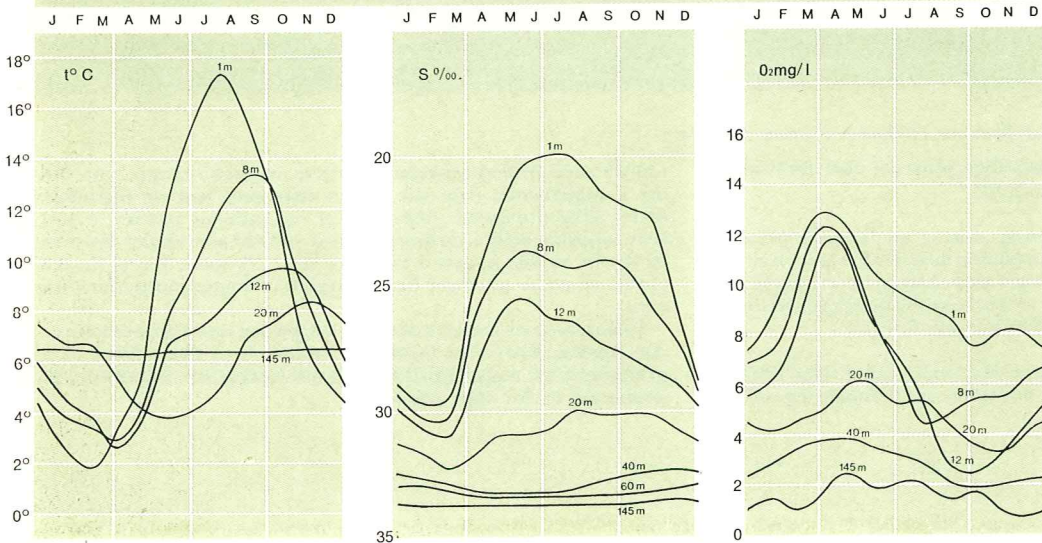
BREIANGEN



VESTFJORDEN



BUNNEFJORDEN



t = temperatur i °C.
S = salinitet (saltinnhold) i ‰/100.

O₂ = oksygen i mg/liter.
Kurvetallene angir dyp i meter.

Fig. 9. Midlere årstidsvariasjoner i hovedbassengene.
Basert på årene 1962-65.

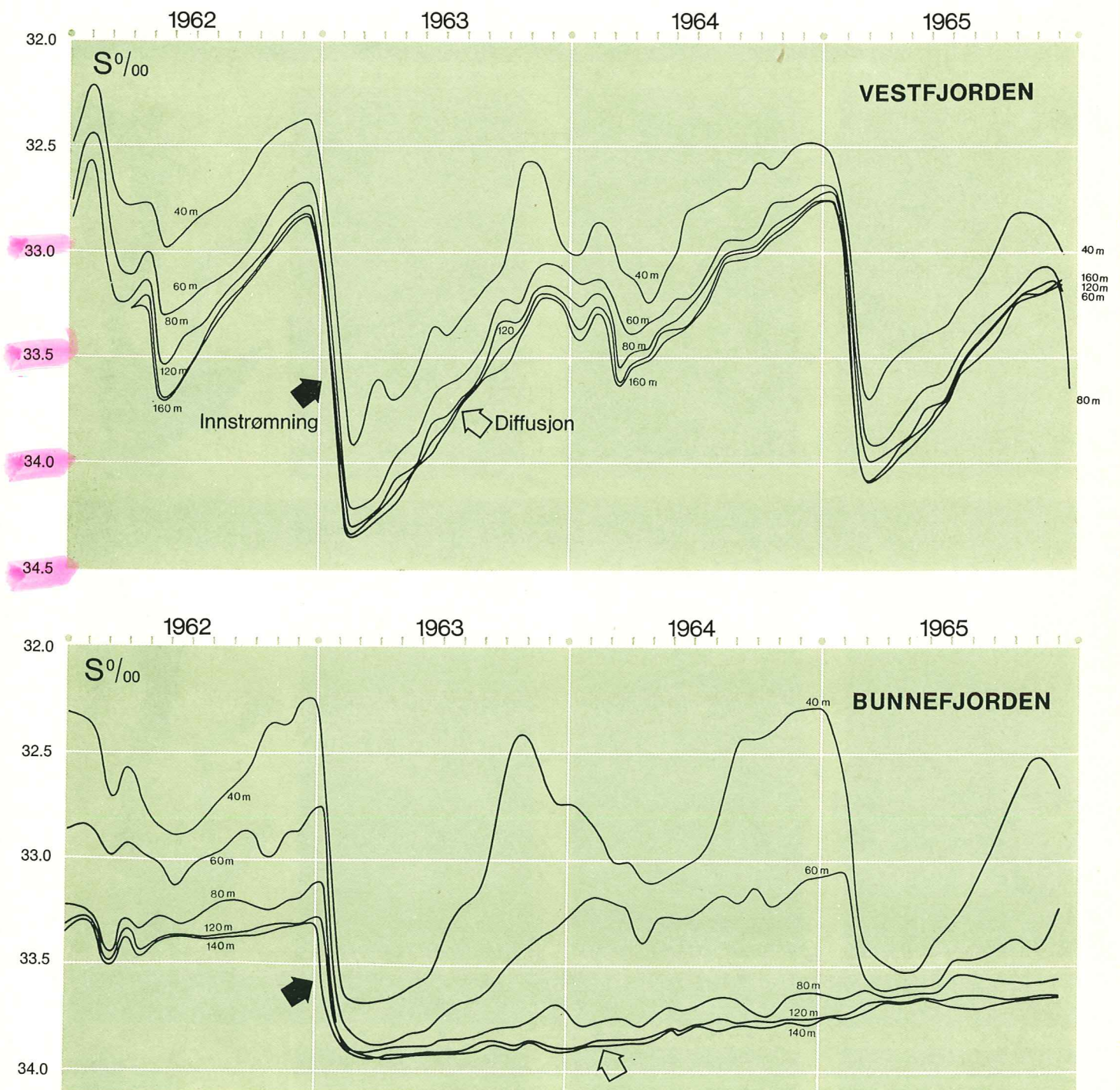


Fig. 10. Utskiftningsprosessen i dypvannet. (Belyst ved salinitetskurver.)

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

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

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

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

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

Bare i situasjoner med innstrømning av friskt sjøvann utenfra til 15–30 m laget vil den vertikale diffusjonsprosess få en direkte betydning for oksygeninnholdet og tilstanden av forurensning i dypvannet. Under særlig gode omstendigheter har man iaktatt opptil fire slike sjøvannsinnstrømninger i løpet av et år, og man har da fått en forholdsvis effektiv tilførsel av oksygenrikt og uforurenset vann til dyplaget. Dette gjelder spesielt i Vestfjorden der innstrømningen vil gjøre seg sterkest gjeldende. Bare en mindre del vil nå så langt som inn i Bunnefjorden, og vil dertil allerede være betydelig oppblandet med vann fra Vestfjordens dypvann. I allminnelighet er slike innstrømninger begrenset til vinterhalvåret.

DYPVANNSINNSTRØMNINGER

Det ble ovenfor påpekt at vertikaldiffusjonen medførte en uopphørlig transport av salt fra dypvannet oppover mot brakkvannslaget. Billedlig kan vi si at saltere vann blir byttet ut med mindre salt vann, en prosess som gjør seg gjeldende like til bunns. Ved dette blir vannet lettere i hele vannsøylen fra bunnen opp til brakkvannslaget. Utenfor Drøbakerskelen vil vertikaltutvekslingen ikke være bestemmende for tetthetsfordelingen, da vannet her står i åpen forbindelse med havet utenfor. Det kan da inntreffe situasjoner der vannet fra ytre Oslofjord, som føres inn over terskelen, er tyngre enn dypvannet innenfor. Nytt sjøvann fra ytre Oslofjord vil da strømme inn og trenge ned i de dypere lag av den indre fjord. Dette er den viktigste konsekvens av vertikaldiffusjonen i dypvannet.

Ved dypvannsinnstrømninger vil det tyngre sjøvann utenfra synke ned til et nivå som svarer til vannets tetthet. Det overliggende vann, som er lettere, vil da bli hevet så meget som volumet av det inntrengende vann betinger. Er vannet utenfra tyngre enn bunnvannet i fjordbassenget, vil alt det gamle vannet i fjorden heves. Samtidig med innstrømningen til de dypere lag vil det foregå en utstrømning i et høyere nivå.

I observasjonsperioden har slike dypvannsinnstrømninger vært iaktatt hver eneste vinter (Fig. 10). I Vestfjorden har dette resultert i en bunnvannsfornyning hver eneste gang, og volumet av dette tilførte sjøvannet har vært så stort at det etter endt innstrømning har nådd opp til nivå fra 55 til 12 m dyp. Fornying finner vanligvis sted i løpet av en til to måneder. I Bunnefjorden derimot, som er skilt fra Vestfjorden med en terskel på ca. 50 m, har fornyingen bare en gang gått til bunns, nemlig vinteren 1963. Innstrømninger til Bunnefjorden i intermediære dyp er observert de øvrige årene, men bare i 1965 var det det nye tilførte sjøvannet som utgjorde innstrømningen. Både i 1962 og i 1964 synes det å være det gamle dypvannet fra Vestfjorden som fant veien inn i Bunnefjorden. Virk-

ningen på oksygenkonsentrasjonene av de sistnevnte innstrømningene er da heller ikke særlig stor.

Forsøk på å finne sammenheng mellom den vertikale tetthetsfordeling i Skagerak og innstrømningen til dyp-lagene i indre fjord, har ikke ført til holdbare slutninger, idet store brakkvannsmasser har vært observert i ytre fjord samtidig som det har pågått dypvannsinnstrømning til indre Oslofjord. Det er derfor ikke uventet at det har vist seg at det er vinden som er bestemmende for sjiktningen utenfor Drøbakerskelen (Brei-angen) og derved for betingelsene for dypvannsinnstrømning. Samtlige av de observerte innstrømningene har funnet sted i perioder med vedvarende nordlig vind, og det er typisk at de kraftigste innstrømningene er korrelert med den sterkeste middelvinden.

Regner man med en fullstendig dypvannsfornyning i Bunnefjorden hvert tredje år, vil dette svare til en midlere fornyingshastighet på ca. 1 % pr. 10 dager. Den diffusive utveksling er ikke direkte sammenliknbar, men svarer til vannfornyning av samme størrelsesorden. I situasjoner med innstrømning av friskt vann til sjøvannsfasens øvre del, vil den diffusivt tilførte oksygenmengde overstige forbruket. Dette er imidlertid vanligvis ikke tilfellet, og oksygeninnholdet i dypvannet får en fallende tendens. Forholdet mellom tilførsel og forbruk av oksygen i dypvannet er imidlertid ikke større enn at det synes innenfor mulighetens rekkevidde, ved kunstige tiltak, å sikre en tilstrekkelig oksygentilførsel til dypvannet.

DIFFUSIV UTVEKSLING I TOPPLAGET. TIDEVANN

Det er til enhver tid uordnede bevegelser i topplaget. Disse bevirker en stadig blanding av vannmassene her, samtidig som tidevannsbevegelsen sørger for en utveksling med ytre Oslofjord. Denne diffusive transport fører til en vannfornyning som er mest effektiv i søndre del av Vestfjorden, mens det innerst i Bunnefjorden er liten virkning å spore.

Den viktigste årsak til den diffusive fornying er tidevannsbevegelsen, men også vinddrevne strømmer bevirker horisontal blanding i topplaget. Vindene i Oslofjordområdet er imidlertid stort sett svake og den vinddrevne turbulens underordnet overfor tidevannet.

Variasjonene i tidevannstanden i Oslofjorden er små. I middel er variasjonene ved Oslo havn ca. 24 cm og svinger normalt mellom 18 og 32 cm. Målingene over tidevannsstrømmene i indre Oslofjord viser at de horisontale transporter i hovedsaken er begrenset til brakkvannssjiktet. Bare i utpregede vintersituasjoner uten brakkvannslag vil tidevannsbevegelsen omfatte de dypere vannlag.

Tidevannsbevegelsen vil således utgjøres hovedsakelig av en veksling mellom innstrømning og utstrømning i brakkvannslaget. Hastigheten er størst i over-

flaten og avtar med dypet. Det er forholdsvis liten variasjon på strømmen i de øverste 10 metrene. Under dette nivå øker hastighetsgradienten mot et maksimum for så å avta.

Tidevannsstrømmene er utpreget turbulente, slik at både horisontal og vertikal turbulent diffusjon finner sted. Vertikaldiffusjonen er størst nær overflaten og avtar mot et minimum i 12–20 m sjiktet. Denne vertikalutveksling tenderer til en homogenisering av brakkvannslaget, spesielt i fjordens indre deler der sprangsjiktet vanligvis er best utviklet.

Det horisontale turbulensfelt er sterkt påvirket av kystkonfigurasjonen og av øyer og undervannsskjær. Bortsett fra i enkelte avgrensede områder, som havnebassengene og Bærumbassenget, virker horisontalutvekslingen ved det turbulente strømfelt til å utviske eventuelle forskjeller i vannets egenskaper. Denne utveksling er praktisk talt fullstendig tvers over fjorden, men i fjordens lengderetning er det mulig å iakttå konsentrasjonsvariasjoner som kan danne grunnlag for beregning av den horisontale utvekslingsintensitet.

Vi har forsøkt å bestemme den horisontale utvekslingshastighet ved å måle fortynningen av forskjellige naturlige merkestoffer i sjøvann. Den beste bestemmelsen som er foretatt hittil, baserer seg på konsentrasjonsmålinger av ortofosfat i en periode som har skilt seg ut som særlig ideell. For dette tilfelle er den horisontale diffusjonskoeffisient langs fjordens akse blitt beregnet.

På grunnlag av de integraler som er beregnet for den horisontale diffusive utveksling, er det mulig å bestemme fortynningsforløpet av forurensningsprosesser i fjorden som følge av tidevann, enten det dreier seg om spontane punktslipp, variable tidsfunksjoner eller permanente prosesser.

ESTUARIN SIRKULASJON

Ferskvannet, som tilføres fjorden gjennom et system av større og mindre elver, blandes opp med underliggende vann og flyter utover som en brakk overflatestrøm. Det fjordvann som medgår til denne blandingsprosessen blir for størstedelen tatt fra et mellomsjikt i brakkvannsfasen. Bare en mindre del kommer fra sjøvannsfasen, selv om man alltid må regne med vertikalutveksling mellom sjøvannsfasen og brakkvannet. Til erstatning for det fjordvann som er forbrukt til denne blandingen opptrer en motstrøm i et dypere nivå. Denne motstrømmen er rettet innover og bringer derved friskere vann inn i fjordens indre deler.

Om våren og høsten får ferskvannsstrømmen til indre Oslofjord en midlere månedsverdi på om lag 50 m³/sek. Med en teoretisk oppholdstid i Vestfjorden på ca. 4 uker, representerer brakkvannsstrømmen i disse periodene en utskiftning som er fra fem til ti ganger

sterkere enn den diffusive. I middel får brakkvannet en oppholdstid i Vestfjorden på ca. 60 døgn. Dette utgjør en utskiftningseffekt som er fra tre til fire ganger så sterk som den diffusive transport alene. Da virkningen av horisontaldiffusjonen avtar i perioder med sterk brakkvannstransport, blir dette forholdet enda mer utpreget.

Om sommeren avtar ferskvannstilstrømningen så meget at det undertiden fordampes mer vann fra fjordens overflate enn det tilføres ferskvann. I denne perioden kan man derfor ikke regne med noen effektiv brakkvannstransport ut av fjorden. Også tidlig på året, i februar, blir ferskvannstilførselen så liten til fjorden at den estuarine sirkulasjon praktisk talt opphører. I disse periodene vil således vannfornyningen ved den estuarine sirkulasjon være underordnet i forhold til utskiftningen ved horisontaldiffusjonen.

I perioder med lite netto overskudd av tilført ferskvann vil vertikaldiffusjonen bidra til å øke overflatevannets saltholdighet slik at dette blir tyngre enn brakkvannet i Breiangeren. Brakkvannet vil da synke ned og flyte ut av fjorden som en understrøm, mens det lettere overflatevannet fra Breiangeren vil trenge inn i fjorden som en overflatestrøm. I godværsperioder om sommeren blir denne tendensen vesentlig forsterket ved solgangsbrisen som opptrer overveiende som sønnavind. Dette får en utpreget virkning på tilstanden av forurensning i overflatevannet ved at den lokale forurensning adderes til bakgrunnsverdien for Breiangerenvannet.

VINDDREVEN SIRKULASJON

Vindens betydning for sirkulasjonen i Oslofjorden har allerede vært påpekt for dypvannsutskiftningen. Som enkeltprosesser vil en bunnvannsfornyning ikke bare være avhengig av en vedvarende og kraftig nordavind, men forutsetter også at dypvannet i fjorden i en forutgående periode med vertikalutveksling har fått en tilstrekkelig lav saltholdighet. I motsatt fall vil det vannet som trenger inn være lettere og innlagres i et høyere vannsjikt.

Den vinddrevne sirkulasjon i brakkvannslaget virker til dels på samme måte som dypvannsinnsstrømningene, men adskiller seg likevel vesentlig ved at understrømmen drives både av trykket fra den skrånende overflaten og fra trykkfeltet generert av den indre tetthetsfordeling. Således vil det ved nordavind kunne strømme inn vann som er lettere enn det vann som lå i samme nivå før vinden satte inn. I alminnelighet foregår dette bare i vindperiodens første del. Etter hvert vil det vann som er tilgjengelig for innstrømning bli stadig tyngre, og det opptrer da en understrøm som dirigeres både av det indre og det ytre trykkfelt. Da vindstyrken som oftest er kraftigere i fjordens ytre

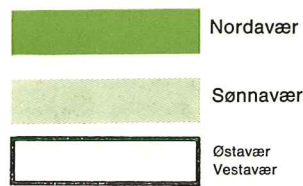
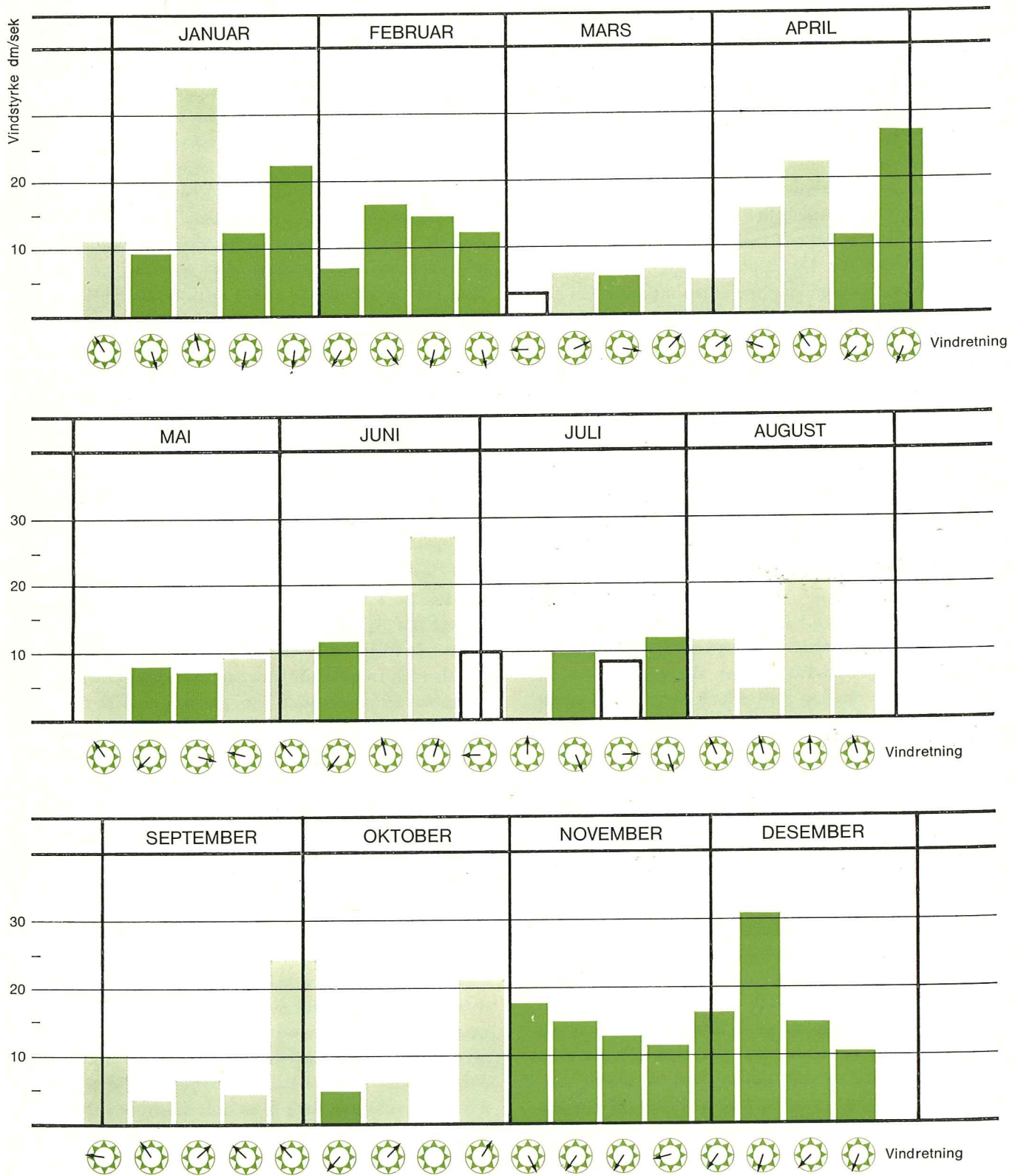


Fig. 11. Vindfordelingen på Fornebu i 1965. (Beregnet som ukentlig middelvind.)

delar og her forårsaker større variasjoner i vannets tetthet, vil de sekundære tetthetsstrømmer opptre tidligere i utviklingen enn man ellers ville vente.

Den vinddrevne sirkulasjon er ingen pålitelig prosess. Vindene i Oslofjordområdet er av tydelig monsun-karakter. Om vinteren er vinden nordlig til nordøstlig og kulminerer i januar. Om sommeren blåser vinden fra sør til sørøst og har sitt maksimum i juli. Fig. 11 viser som eksempel den ukentlige middelvind på Fornebu i 1965. Avvikende vinder er stort sett forbundet med de vandrende lavtrykk. Det opptrer da gjerne vind av sør- og sørvestlig retning. Sommervinden modifiseres i godværsperioder av solgangsbrisen. Vindstyrken kan da om ettermiddagen nå opp i en styrke av frisk bris. Om natten stilner vinden av eller slår om på nordlig retning. For indre Oslofjord vil nattbrisen bare i sjeldne tilfelle bli så sterk at den medfører nevneverdig vinddrift. Omslaget er likevel av en viss betydning, da det er koplet med samvirkende prosesser.

En frekvensanalyse av vindene på Fornebustasjonen, basert på tiårsstatistikk fra Det Norske Meteorologiske Institutt over timelige observasjoner, viser følgende:

Vinder omkring nord opptrer i januar i vel 40 % av observasjonstilfellene. Den midlere vindstyrke fra denne retningen er 2,1 Beaufort (ca. 2 m/sek). Vinder av sørlig retning finnes derimot bare i vel 9 % av observasjonene. Middelstyrken er da noe høyere, 2,9 Beaufort eller om lag 3 m/sek. I 30 % av tilfellene, altså nær en tredjedel av tiden, er det vindstille.

I juli er nordlige vinder representert ved 27,4 %. Middelvinden er da 2,05 Beaufort. Sørlige vinder finner sted i 30,4 % av tiden, med en middelstyrke på 2,6 Beaufort. Bare i 15,3 % av tilfellene er det vindstille.

Det har vist seg hensiktsmessig å operere med begrepet vindmengde (hastighet \times frekvens) for å belyse forholdet mellom vind og vinddrift i vannet. Anvendt på de foregående eksempler finner man for januar en relativ nordlig vindmengde på 85,5 mot en relativ sørlig vindmengde på 26,4. De tilsvarende tall for juli er fra nord 55,2 og fra sør 79,0.

Selv om vindmengden gir et tilnærmet relativt mål for vinddriften, vil tallene ikke gi sammenliknbare mål for den vinddrevne sirkulasjon. Ved de stadig veks-lende vindretninger i sommertiden vil det ikke oppnås tetthetsstrømmer i vesentlig grad, men en vekslende vinddrift som arbeider mot det lokale trykkfelt. Det vil derfor i vindstille netter dannes en returstrøm som vil bidra til å svekke den sirkulatoriske effekten. Vinddriften i godværsperioder om sommeren vil således få karakter av et uordnet system, og vil mer føre til blanding av vannmassene enn til egentlige *strømmer*.

De hydrografiske konsekvenser av vindens monsun-karakter er tydelige. Etter at brakkvannsdannelsen fra den lokale vårløsning er avsluttet, finner det sted en

akkumulasjon av brakkvann som til dels skriver seg fra Breiangeren. Dette laget når praktisk talt ned til 20 m-nivået og blokkerer i stor utstrekning utvekslingen i sjøvannsfasen over Drøbakerskelen.

Ved den typiske vintersituasjon blir forholdene reversert. Som nevnt vil da også tetthetsstrømmene bidra til utvekslingen, og det vil i alminnelighet være meget beskjedne mengder brakkvann i fjorden. I en nordavindsperiode forsvinner brakkvannet praktisk talt fullstendig, og overflatevannet fornyes til stadighet av temperert sjøvann nedenfra. Det siste har stor betydning ved at det virker sterkt hemmende på lokal isdannelse.

Vedvarende vinder i Oslofjordområdet fører til drastiske endringer i vannets tetthetssjiktning. (Fig. 12). Brakkvannslaget kan bli fullstendig fjernet i ytre Drøbaksund etter en tre dagers periode med vind fra nord av styrke laber til frisk bris. Det motsatte forhold med en betydelig brakkvannsansamling er resultat av en sønnvind av liknende styrke og varighet.

De viktigste strømmer som fører til reell vannutskifting kalles tetthetsstrømmer. De oppstår når vind eller andre ytre påvirkninger fører til at vannet i samme dyp har forskjellig tetthet. De kraftigste strømmene vil opptre når det er svært stabile sjiktninger, og de svakeste når forholdene er nær homogene. Det er kjent fra dypvannsutskiftingene at transporthastighetene gjennom Drøbaksundet kan nå opp i 2000 m³/sek. Utskiftninger som er begrenset til brakkvannssjiktet, må i alminnelighet antas å være svakere selv om transporthastigheter av samme størrelsesorden også har vært observert her. Man regner således med muligheten for en praktisk talt fullstendig utskifting av brakkvannslaget i løpet av en ukes tid, ved opptreden av en vind av tilsvarende varighet og av en styrke fra laber til frisk bris.

Vind av styrke frisk bris og av varighet på minst en uke er meget sjelden. Bare i 0,8 % av tilfellene inn-treffer nordvind av midlere ukestyrke mer enn 5 m/sek (lett bris), altså statistisk mindre enn én gang hvert annet år. Selv vinder av midlere nordlig komponent sterkere enn 3 m/sek (svak vind) opptrer så sjelden som bare 5 uker i året. Om vinteren er dette imidlertid tilstrekkelig til å fremkalle dypvannsinnsstrømning, og om sommeren gir det en betydelig utskifting av brakkvannssjiktet. Tar man hensyn til den sesongmessige variasjon i vindsituasjonen, ser bildet noe annerledes ut. Svarende til klasseinndelingen ovenfor finner vi i månedene november—april en midlere nordlig vindkomponent sterkere enn 3 m/sek i 11 % av tilfellene eller bare ca. 3,5 uker av vinterhalvåret. Skjevheten i fordelingen mellom vinter og sommer kommer enda tydeligere frem ved midlere vindstyrker over 2 m/sek som i vinterhalvåret opptrer i vel 7 uker,

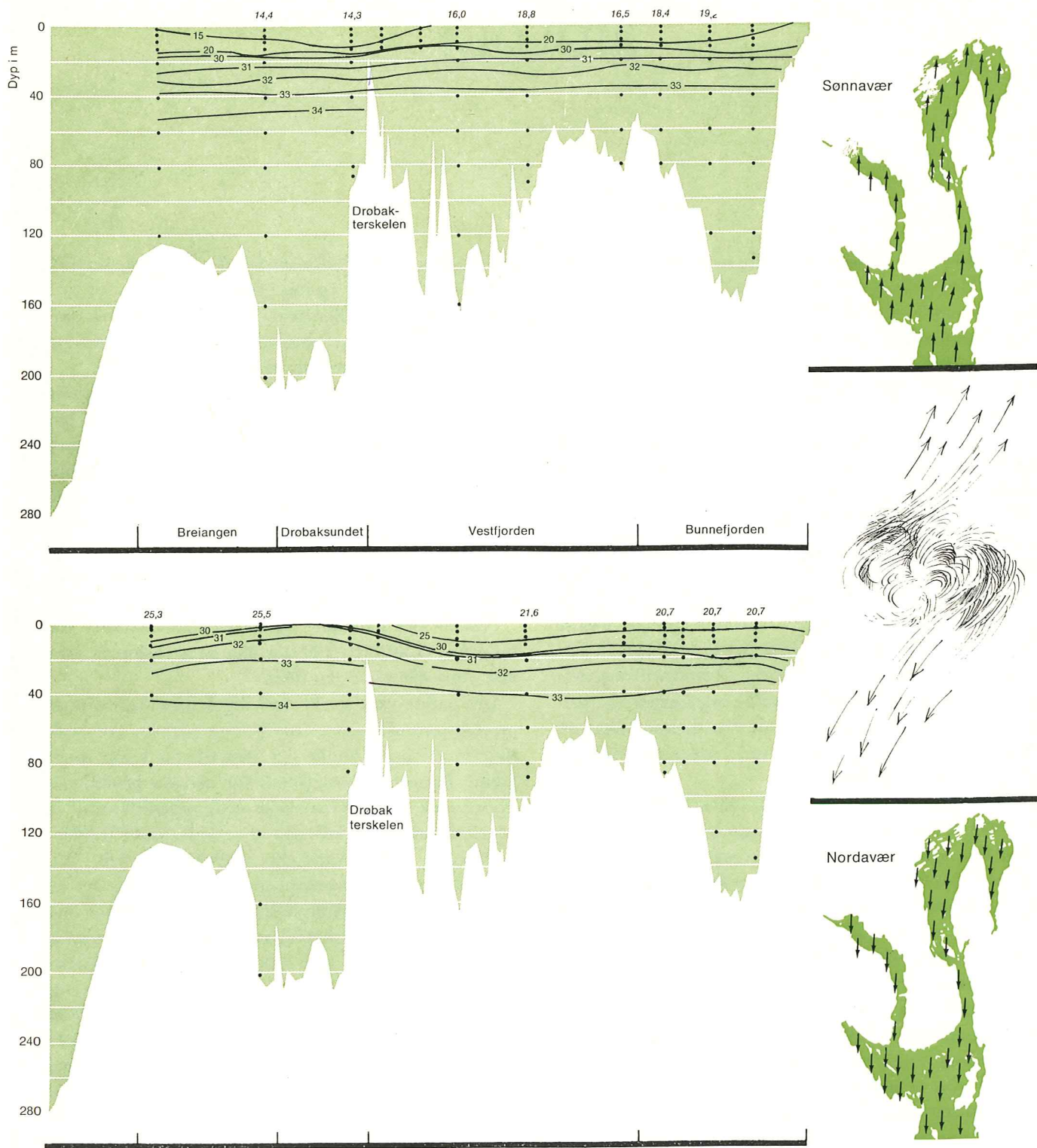


Fig. 12. Vindens innflytelse på brakkvannslaget om sommeren.

Saliniteten er her vist for datoene 22–23. juni 1965 (øverst) og 2–3. juni 1964. De kursiverte tall angir en del målte verdier i 1 m dyp.

mens det i sommerhalvåret forekommer mindre enn 3 uker i middel.

Vindsituasjoner som betinger betydelig utskiftning i brakkvannslaget kan således forekomme gjennom hele året, men er vesentlig sjeldnere i sommerhalvåret enn i vinterhalvåret. Både ved dypvannsutskiftningene og ved innstrømninger i intermediære dyp kan man regne

med nokså fullstendig fornying av toppsjiktet. Sammenliknet med de øvrige utskiftningsmekanismer utgjør den vinddrevne sirkulasjon den mest effektive form i vinterhalvåret. I sommerhalvåret er derimot frekvensen av vedvarende nordavindssituasjoner så vidt liten at slik brakkvannsfornyng må sees på som en relativt sjelden begivenhet.

BIOLOGI

Biologiske undersøkelser av større naturområder er alltid tidkrevende og omstendelige. Selv med den relativt store ramme som Oslofjordprosjektet kunne få, var det nødvendig sterkt å avgrense de biologiske undersøkelser som prosjektet kunne omfatte. Dette var også saklig begrunnet. De biologiske forhold hadde stått i forgrunnen ved de undersøkelser som var gjort tidligere, og det var da blitt klart at en nærmere forståelse av de biologiske sider av forurensningsproblemene i fjorden først og fremst var betinget av at de hydrografiske prosesser ble mer inngående studert.

Det er ofte vanlig å tenke seg et forenklet bilde av de biologiske omsetninger, med en fase hvor organisk stoff dannes og en fase hvor organisk stoff nedbrytes. I den første fasen er det planter, i sjøvann først og fremst alger, som er aktive. Dels dreier det seg om fastsittende alger (tang og tare som er festet til bunnen), og dels planktoniske alger (mikroskopiske organismer løst drivende i sjøen). Den nedbrytende fase gjennomføres av en rekke meget varierte organismer, som større og mindre dyr, sopper og bakterier.

Sterkt forenklet kan man si at i den vanlige produksjonskjede i sjøen dannes det organiske stoff ved fotosyntese i algene, som fortæres av og i noen grad omsettes til små dyr, som så igjen er føde for større dyr. Menneskene er blant de organismer som danner det siste ledd i ernæringskjeden.

De kompliserte biologiske forhold i sjøvann danner et nyansert, avbalansert system som har etablert seg gjennom mange hundre millioner år. Det marine miljø er særmerket i forhold til mange andre miljøer hvor organismer lever, ved at de fysiske forhold varierer innen relativt trange grenser. Stort sett forekommer det her bare små fysiske påkjenninger, små temperaturvariasjoner og et ensartet kjemisk miljø. Dette medfører at organismene kan være tilsvarende ømfintlige, og at relativt små endringer i miljøet kan gi store utslag for de biologiske forhold. Av denne grunn er det viktig med en beskrivelse av de biologiske forhold.

Ved studiet av miljøendringer vil en kartlegging av de biologiske forhold derfor kunne gi viktige informasjoner som er vanskelig å få direkte fra de fysisk-kjemiske observasjoner.

De fysisk-kjemiske miljøbetingelser i en fjord som Oslofjorden, skiller seg på flere vis fra dem vi finner i

åpent sjøvann, og derfor endrer de biologiske forhold seg fra det åpne hav og inn i fjorden.

De biologiske undersøkelser i Oslofjorden har omfattet planktonalger, fastsittende alger, plankton-dyr, fisk og dyr som lever ved, på eller i bunnen.

Det er først og fremst viktig å konstatere at undersøkelsene har vist at Oslofjorden er en meget rik biotop, hvor mulighetene for biologisk vekst er store. Undersøkelsene viser at denne naturlige tilstand i biotopen er endret, slik at nye biologiske fenomener stadig opptrer. Dette gjelder forhold som masseforekomst av enkelte organismer, giftighet av blåskjell og utsletelse av dyrestanden i visse områder, dels på bunnen, dels i selve vannmassene.

Noe av det som først og fremst karakteriserer forholdene i Oslofjorden, er den økte produksjon av organisk stoff gjennom algevekst.

Det hadde vært sterkt ønskelig å inkludere direkte produksjonsmålinger i Oslofjord-prosjektet. For praktiske vurderinger hadde det vært til stor hjelp om vi kunne finne omtrentlige tall for algenes produksjon av organisk stoff, og hvorledes dette organiske stoff senere blir omsatt. Imidlertid er produksjonsmålinger i sjøvann et ytterst vanskelig vitenskapelig felt, ikke minst i et forurenset område som Oslofjorden. Det var usikkert om produksjonsmålinger kunne utføres med tilstrekkelig nøyaktighet til at det ville være forsvarlig å bruke resultatene som utgangspunkt for praktiske tiltak. Slike undersøkelser ville dessuten ha sprengt prosjektets budsjett og tidsramme. Dette skyldes blant annet de stadige vekslinger av vannmassene som foregår på grunn av vindtransport. De foretatte undersøkelser har derfor først og fremst beskjeftiget seg med bestemmelser av dyre- og plantebestandene i de enkelte områder og deres sesongmessige vekslinger.

Ved vurderingen av de biologiske forhold har det stadig vært trukket sammenlikninger med tidligere undersøkelser. Til dels er undersøkelsene blitt spesielt lagt opp med slike sammenlikninger for øye. Sammenliknende vurderinger har en viss svakhet, for så vidt man ikke vet om det har foregått en jevn utvikling mellom observasjonsseriene innen de forskjellige organismegrupper. Ved sammenlikning av observasjoner med mange års mellomrom må det derfor vises forsiktighet, da forskjellen kan bli over- eller undervurdert.

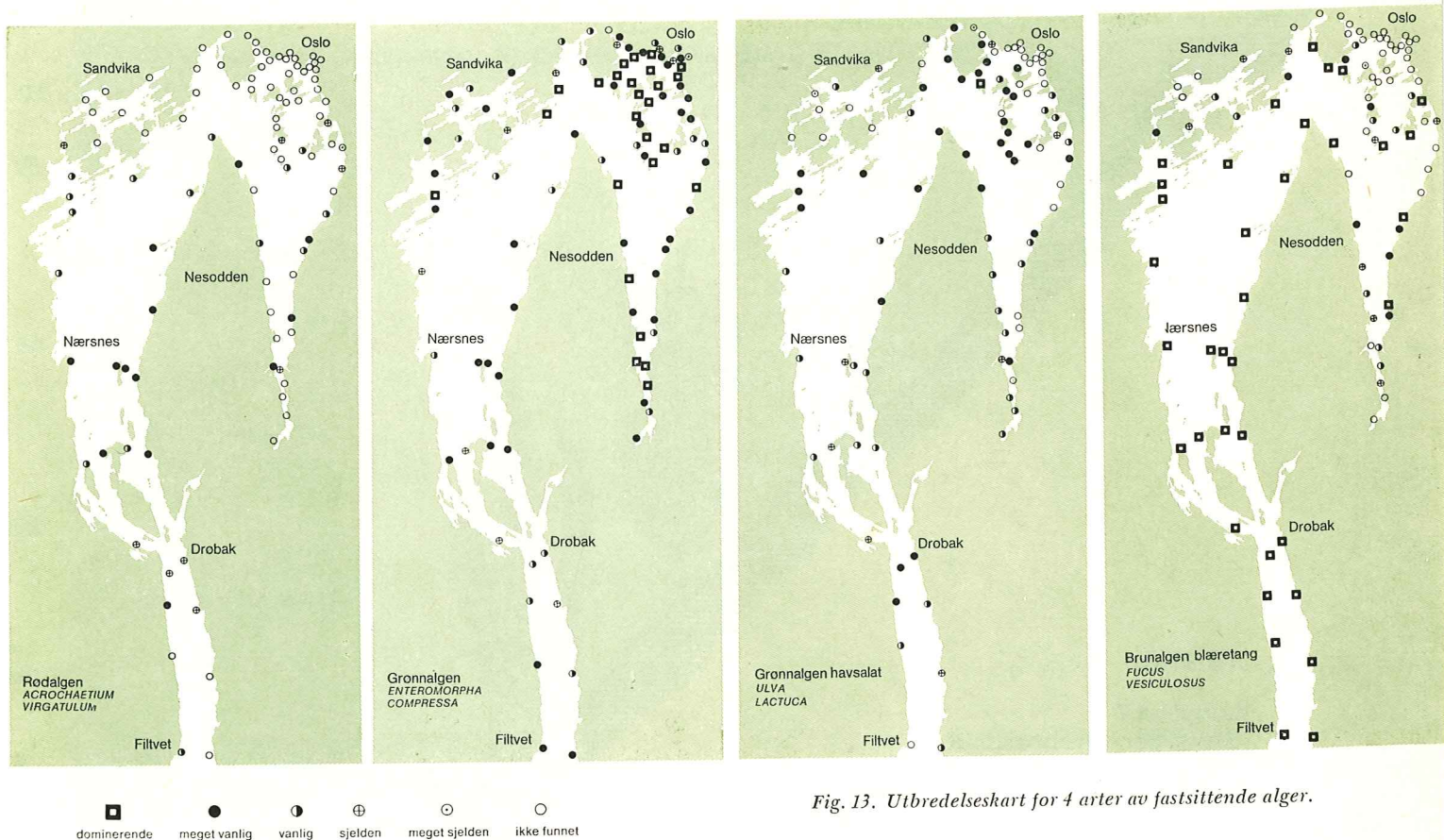


Fig. 13. Utbredelseskart for 4 arter av fastsittende alger.

FASTSITTENDE ALGER

Ved å sammenlikne resultatene fra undersøkelsene over fastsittende alger i 1962–1965 og i 1940-årene, har det vist seg at det ikke var mulig å bruke de enkelte arters utbredelse i indre Oslofjord som indikator på forurensningsgraden i de enkelte deler av området. Fig. 13 viser utbredelseskart for 4 av de 164 arter som ble funnet i perioden 1962–1965.

Sammenlikner man forholdene i Oslofjorden med hva man finner i andre fjorder, er det mest påfallende trekk at det er en særlig kraftig oppvekst i den øvre del av fjærebeltet av forskjellige grønnalger. I grunne, beskyttede bukter blir det dannet matter av løsvre alger, vesentlig grønne, som kan bli ført avgårde med vind og samle seg på stranden. Både det tette belte av fastsittende grønnalger og slike løsvre algematter kan virke skjemmende og sjenerende ved bading. Fig. 14 viser eksempler på vegetasjonsprofiler.

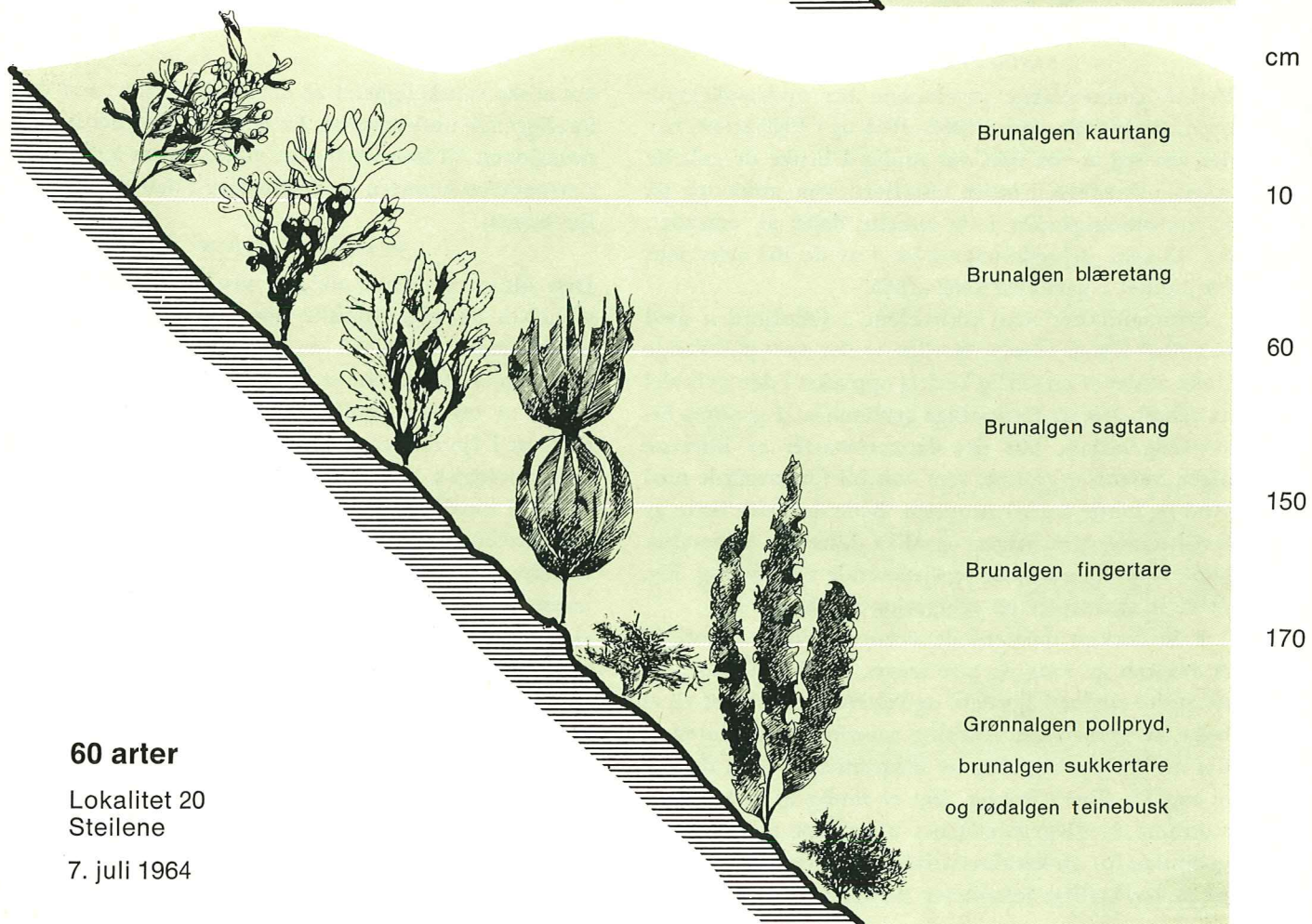
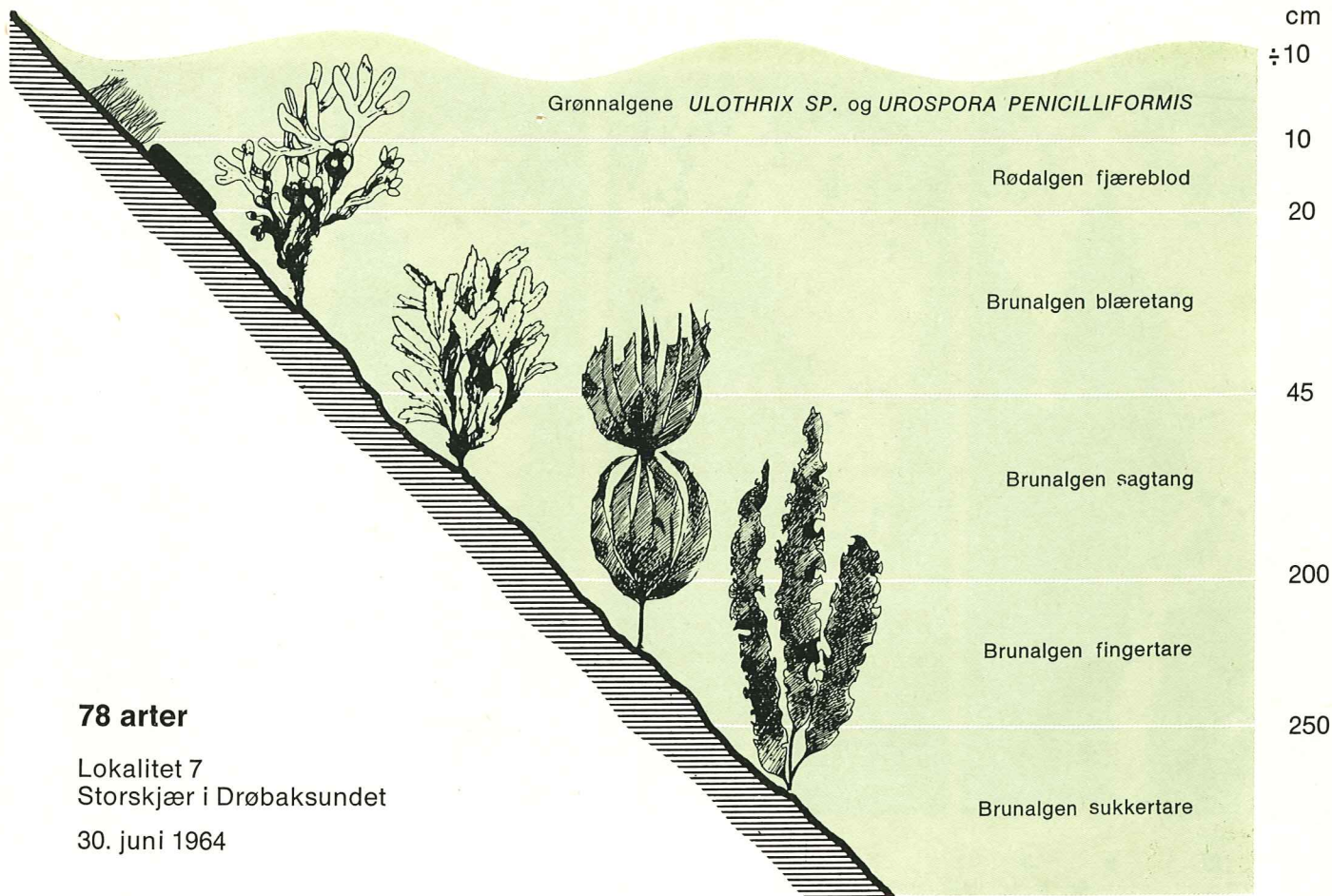
I de sterkest forurensede avsnitt av indre Oslofjord er veksten av tang og tare meget beskjedne i forhold til andre steder i fjorden, og vesentlig begrenset til et belte av grønnalger omkring vannlinjen. Dessuten er det en kraftig begroing av blågrønnalger som danner et mørkt, slimet belegg. Det er mulig at et nærmere studium av blågrønnalgens utbredelse vil kunne gi grunnlag for en karakteristikk av forurensningsgraden på de forskjellige lokaliteter, men dette byr på så store

botaniske vanskeligheter at det ikke er utført ved den foreliggende undersøkelse. En endring i forurensningssituasjonen vil først og fremst måtte ventes å gi utslag i mengdeforekomsten av grønnalger i den øvre del av fjæresonen.

PLANTEPLANKTON

Den alt overveiende del av produksjonen i sjøen tilskrives de planktoniske alger (planteplanktonet). Også i indre Oslofjord er det all grunn til å regne med at planktonalgene er hovedansvarlige for produksjonen av organisk stoff. De plantenæringsstoffer som føres ut i fjorden med kloakkvannet, og de som ved mikrobiologisk omsetning blir frigjort fra organiske stoffer i kloakkvannet, skaper grunnlag for oppvekst av svære bestander av planktonalger. Dette er et særlig karakteristisk trekk ved den type forurensede vannmasser som vi har i Oslofjorden. Denne økte produksjon av organisk stoff i fjordvannet på grunnlag av stoffer tilført med kloakkvannet, betyr en belastning med organisk materiale som kommer i tillegg til det som blir tilført fjorden direkte ved tilløpene.

De store bestander av planteplankton i et forurenset område har en tredobbelt virkning, sett fra et forurensningssynspunkt. Dels påvirker de forholdene i selve overflatelagene, dels fører de til en øket belastning av dyplagene med organiske stoffer, idet både plankton



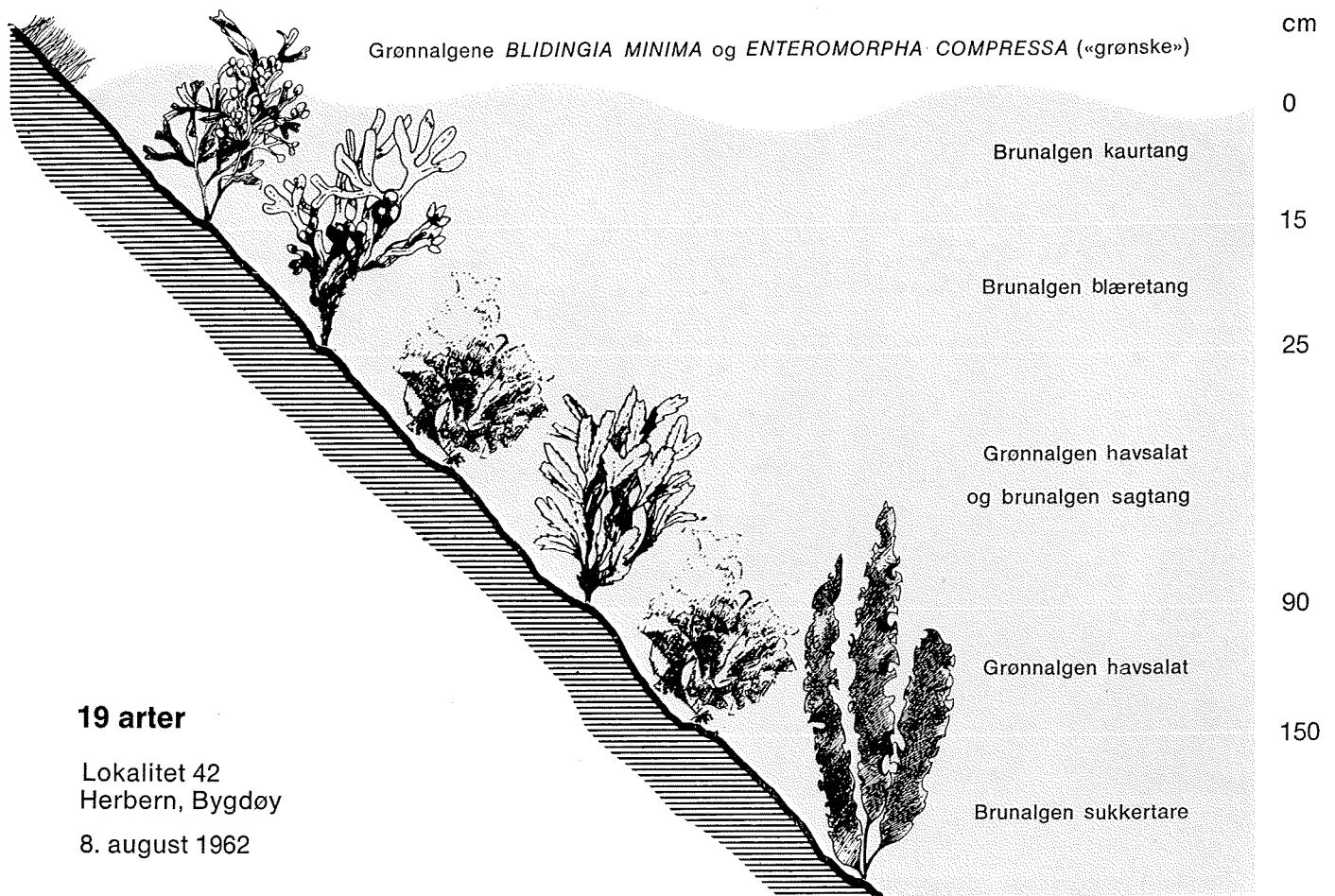


Fig. 14. Vegetasjonsprofiler.

Vegetasjonen forandrer seg gradvis innover fjorden. Artsantallet minker, og «grønsken» blir mer dominerende.

og dyreplanktonets ekskrementer synker og blir omsatt ved biologiske prosesser. For det tredje reduserer de lystilførselen og dermed mulighetene for oksygenproduksjon i de underliggende vannmasser.

Det er et meget omfattende materiale av planteplanktonprøver som er blitt undersøkt, og resultatene viser at forekomsten av de planktoniske alger varierer sterkt både i tid og rom, og at den er sterkt influert av gjødslingseffekten fra forurensningen.

Ved enkelte anledninger er det i den indre del av fjorden blitt tatt overflateprøver fra et tett stasjonsnett (fig. 15). De har vist at planktonalgens utbredelse under sønnavindssituasjonen om sommeren er konsentrisk i forhold til Oslo havn. Noen arter har størst forekomst innenfor øyområdet, og andre forekommer nesten ikke i de mest sentrale områder, men har store bestander i det ytre øyområde fra Bygdøy over mot Nordstrand. De raskeste skiftninger i bestandene av planteplankton som er påvist, skyldes vanntransport ved vindvirkning. Store bestander som er vokst opp på grunnlag av næringsstoffer tilført ved forurensning, kan ved vindtransport av overflatelagene bli ført langt vekk fra forurensningsområdet. Det er derfor vanskelig, på grunnlag av planteplanktonbestanden, å gi en karakteristikk av den primære forurensningsgrad på de forskjellige lokaliteter.

Selv uten noen sterk vindtransport skjer det også raske endringer, da veksten har eksponentiell karakter, og det kan skje en rask «oppblomstring» av enkeltarter slik at overflatevannet blir synlig påvirket (misfarget). Beiting ved dyreplankton kan på den annen side føre til en meget rask nedgang i bestanden.

Gjennom algens vertikalfordeling får man et inntrykk av produksjonslagets tykkelse, som varierer med årstiden. De fleste steder i den indre fjord var den i 1962–1965 om sommeren bare ca. 10 m, mens den om våren nådde noe lengre ned. I våre kystfarvann for øvrig, hvor vannet er mindre grumset av tilførte partikler og hvor planteplanktonet ikke er så rikt, er produksjonslaget betraktelig tykkere.

Det har i undersøkelsesårene 1962–1965 regelmessig opptrådt masseforekomster i hele den indre fjord på ettersommeren og høsten, mens de om våren og forsommeren har vært mest fremtredende i den innerste del. Dette henger sammen med den ulike hydrografiske situasjon på de to årstider og de ulike vindforhold.

Ved vurdering av den årvisse masseforekomst av planktonalger i Oslofjorden som skyldes gjødslingseffekten av forurensningen, er det verdt å være oppmerksom på at de isolerte tilfelle av liknende masseforekomster som har vært iaktatt i åpne farvann på norskekysten har en annen årsak, idet de skyldes eksep-



Fig. 15. Utbredelseskart for enkeltarter av planteplankton.

sjonelle hydrografiske situasjoner, som har ført til oppstrømning av næringsrikt dypvann.

Planteplanktonets artssammensetning veksler fra år til år. Særlig påfallende er dette i sommerhalvåret, mai–oktober. Dette er årsaken til at fjordvannet vil kunne ha vekslende kvalitet, sett fra rekreasjonssynspunkt. Særlig ugunstige blir forholdene når planteplanktonet er dominert av kalkflagellaten *Coccolithus huxleyi*, som fører til at vannet blir sterkt misfarget (grønt til hvitt) og blir grumset. Dette har forekommet med uregelmessige mellomrom i hvert fall fra 20-årene. Fjordvannet blir i slike tilfelle så endret at det påkaller stor oppmerksomhet hos publikum og gir forurensningsproblemer dagsaktuell interesse.

I 1962–1965 var det ikke noen slik masseoppreden av kalkflagellater, men ved tidligere undersøkelser, f. eks. i 1935 og 1939, ble forholdene ved slike situasjoner studert inngående. På grunnlag av vårt kjennskap til kalkflagellatenes forekomst i Oslofjorden og våre kystfarvann for øvrig, kan det trekkes følgende slutninger: De vekslinger som er registrert i kalkflagellatenes masseoppreden i indre Oslofjord, ser ikke ut til å ha sin årsak i en vekslende forurensningsgrad av fjordvannet. Selv om det blir truffet tiltak som fører til en meget sterk reduksjon av gjødslingseffekten fra forurensningen, vil det neppe kunne unngås at det i enkelte år blir så store bestander av kalkflagellater at fjordvannet blir sterkt misfarget og lite innbydende for badning. Det må regnes med at det i alle tilfelle vil være en viss ukontrollert tilførsel av kloakkvann. Selv

om denne absolutt sett er meget beskjeden, vil den kunne være tilstrekkelig til å gi en kraftig oppvekt nettopp av denne planktonalge, som er lite næringskrevende, og misfargingen kan bli fremtredende.

En effektiv fjerning av hovedmengden av kloakkforurensningene vil imidlertid lokalt føre til en sterk reduksjon av partikkelmengden. I så fall vil misfargingen nær utslippsstedene måtte ventes å få en mindre uttalt karakter.

Virkingen av den store planteproduksjonen på de dypereliggende vannmasser skjer dels ved at noe av algebestanden synker ned under det produktive lag, dels ved at dyrene som beiter på planteplanktonet skiller ut ekskrementer som også synker. På dette viset foregår det en jevn transport av organisk stoff fra de øvre produktive vannlag mot dypet.

Omsetningen av disse organiske partikler skjer dels i selve vannmassene, dels etter at de har nådd bunnen. I begge tilfelle bidrar den til at forbruket av oksygen blir særlig stort i de områder av fjorden hvor forurensningen gjør seg gjeldende.

DYREPLANKTON

På grunnlag av tidligere erfaring fra Dramsfjorden og Breiangen hadde man håpet at undersøkelsene av dyreplanktonet skulle kunne gi verdifulle informasjon om vannmassenes bevegelser. Analyseresultatene fra de første par tokt var imidlertid så lite oppmuntrende på dette punkt at det ble besluttet å gjennomføre bearbeidelsen etter et sterkt forenklet opplegg.

Fjordfremmede organismer ble aldri påtruffet i tilstrekkelig antall for transportberegninger. På grunnlag av fordelingen av arter som var karakteristisk for henholdsvis ytre og indre fjord, fremgikk likevel den meget markante forskjell at mens øvre og midtre lags vannmasser i betydelig grad ble skiftet ut sommeren 1962, ble de stående i indre fjord gjennom hele sommeren 1963. Temperaturen i de øvre vannlag var sommeren 1963 vesentlig nærmere en normalsommer enn den var sommeren 1962. Det kan tyde på at tendensen for vannmassene til å bli stående i indre fjord sommeren igjennom representerer det normale forhold.

Evnen til å trives i forskjellige partier av fjorden er åpenbart meget forskjellig hos forskjellige komponenter i dyreplanktonet, men det er vanskelig å utrede årsaksforholdene, da de partier som har sterkest forurensning også har spesielle topografiske og hydrografiske forhold. Muligheten for spredning mot dypet som ledd i livscyklus kan således være forhindret ved utilstrekkelig dyp eller ved at det er oksygenmangel i dypvannet. Muligens er dette, og ikke selve forurensningen i vannet, årsaken til at ingen større planktonorganismer ble funnet i havneområdet.

Skjønt det tidligere har vært påvist (Beyer og Føyn, 1951) at oksygenmangel i Bunnfjorden kan utrydde nesten hele bestanden av dyreplankton, kunne ikke oksygenmangel alene gjøres ansvarlig for at mengden av dyreplankton som ble funnet i 1962–1964 var særdeles liten, særlig på de innerste lokaliteter. Et påfallende trekk var den dårlige bestand og sterke tilbakegang hos røddåten (*Calanus finmarchicus*), som ellers vanligvis er langt den viktigste planktonorganisme såvel i kystfarvann som i åpent hav i vårt geografiske område. Undersøkelsene tyder på at denne svikt skyldtes mangel på egnet næring – diatomeer – til rett tid, med andre ord at den spesielle planteplanktonutvikling i indre Oslofjord i 1962–1964 ikke passet for dyrene.

Ved å kombinere observasjoner fra dyreplanktonundersøkelsene med observasjoner fra bunnslendeundersøkelsene har det vært mulig i noen grad å vurdere enkelte organismers transportvei, og å avgjøre hvorvidt en art manglet ved bunnen på en viss lokalitet fordi den ikke fant bunnvannet akseptabelt, eller fordi den ikke fantes i hele vannsøylen.

BUNNFAUNA

De biologiske forhold langs fjordbassengenes bunnområder er på mange måter spesielt interessante. Det er vanlig å finne en rik fauna umiddelbart over eller i bunnlaget. Den består av fisk og virvelløse dyr som ernærer seg direkte eller indirekte av organisk stoff som drysser ned fra de høyere vannmasser. Bunnfaunaen

utfører et stort renovasjonsarbeid og er meget viktig for stoffomsetningen i sjøen.

De utførte undersøkelser har dels vist at det er skjedd betydelige endringer i organismesammensetningen langs bunnområdene, og dels at det er store endringer i antallet individer. Det er et tydelig skille ved Drøbakterskelen; men langt det skarpeste skille går i dag et sted mellom Spro og Huk, og det er stadig forskyvninger frem og tilbake i dette området.

I utviklingen fra frisk til råttet bunn eller omvendt, er det en rekke stadier, hvert representert ved sitt meget karakteristiske samfunn av dyr, det mest allsidige dyresamfunn ved den friskeste bunn. Undersøkelsene synes entydig å kunne fastslå at vannets oksygeninnhold er den avgjørende faktor for dyreliv ved bunnen. Så lenge det er over en viss minimumsverdi, vil det tillate dyreliv, og ved høyt oksygeninnhold vil det gjerne være store forekomster og mange arter. Antallet individer er gjerne større jo mer organisk stoff det tilføres lokalitetene. Ved synkende oksygenverdier i vannet umiddelbart over bunnen vil artene falle ut etter sine spesielle behov. Når oksygeninnholdet blir null, vil alt dyreliv forsvinne.

Ved å samle prøver av dyresamfunnene med bunnslende har det på en rask måte vært mulig å få klarlagt den relative tilstand på forskjellige lokaliteter i fjorden, og ved gjentatte innsamlinger er det påvist hvilken vei utviklingen går. Faunaen har vist seg å være en meget følsom indikator for denne utvikling som går i utpreget bølgegang. (Fig. 16).

Lysakerfjorden og den innerste del av Vestfjorden befinner seg for tiden i en kritisk fase, hvilket også fremgår klart av cand. real. Dag Risdals studier av foraminiferfaunaen i bunnslendene i 1961–1963. Det er åpenbart at dette fjordparti i dag har en større forurensningsbelastning enn området over lengre tid kan fordøye. Det ytre, åpne parti av Lysakerfjorden befinner seg i dag, ifølge toppsediment og fauna, på grensen til å bli oksygenfritt, og i samme fase som det dypeste parti av Bunnfjorden befant seg for ca. seksti år siden.

I det dypeste parti av Bunnfjorden (140–160 m) finnes det i dag ikke lenger noen bunnfauna. Selv i de moderate dyp (80–90 m) ved Kirkevik og Hellvik finner vi bare fragmenter av en bunnfauna, og den makter ikke lenger sin oppgave: å ta hånd om alt det organiske materiale som avsettes. Det vil være av største interesse at man i fremtiden holder seg orientert om bunnfaunaen i forskjellige partier av fjorden.

Sammenliknet med undersøkelser utført i tredveårene er det påvist at forurensningspåvirkningen i Drøbakområdet i dag er større enn den gang. Dyresamfunnene langs bunnen innenfor terskelen er i dag artsfattigere enn de er på utsiden, hvilket ikke syntes



Lokalitet: Elle
Dato: 11.11.1964
Dyp: 200 m
Slepedistanse: 916 m

Lokalitet: Spro
Dato: 11.11.1964
Dyp: 160 m
Slepedistanse: 919 m

Lokalitet: Steilene
Dato: 12.11.1964
Dyp: 100 m
Slepedistanse: 812 m

Lokalitet: Gåsøy
Dato: 12.11.1964
Dyp: 70-65 m
Slepedistanse: 857 m

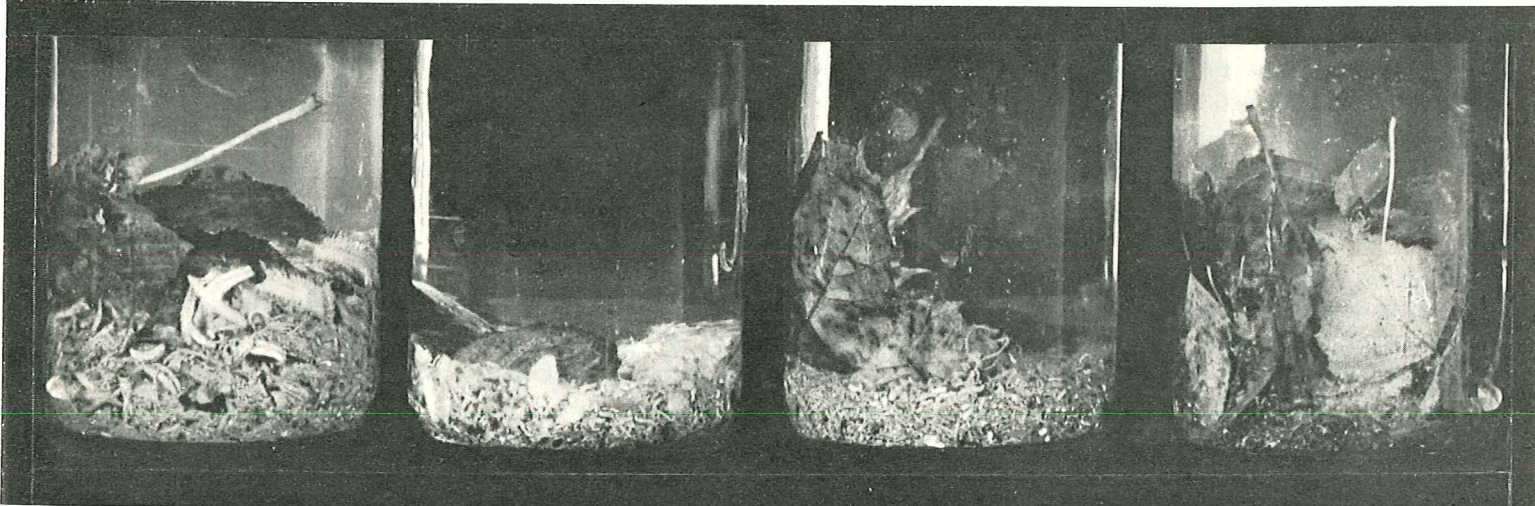


Fig. 16 Lokalitet: Lysakerfjord
Dato: 10.11.1964
Dyp: 80-70 m
Slepedistanse: 923 m

Lokalitet: Hellvik
Dato: 10.11.1964
Dyp: 80 m
Slepedistanse: 816 m

Lokalitet: Kirkevik
Dato: 10.11.1964
Dyp: 85-70 m
Slepedistanse: 384 m

Lokalitet: Svartskog
Dato: 10.11.1964
Dyp: 160 m
Slepedistanse: 848 m

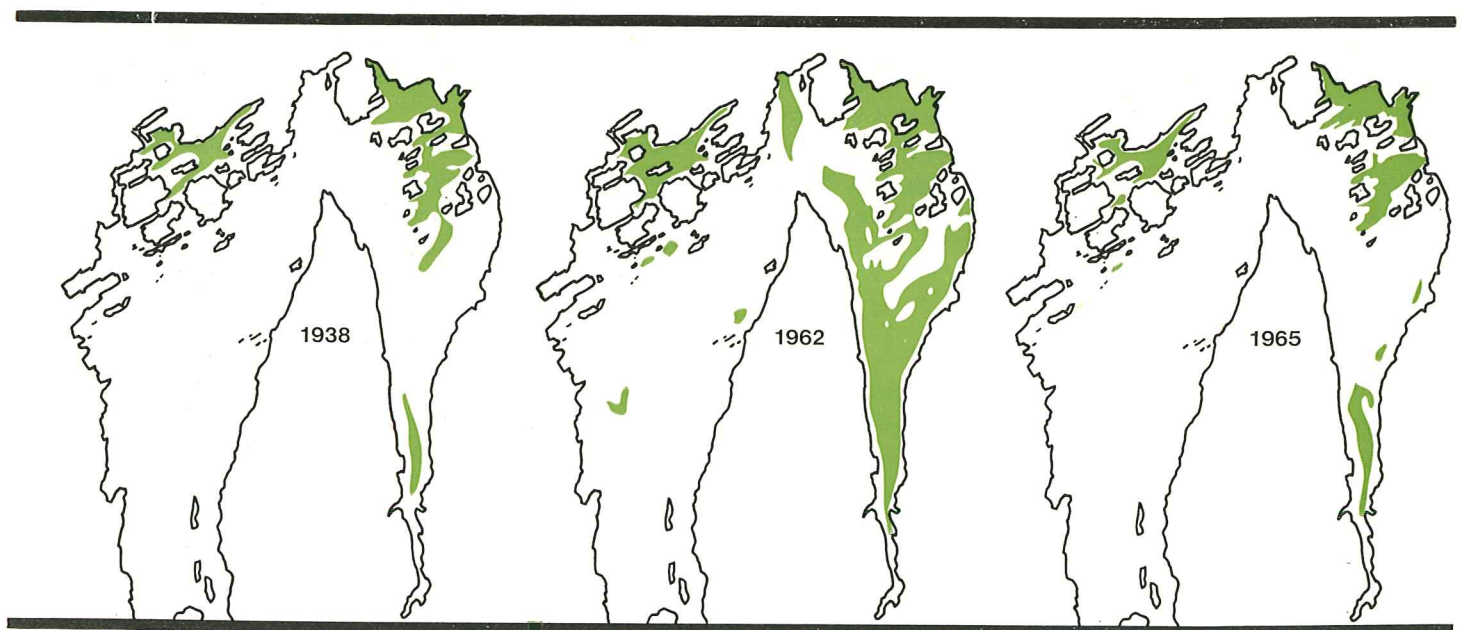


Fig. 17

Fig. 16. Fauna-prøver innsamlet med bunnslede.

Bunnfaunaen har vist seg å være særdeles følsom overfor variasjoner i vannets oksygeninnhold når dette kommer under en viss grense. Da grenseverdien er ulik for forskjellige komponenter i faunaen, kan dennes fordeling gi oss en både nyansert og markert skala til karakterisering av tilstandene i forskjellige fjordpartier. De avbildede prøver viser bunnfaunaen fra 8 lokaliteter langs fjordens lengdeakse fra Elle utenfor Drøbakterskelen til Bunnefjordens dypområder. Mens der på de ytterste lokaliteter fantes en både variert og rik fauna, med blant annet forskjellige sorter reker og mange andre krepsdyr, viste lokalitetene innover i fjorden en tiltagende fattigdom i faunaen, og på den innerste lokalitet fantes ingen bunndyr i det hele tatt.

Når der ikke er noen dyr til å spise det, hopper der seg opp organisk materiale som blir liggende å råtne. Det dannes H_2S , som forgifter vannet, og sedimentet blir svart.

Fig. 17. Utbredelsen av områder med råttent bunn i 1938, 1962 og 1965.

Utviklingen fra frisk til råttent bunn er slett ikke en kontinuerlig prosess, men en utvikling som går i utpreget bølgegang. Over store områder av indre Oslofjord blir bunnen i dag så sterkt belastet med oksyderbart materiale at de variasjoner som forekommer i vannutskiftingen (og dermed oksygentilførselen) fra år til annet, og som henger sammen med meteorologiske forhold, gjenspeiler seg som omfattende forandringer i toppsedimentets oksidasjonstilstand. Innenfor undersøkelsesperioden 1962–65 hadde vi antakelig både omtrent så stor og omtrent så liten utbredelse av råttent bunn som kan fremkomme i vår tid. En situasjon svarende noenlunde til den som vi hadde i 1962 ble også registrert i 1950 – ikke minst av rekefiskerne – men aldri tidligere.

Fig. 18. Sedimentkjerne som viser børstemakk og ekskrementer.

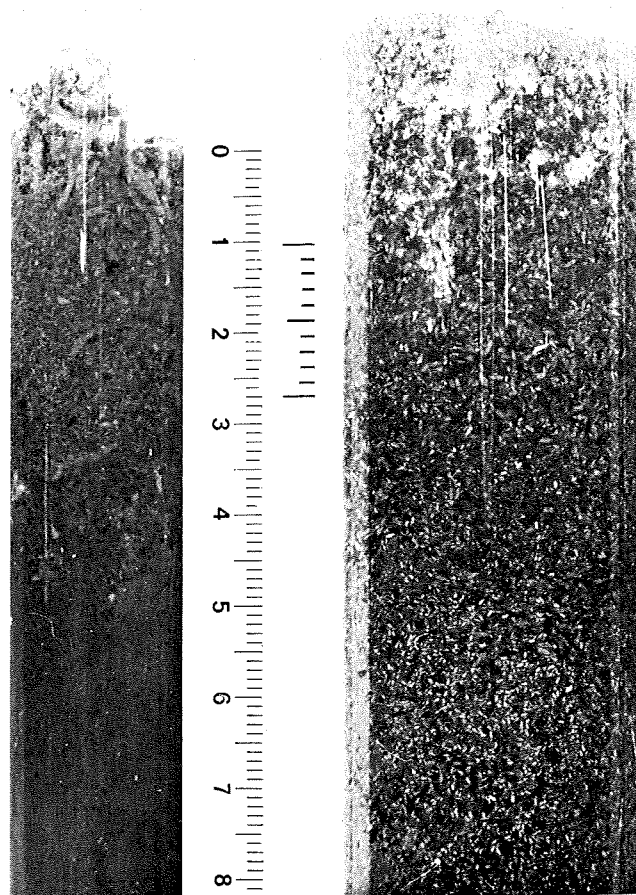
Så sant toppsedimentet ikke er svart og H_2S -holdig, kan man bestandig finne børstemakk. Disse dyr tolerer særdeles lave oksygenkonsentrasjoner i vannet, og de er de første til å ta et tidligere råttent område i besittelse når en sjanse byr seg. Den ekstra tette bestand av børstemakk som vises i røret til venstre (Nr. 18, fra 34 m dyp i Springeren, mellom Hovedøen, Blekøen, Gressholmen og Lindøen, 1965) skriver seg fra en lokalitet som allerede i 1938 ble funnet å være råttent og uten dyreliv. Den omfattende vannfornyelse i 1963 førte imidlertid til en radikal forbedring.

Til høyre ser vi en forstørret gjengivelse av øvre del av sedimentkerne nr. 34 – vist på fig. 19. På toppen er det en løs og vannholdig, amorf masse som ennå ikke er blitt spist. Det nedenforliggende lag består nesten utelukkende av ekskrementer fra bunndyr.

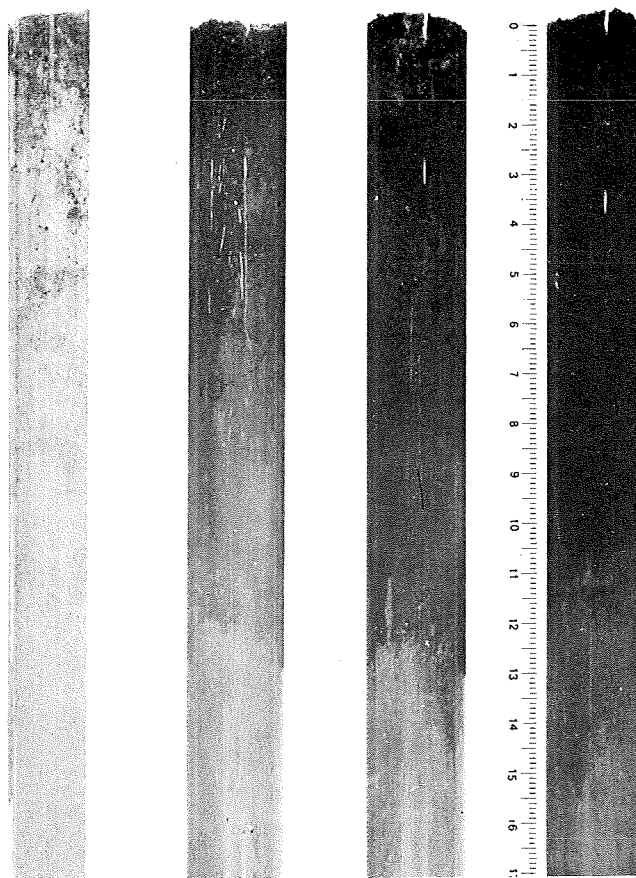
Fig. 19. Forskjellige typer av sedimentkjerne.

Prøven lengst til venstre (fra 30 m dyp like sønnenfor Steilene, 1962) viser sediment som aldri har vært råttent, mens prøven lengst til høyre (Nr. 18, fra 116 m dyp ved Ljanflu, 1966) vitner om permanent råttenskap de siste par decenni (fordi de øverste 2 cm av sedimentet er fullstendig fri for ekskrementer). Den mørke fargen viser at lokaliteten har vært meget dårlig i lang tid, mens den lyse fargen på sedimentet nedenfor viser at dette en gang i tiden ble avsatt i friskt vann.

Prøve nr. 8 (fra 95 m dyp ved Ulsvik, 1966) illustrerer en lokalitet som fremdeles er frisk vanligvis, men leilighetsvis råttent, mens nr. 34 (litt nærmere Oslo, 91 m dyp, 1966) viser sediment som er sterkere belastet og nå bare leilighetsvis er friskt.



18 34 Fig. 18



55 8 34 18 Fig. 19

å være tilfellet i tredveårene. I dag er det imidlertid også en utvilsom forurensningspåvirkning i området like utenfor Drøbakerskelen.

Det er nå store bunnområder i indre Oslofjord som er oksygenfrie til stadighet eller nesten bestandig. På disse områdene er det fritt for alt dyreliv, og forholdet er lett å påvise ved prøver av bunnslammet. Dette har helt svart karakter, fordi sulfater i oksygenets fravær reduseres til sulfid som felles ut som svart jernsulfid. Man kan derfor med en enkelt prøve av selve bunnmaterialet fastslå hvorledes forholdene er der.

Som tidligere nevnt har det i løpet av undersøkelsesperioden vært flere mektige innstrømninger av dypvann som har betydd meget for fjordens tilstand. Det har vært bedre oksygenforhold i Oslofjordens vannmasser i årene 1963–1966 enn det har vært i årene før. Da undersøkelsene begynte i 1962 var det større oksygenfrie områder av bunnen enn det har vært senere i perioden. (Fig. 17).

Denne forbedring av vannforholdene langs bunnen har hatt en markert og interessant virkning. Det har nemlig vist seg at de døde bunnområder relativt raskt kunne befolkes på ny med en rekke forskjellige marine organismer. Deres tilbakevenden er bestemt av hvor hurtig transport de kan få ved egen kraft eller ved vannmassenes bevegelser.

I Springeren (mellom Hovedøy, Blekøy, Gressholmen og Lindholmen) ble virkningen av den kraftige vannutveksling i 1963 uventet sterk og langvarig, og dette antas å ha sammenheng med at en betydelig mengde kloakkvann ble overført fra Loelva til Bekkelaget. Dette området, som var råttent allerede i 1938, fikk en tett bestand av polychaeter (børstemakk) etter 1963.

Disse markerte og for det meste forbigående bedringer av råtne bunnområder viser et forhold som er alminnelig kjent fra mange andre forurensningssituasjoner. Naturen har evnen til relativt raskt å reparere på skadene når de skadelige faktorer blir eliminert. Det kan trekkes den slutning at hvis det ved tiltak er mulig å forhindre at det oppstår oksygenfritt vann i fjordens dypeste områder, vil et rikholdig organismeliv være sikret. Det skulle for så vidt være muligheter for at Bunnefjorden, hvor man tidligere hadde de beste feltene, med tiden igjen kunne bli rik på reker. I dag er dypvannsreker totalt forsvunnet fra Bunnefjorden, meget sjeldne i Lysakerfjorden og høyst variabel i sin forekomst lengre utover i Vestfjorden.

Som supplement til de zoologiske vurderinger av bunnforholdene er det tatt en rekke bunnprøver som er blitt vurdert visuelt, og de bekrefter de tidligere observasjoner. På basis av hvor dypt ned de «svarte soner» når i bunnsedimentene, tillater de også vurdering av hvor i fjorden de oksygenfrie tilstander først

forekom og hvor forholdene er mest kritiske. (Fig. 18 og 19).

Sedimentprøvene og bunnsledeprøvene har for øvrig også demonstrert hvilket effektivt renovasjonssystem bunnfaunaen er. På de døde områder finner man i bunnsledeprøvene bestandig løv og andre organiske partikler som skriver seg fra overflatevannet. Den slags ser man nesten aldri i prøver fra de friske bunnflatene.

Det har i forbindelse med diskusjonen om de biologiske forhold i Oslofjorden vært hevdet at man burde kunne hjelpe de biologiske prosesser til å komme i harmoni, slik at fjorden tross en viss forurensningspåvirkning kunne ha høy produksjon av fisk og andre verdifulle organismer. Det kunne til og med tenkes at man kunne få en betydelig øket produksjon som følge av forurensningen. Det er grunn til å fremheve betydningen av den biologisk sett labile tilstand som fjorden er kommet i, og som gjør det lite sannsynlig at man skal kunne få disse prosessene under kontroll uten å endre årsakene til dem. Det synes derfor rimelig å anta at hvis man ville legge vekt på en viss produksjon av nyttbare sjødyr for ervervs- eller sportsformål, måtte man først og fremst ta sikte på en betydelig reduksjon av fjordens forurensningspåvirkning.

En spesiell oppmerksomhet bør vies de funn av giftige blåskjell som er gjort i Oslofjorden. Takket være en meget omfattende kontroll utført ved Institutt for næringsmiddelhygiene, Norges veterinærhøgskole, har det vært mulig å følge med i om blåskjell har tatt til seg så meget av toksiske algestoffer at de er blitt giftige. Forekomsten av giftige skjell er vel kjent fra andre steder på jorden, blant annet fra forurensede områder. Det ble sommeren 1965 påvist tydelige giftmengder i blåskjell fra indre Oslofjord, slik at Helserådet måtte utstede advarsler og forbud mot bruk og omsetning av blåskjell en viss tid av sommeren. Disse forekomstene av giftige skjell skyldes store forekomster av visse planktonalger. Uansett hvilke tiltak som kan komme på tale mot forurensningene, vil det ikke være utelukket at giftproduserende planktonalger vil kunne opptre i tilstrekkelig høy konsentrasjon til at blåskjellene blir giftige, selv om sjansen for det kan bli redusert.

FISK

I forbindelse med det nåværende prosjekt er det ikke blitt utført egentlige fiskeribiologiske undersøkelser, men det er sammenstilt en del data fra fiskeristatistikk og andre opplysninger som har vært tilgjengelige. Det er som regel særdeles vanskelig å trekke klare slutninger om fiskeforekomster og årsakene til deres variasjoner. For mange av våre viktigste fiskeslag i kystområdene eller havområdene er det betydelige variasjoner som til dels kan settes i forbindelse med gyte- og

oppvekstforhold, men som ofte ikke lar seg forklare med sikkerhet. Det er derfor ikke uventet at det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner om fiskeforholdene i forbindelse med forurensningssituasjonen. Det kan imidlertid nevnes at en rekke fiskearter, som i slutten av forrige århundre ble beskrevet som karakteristiske for indre Oslofjord, særlig Bunnefjorden, nå ikke lenger kan finnes. Dette faktum må ansees som et resultat av oksygenmangel i dyplagene og er et av de holdepunkter vi har for å slutte at denne er av relativt ny dato. Enkelte andre fiskeslag synes å forekomme mer sjelden nå enn tidligere. Det gjelder både pelagiske fiskearter og bunnfisk. Noen arter finnes fremdeles i stort antall, antakelig især arter hvor bestanden er avhengig av innvandring utenfra. Det ser ut til at bestanden av laks og sjøørret bare i liten grad er påvirket av forholdene i fjorden slik de er i dag. Bestanden av disse to fiskeslag vedlikeholdes i stor grad ved kulturarbeid i tilløpene, spesielt i Sandvikselva.

En rundspørring til båteiere i indre Oslofjord viste at det er et betydelig antall amatøriskere, og at det fiskes opp et ikke ubetydelig kvantum fisk hvert år. Antall yrkesiskere som ernærer seg av fisket i indre Oslofjord, er gått sterkt tilbake. Dette er forhold som kan henge sammen med fiskeforekomstene, men må også sees i sammenheng med fiskerienes generelle utvikling. Det ser i dag ut til at utbyttet av sportsfisket kanskje kan måle seg med ervervsfisket, i alle fall er det et langt større antall personer som har kontakt med Oslofjorden gjennom sportsfisket. Det er ellers sannsynlig at variasjoner i fiskeforekomstene henger mer sammen med variasjoner i fiskens ernæringsforhold enn med at fisken selv er hemmet av endret vannkvalitet. Det fisket som inntil det siste har foregått i de indre havnebassenger kan være et godt eksempel på at pelagisk fisk ofte er lite kresne på vannmassenes kvalitet. For de senere års vedkommende er det grunn til å anta at klekke- og oppvekstbetingelsene for fiskeegg og fiskelarver er blitt dårligere og dermed har hemmet rekrutteringen.

Periodevis har Oslofjordens dypere vannmasser og selve spranlaget utviklet forhold med lave oksygenverdier eller mangel på oksygen. I slikt vann kan ikke fisk leve, og fiskeforekomstene har variert tilsvarende. Det er mulig at oksygenvikten i spranlaget kan ha virket som en sperreflate for fisken, og derved ha betydd meget for dens fri bevegelse gjennom det og dermed for dens tilpasningsmulighet i fjorden.

LABORATORIEFORSØK

Det er en vanskelig oppgave å trekke klare konklusjoner ut fra observasjoner av det kompliserte samspill av prosesser som foregår i naturen. Eksperimentelle metoder kan i mange tilfelle være hjelpemidler

som gir grunnlag for forståelse av de fenomener som studeres. Også i forbindelse med vurderinger av algebegroingsproblemet i den indre fjord er eksperimentelle metoder blitt anvendt. Algekulturforsøk, som har lange tradisjoner ved studiet av næringsgrunnlaget for algevegetasjonen, hører med til disse metoder.

Fremgangsmetoden er enkel. Under kontrollerte betingelser i laboratoriet er det mulig å bestemme hvor stor algevekst en vannmasse eller blandinger av vannmasser kan gi opphav til. Ved å tilsette vannmassene ulike mengder forurensninger kan man studere de konsekvenser dette har for algeveksten.

Ved NIVA har det vært arbeidet med slike algekulturforsøk gjennom flere år. Erfaringene som er innvunnet, viser at det etter denne metoden er mulig å gjøre vekstforsøk hvor resultatene gir tallmessige relasjoner mellom vannmassenes egenskaper, graden av forurensning og den mengdemessige utvikling av alger.

Ved algekulturforsøkene er det benyttet organismer som tilfredsstillende de krav som laboratorieforsøkene stiller, og som representerer viktige algegrupper i de respektive vannmasser. Blant annet er *Skeletonema costatum* benyttet. Dette er den kiselalgen som regelmessig har størst forekomst i Oslofjordens vannmasser.

Vannprøver innsamlet fra ulike områder av Oslofjorden har ved vekstforsøkene gitt tydelige variasjoner i algevekst. Det er funnet et betydelig vekstpotential i vann fra indre Oslofjord sammenliknet med vann fra midtre og ytre fjordområder. Men det er bare i prøvene fra områdene nær de store kloakkutslipp at laboratorieforsøkene har vist en utpreget gjødslingspåvirkning. Forsøkene har også belyst den effektive utnyttelse av næringsstoffene som algene i fjordens vannmasser har i vegetasjonsperioden. (Fig. 20).

I Oslofjorden blandes tre forskjellige vannmasser: sjøvann fra havet, ferskvann fra vassdragene og forurenset avløpsvann. Undersøkelsesteknikken har gjort det mulig å studere denne blandingen nærmere. Blandinger av kloakkvann og vann fra 40 m dyp ved Drøbak gir ikke alene så godt vekstgrunnlag for *Skeletonema costatum* som blandinger av humusholdig avrenningsvann, kloakkvann og Drøbakvann. Det viste seg at denne effekten av naturlig avrenningsvann kan føres tilbake til dets innhold av jern. Forholdet er tidligere behandlet av professor H. H. Gran, som mente at dette muligens er en av årsakene til at kystvannet vanligvis gir bedre vekstbetingelser for planktonalger enn oseanisk vann. Disse eksperimentene har bidratt til å rette oppmerksomheten mot det avrenningsvann som man ikke kan få kvalitetsmessig kontroll over.

Forsøk med blandinger av kloakkvann og sjøvann fra henholdsvis indre og ytre Oslofjord viste at virkningene med hensyn til den algevekst som kunne komme til utvikling, var forskjellige. Vekstforsøkene

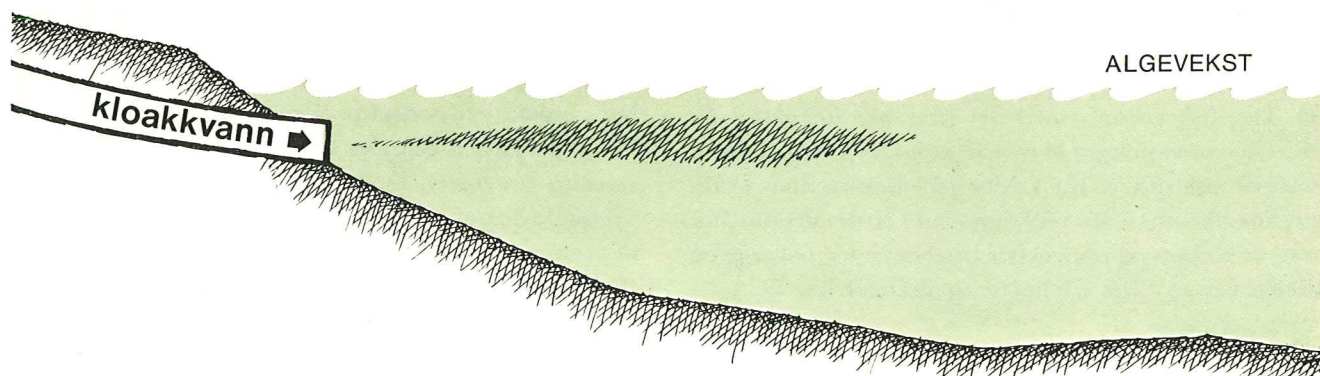
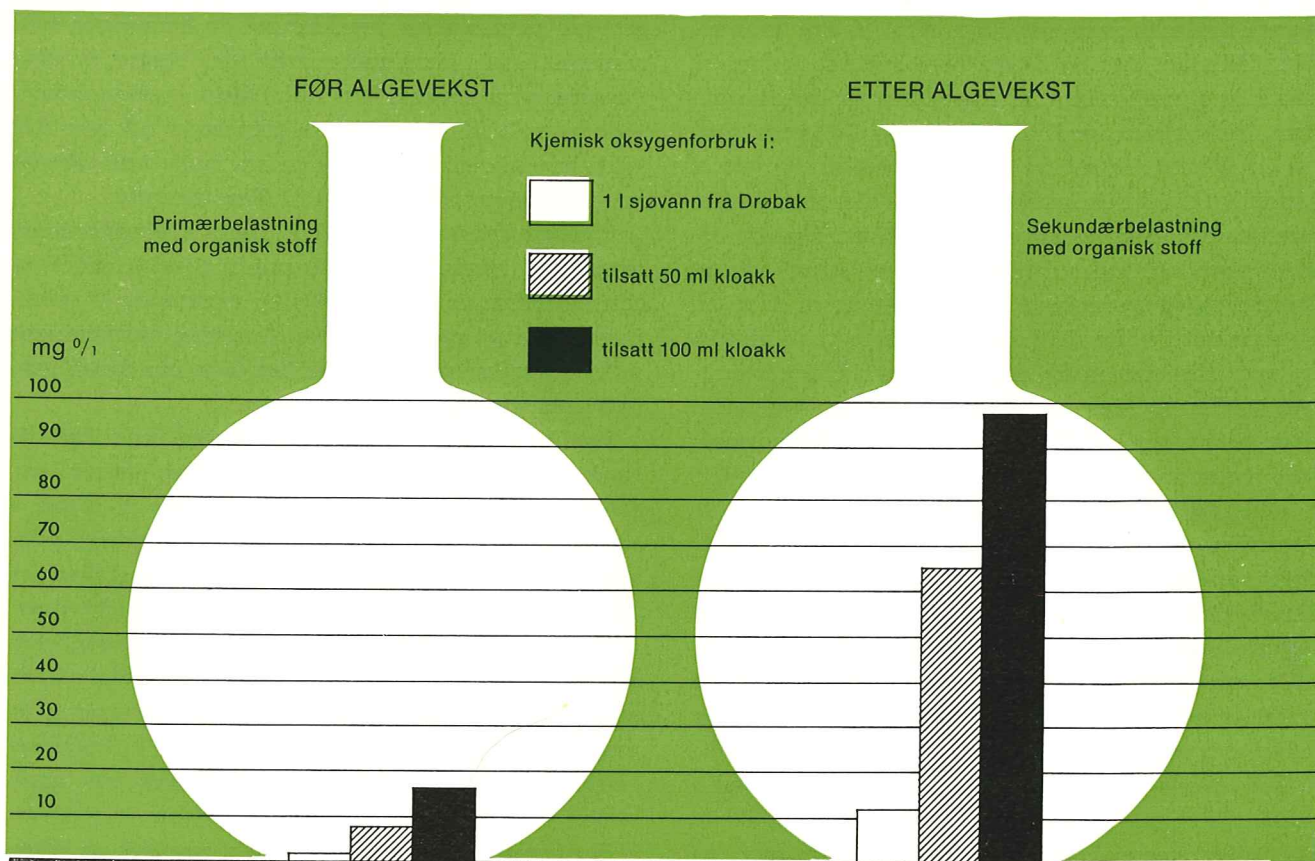


Fig. 20. Gjødslingspåvirkning av fjordvannet.

Ved bruk av algekulturer i laboratorieforsøk er det mulig å vurdere de gjødslingspåvirkninger av fjordvannet som kloakkvannet betinger. Kloakkvannet belaster Oslofjorden direkte ved sitt inn-

hold av organisk stoff, og indirekte ved å gi grunnlag for en ny produksjon av organisk stoff gjennom algevekst. Den sekundære belastning målt som kjemisk oksygenforbruk (mg O₂/l) kan være flere ganger større enn den primære belastning.

indikerte at vannmassene i den indre del av Oslofjorden befinner seg i en tilstand da en forholdsvis stor økning i kloakkvannsbelastning medfører en forholdsvis liten endring i algevekst. Tilsvarende indikerte de at vannmassene i den ytre del av Oslofjorden befinner seg i en tilstand da en forholdsvis liten økning av kloakkvannsbelastning vil medføre forholdsvis stor endring i algeveksten.

Vekstforsøkene med alger har gitt informasjon om hvilke kjemiske faktorer i vannmassene som kan være begrensende for algeveksten. Det synes særlig å være innholdet av tilgjengelige nitrogen-, fosfor- og jernforbindelser som i rent sjøvann medfører en forsterket algevekst. Dessuten er det neppe riktig å tillegge et av stoffene alene avgjørende betydning.

KJEMI

En vesentlig del av Oslofjordobservasjonene består av fysisk-kjemiske målinger. Det foreligger i litteraturen og fra NIVA's virksomhet rikelig med erfaring om forholdet mellom kjemi og forskjellige former for forurensning av vann, men langt det meste av erfaringsmaterialet er fra ferskvann og fra lokaliteter hvor forurensningen er meget markert. For slike forurensningssituasjoner som vi møter i Oslofjorden, er erfaringsgrunnlaget lite, og det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner direkte ut fra de fysisk-kjemiske data.

Det er tre kategorier målinger som kan ha interesse. For det første data som viser direkte påvirkning av primærforurensninger, for det annet data som viser innhold av næringskomponenter i vannet og for det tredje data som vedrører oksygenbalansen.

De forurensninger som tilføres Oslofjorden, og som blir nærmere omtalt i neste kapittel, tilføres på så mange forskjellige steder, og oppnår stort sett en så hurtig og stor fortykning, at det bare er i de nærmeste områder ved utslippene at det kan påvises stoffer i vannet som uomtvistelig skriver seg fra forurensningskilden. Det mest alminnelige mål for forurensning som brukes i ferskvann, er det biokjemiske oksygenforbruk, BOF_5 . Størrelsen av denne parameter i sjøvannet er imidlertid så liten at feilkilder blir av dominerende innflytelse. Det har derfor vært foretatt få slike bestemmelser.

Det knytter seg stor interesse til plantenæringsstoffene og ganske spesielt til fosfor- og nitrogenholdige stoffer. Det har lenge vært antatt at hovedeffekten av forurensningen i Oslofjorden skyldes tilførselen av slike stoffer til fjordvannet og den oppvekst av alger og andre organismer som den har ført til.

Målinger av fosfor- og nitrogenkomponenter i sjøvann har lange tradisjoner, og det er godt kjent at vekslinger av disse stoffer kan settes i direkte sammenheng med planteplanktonproduksjonen. I åpent farvann forekommer disse to komponenter overveiende i form av nitrat og ortofosfat, som er oppløselige, uorganiske salter. I mer forurensede områder må man imidlertid regne med et større innhold også av andre forbindelser. Fosfor forekommer i oppløst form som ortofosfat og polyfosfater (fra vaskemidler), og i ikke oppløst form, i levende organismer og i andre partikler. Nitrogenforbindelser i oppløst tilstand forekommer mest som

nitrat, nitrit eller ammoniumforbindelser, eller i ikke oppløst tilstand som bestanddel i levende og dødt organisk materiale i form av reduserte nitrogenforbindelser.

Det forhold at disse to essensielle næringskomponenter kan forekomme i mange former, og det at forekomstene analytisk sett er små, gjør at en påvisning av fosfor- og nitrogenstoffene medfører betydelige analytiske problemer.

Som i andre farvann er det i Oslofjorden funnet sesongmessige vekslinger i fosfor- og nitrogeninnholdet fra vinter til sommer. I sommerhalvåret tjener disse stoffer som næring for algene i overflatelaget. I det sterkest forurensede område av Oslofjorden er det imidlertid som regel en viss rest tilbake, og det kan tyde på at tilførselen av næringsstoffer her er så rikelig at algene ikke alltid klarer å få brukt dem opp. Dette gjelder særlig fosfatene.

I dyplagene er det små variasjoner i innholdet av fosfor- og nitrogenforbindelser gjennom store deler av året. Det meste foreligger i form av ortofosfat og nitrat, bortsett fra i de vannmasser hvor oksygeninnholdet nærmer seg null og nitrogenet av denne grunn forekommer i andre former. Det har vært påvist at det i de dypere vannmasser skjer en akkumulering av nærings-salter. (Fig. 21). Hvis dypvannet blandes opp i overflatevannet, kan det få særlig uheldige konsekvenser ved at algeveksten blir stimulert.

Undersøkelsene har vist at denne akkumulering i de dypere vannmasser ikke har så store virkninger som det kunne fryktes. Dette må skyldes at dypvannsutskiftningene ved innstrømming og diffusjonsprosesser antakelig er mer virksomme og hyppigere forekommende enn vi tidligere var oppmerksom på. Undersøkelsene har vist at det foregår en meget vidtgående nedbrytning av organisk stoff og frigjøring av nærings-salter i hele vannmassene i den uproduktive årstid, og i de dypere lag også i den produktive årstid. I tiden februar—oktober, da det i de øverste vannmasser foregår en produksjon av planteplankton og et forbruk av næringsstoffer, kan de kjemiske analyser ikke gi opplysning om disse prosesser i de øvre lag.

De analyser som er utført over forekomstene av de to andre viktige næringskomponenter, silisium og jern, gir ikke grunnlag for å anta at de er begrensende for plante-

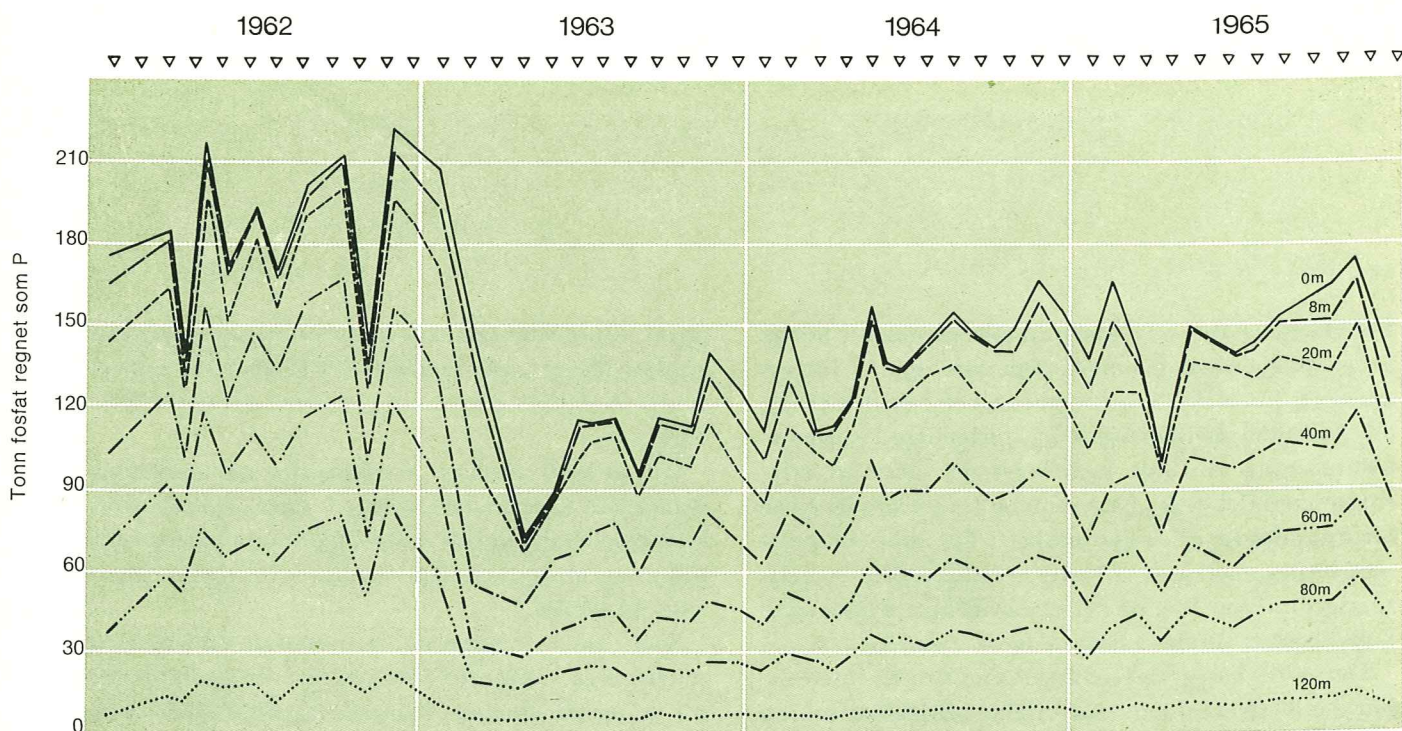


Fig. 21. Akkumulasjon av ortofosfat i Bunnefjorden.

Kurvene viser mengde ortofosfat oppløst i hele vannmassen under de respektive dyp. Vertikalavstanden mellom to kurver viser mengde oppløst mellom de angjeldende dyp.

veksten. Variasjoner i disse stoffer har derfor mindre interesse. Silisium er forøvrig viktig bare for kiselalgene og av mindre betydning for veksten av andre algearter.

I det hele viser resultatene for forekomst av planteplankton og innhold av kjemiske næringssalter en tilfredsstillende overensstemmelse med hva man på forhånd kunne vente.

Oksygeninnholdet tiltrekker seg alltid betydelig oppmerksomhet i forurensningssaker og er i sin alminnelighet den viktigste enkeltparameter som brukes for slike vurderinger. Et betydelig oksygenvinn i Oslofjordens dypere vannmasser (fig. 22) var et av de trekk som ga vitenskapsmennene en klar indikasjon på Oslofjordens stigende forurensningsbelastning. Et markert oksygenvinn, som periodevis førte til helt råtne vannmasser, ble observert i Bunnefjordens hovedbasseng, i Bekkelagsbassenget og i Bærumsbassenget.

Målingene har vist at i de vannmassene som er stagnerende over lengre tidsrom, foregår det et jevnt forbruk av oksygen. Takket være de mange målinger som er foretatt, lar oksygenforbruket i de dypere vannlag seg fastslå med rimelig sikkerhet. Summen av produsert og tilført organisk stoff i de øvre vannmasser, som er bestemmende for oksygenforbruket i dyplagene, lar seg derimot ikke fastsette med sikkerhet. Dette skyldes at det ved aktiviteten til planteplankton, dyreplankton og mikroorganismer samtidig foregår oppbygging

og nedbrytning av organisk stoff. Disse prosesser lar seg ikke bestemme kvantitativt.

Imidlertid viser oksygenforbruket i de dypere vannmasser en slik størrelse at man uten videre kan slå fast at mesteparten av det organiske stoff som belaster dypvannmassene, ikke er tilført direkte med elver og avløp fra land, men må skrive seg fra den sekundære, biologiske produksjon som foregår i selve fjorden, og som i sin tur er avhengig av tilførte plantenæringsstoffer. En viss del av det produserte organiske stoff i overflaten synker ned, og belaster vannmassene i dypet.

Slik de foreliggende undersøkelser har beskrevet forholdene i de dypere vannmasser, er det naturlig fra kjemisk side å rette oppmerksomheten først og fremst mot oksygenforholdene og de variasjoner disse kan føre med seg for det kjemiske miljø. For øvrig er vannmassene i dypet tilfredsstillende som miljø for sjøvannsorganismer.

De spesielle oksygenforhold som undertiden opptrer i sprangsjiktet er av særlig interesse, idet det ofte opptrer et tydelig oksygenminimum i sprangsjiktets nedre del. Tilsvarende fenomener er også kjent fra kystvannet og særlig tydelig fra sprangsjiktet i belastede innsjøer. En antakelse er at synkende materiale på grunn av tetthetsdifferansen får en relativt lang oppholdstid i dette nivå (falsk bunneffekt), og at dette medfører et øket oksygenforbruk.

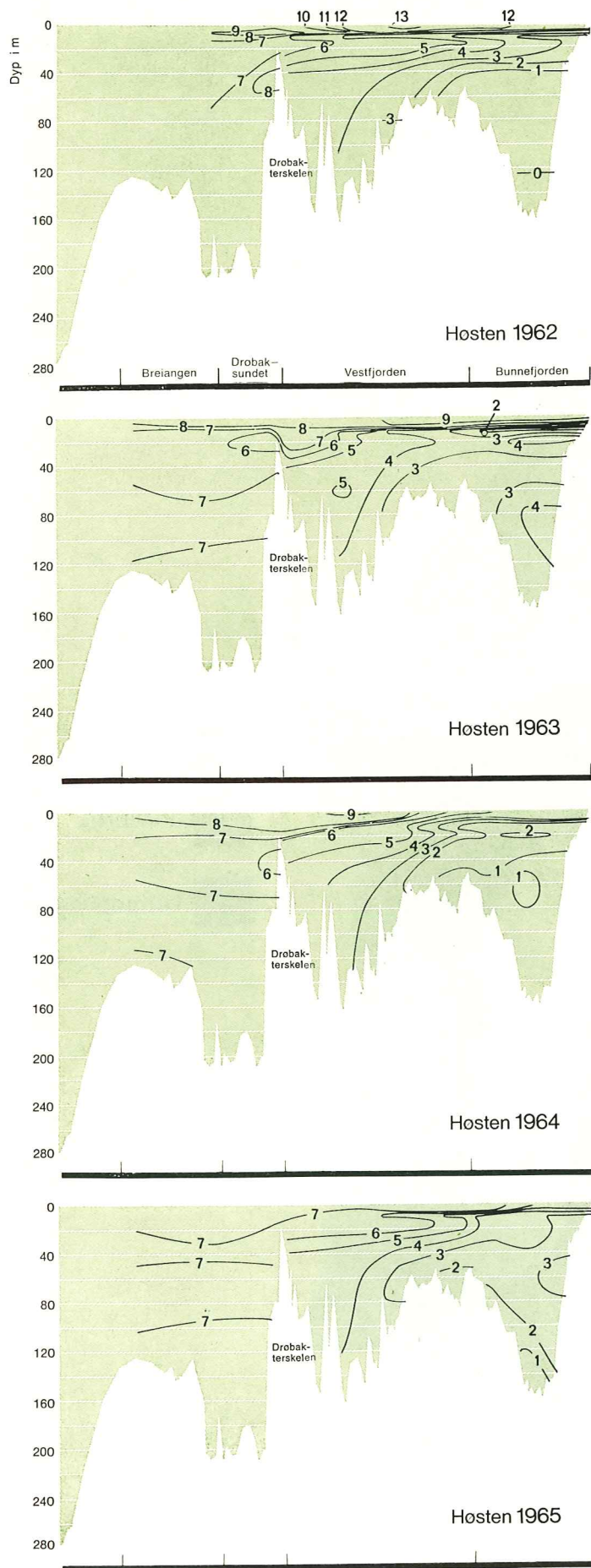


Fig. 22. Oksygenforholdene. Utviklingen i dyplagene fra år til år i 1962–1965.

Hvert bilde representerer ett tokt i fjorden og viser oksygenfordelingen i et vertikalsnitt langs dens sentrale lengdeakse. Kurvetallene angir oksygeninnholdet i milligram/liter.

I alt foreligger det 58 slike situasjonsbilder fordelt over de 48 måneder som feltarbeidet varte. Her er tatt med én høstsituasjon fra hvert av de 4 år – alle valgt fra tidsrommet omkring 1. oktober. For forholdene i de dypere vannlag – som figuren skal demonstrere – spiller for øvrig datoen ikke avgjørende rolle, idet utviklingen her er langsom og stabil gjennom lengre tid. Forholdene i overflatelaget varierer derimot raskt og innen vide grenser (særlig på grunn av vinden) og egner seg ikke for sammenlikning i denne form.

Oksygenet i de dypere vannlag forbrukes i stagnasjonsperiodene raskere enn det fornyes, slik at innholdet etter hvert avtar. De spontane utskiftninger av selve vannmassene, som inntreffer av og til, vil imidlertid bringe nytt oksygen inn i større mengder og i løpet av kort tid slik at de høyere konsentrasjonsnivåer reetableres. For det innerste basseng (Bunnefjorden) fant det sted to slike utskiftninger i løpet av de fire år – én vinteren 1963 som omfattet alle dyp og én vinteren 1965 som ikke nådde helt ned til de største dyp. I Vestfjorden ble alt dypvannet utskiftet hver vinter.

Snittene viser den normale situasjon at oksygenivået i dypet synker innover i fjorden. Dessuten trer resultatene av de to utskiftningsperioder i Bunnefjorden klart frem når de 4 snitt betraktes i sammenheng. De årvisse utskiftninger i Vestfjorden sees ikke av kurvene på samme måte, fordi alle snitt her representerer samme årstid. Hvis både vår- og høstsnittene var blitt tatt med i figuren, ville også Vestfjordens utskiftninger ha vært tydelige.



Fig. 23. Nedbørfeltet til indre Oslofjord.

TILFØRSLER OG MATERIALBALANSE

Nedbørfeltet til indre Oslofjord er 1384 km² stort og består av 13,4 % bebygget mark, 15,6 % jordbruksområder og 71,0 % skogsområder med noe myr. (Fig. 23). Nedbørfeltet er relativt lite, og avløpet føres via en rekke bekker og elver til fjorden. I middel tilføres fjorden 26,1 m³ ferskvann/sek, foruten nedbør som faller direkte på fjorden (svarer til ca. 1,5 m³/sek). (Fig. 24).

Den nåværende boligmessige og industrielle utvikling i Osloområdet har sin begynnelse i forrige århundre. De avløpstekniske innretninger er bygget og modifisert gjennom mange år, og det opplegg som er i funksjon i dag, er blitt ganske komplisert, slik at det er vanskelig å få oversikt over hvordan avløpet skjer. Omlegging av avløpsinnretninger foregår til stadighet i hele feltet, men det er hver gang av lokal karakter, og det er en nærmest uoverkommelig oppgave å foreta en gjennomgripende ombygging og modernisering av hele avløpsnettets til samme tid.

Alt avløp ble opprinnelig basert på behandling i septiktanker eller tilsvarende små lokale anlegg, og utslipp i elv, bekk eller nærmeste del av fjorden. Etter hvert som dette skapte ulemper, ble det foretatt successive omlegginger ved at avløpene ble samlet i noe større enheter og til dels underkastet rensning, og ved at bekker ble lukket og ført i rør som en del av kloakkledning.

I langt den største del av bebyggelsen i nedbørfeltet er kloakkledningen gjennomført etter et kombinert system, hvor kloakkvann fra hus blandes sammen med drens vann, takvann og annet overflatevann. Videre er ledningene stort sett lagt slik at de virker drenerende på området de går gjennom. Derved blir kloakkvannet ytterligere oppblandet. Resultatet er at kloakkvannet blir betydelig fortynnet og at vannføringen i kloakkledningene varierer sterkt etter nedbør og avrenningsforhold.

Av hensyn til kloakknettets drift har det vært installert et stort antall overløpsanordninger som skal tre i kraft ved særlig høye vannføringer i ledningen. Disse overløpene er som regel ikke gjenstand for regelmessig tilsyn og har heller ikke alle vært ombygget i takt med utviklingen. Fordi nye byggefelter ofte kommer ovenfor gamle, har vannføringen i mange kloakkledninger steget langt utover det de i sin tid ble konstruert for,

og mange av overløpene må antas å være i mer eller mindre konstant funksjon. Dette vil si at en rekke av vassdragene konstant tilføres kloakkvann, selv om det tilhørende nedbørfelt på kartet er fullt dekket av kloakknett.

Ved enhver kloakkteknisk planlegging er det viktig å redusere kloakkvannsmengdene mest mulig og å holde «rent» vann, som takvann, drens vann og overflatevann utenom selve kloakkvannet. De tekniske beregninger som må gjennomføres for å finne i hvilken grad det er formålstjenlig med separat avledning av det forurensede vannet, er kompliserte. Imidlertid går utviklingen i retning av at stadig mer vidtgående rensiltak blir ansett nødvendige, og dermed øker betydningen av å holde det forurensede avløpsvann helt adskilt fra alt annet avrenningsvann.

Forurensningsbidraget som følger overflateavrenningen fra områder som utnyttes for bolig- og jordbruksformål er vanskelig å vurdere, men dette avrenningsvannet inneholder flere komponenter av betydning for den samlede vurdering. Som eksempel kan nevnes at i de betydelige hagearealer i Oslofjordområdet anvendes det store mengder kunstgjødsel og andre kjemikalier, og at en betydelig del av disse stoffene vil finne veien via kloakkledninger og vassdrag til fjorden.

Som et ledd i Oslofjordprosjektet er det gjennomført en omfattende kartlegging av avrenningsvann. Dels har denne vært konsentrert om viktige forurensede hovedvassdrag, dels om rene kloakkutslipp. Som følge av de kompliserte forhold som er nevnt ovenfor, og de betydelige vanskeligheter ved på kort tid å fremskaffe oversikt over alle avrenningsforhold, er det vesentlig usikkerhet som hefter ved de foreliggende resultater. Gjennom de foretatte målinger og arealvurderinger er det imidlertid for første gang blitt laget en sammenstilling over de vannmengder og forurensningskomponenter som tilføres Oslofjorden. En slik sammenstilling er et sentralt utgangspunkt for tekniske vurderinger. Det er derfor etter vår oppfatning forsvarlig å legge stor vekt på de opplysninger som er fremkommet. Samtidig er det viktig at dette kartleggingsarbeid fortsetter som en nødvendig forberedelse til de videregående tekniske vurderinger. De oppgitte tall må dessuten stadig ajourføres etterhvert som nye avledningstiltak og

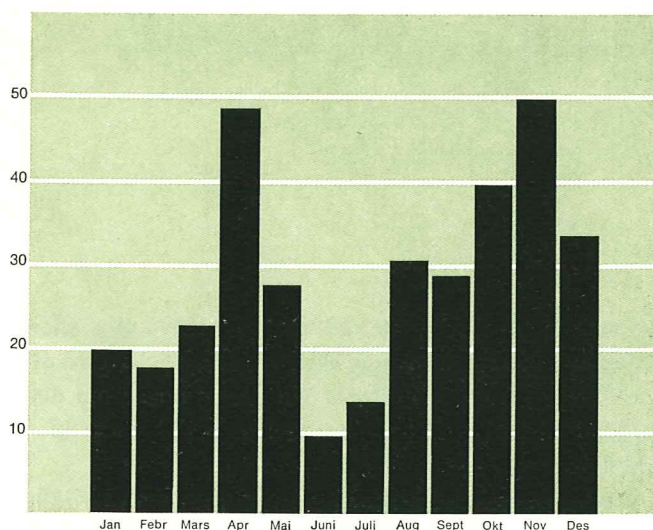


Fig. 24. Midlere ferskvannsavrenning til indre Oslofjord (i m³/sek).

rensetiltak blir gjennomført. Det foregår betydelig utvikling i alle kommuner på dette felt.

Avløpsmålingene har i første rekke konsentrert seg om fosfor- og nitrogenholdige stoffer og om organisk stoff. (Fig. 25). Omregnet for hele nedbørfeltet svarer utslippet til 2.5 g fosfor, 12 g nitrogen og 75 g organisk stoff regnet som kjemisk oksygenforbruk pr. person pr. døgn. De observerte tall er på samme nivå som ventet i henhold til opplysninger i litteraturen. Tallene for fosfattilførselen stemmer for øvrig med opplysninger som er fremkommet på annen måte. De viser at innflytelsen av vaskemiddelfosfater i kloakkvannet er av mindre betydning hos oss enn i mange andre land. Kartleggingsresultatene viser at en meget betydelig del av kloakkvannsforurensningene kommer i egne ledninger, og for så vidt kan bringes under rensemessig kontroll. Det antas videre at denne andelen øker etter hvert som kloakknettene blir videre utbygget og modernisert. En vurdering av hvor stor del av de samlede tilførsler det er som kommer, og vil komme, i kontrollerbare avløp, vil for øvrig ha vesentlig betydning for de tekniske tiltak som kan komme på tale.

Kartleggingen viser at kloakkvann fra 437 000 personer passerer renseanlegg (14 anlegg med biologisk rensning og 6 med mekanisk rensning.) Resten av kloakkvannet (fra ca. 158 000 personer) føres ut i vassdrag etter bare å ha passert septiktank.

Det har ikke vært mulig å foreta en separat undersøkelse av avløpsvannet fra de ca. 800 industribedrifter som vi antar har utslipp av forurenset industrielt avløpsvann. Industrieforurensningene er imidlertid stort

sett inkludert i de målinger som er blitt utført av tilførslene, slik at de foreliggende observasjonsdata likevel er representative nok for de oversiktsvurderinger som er blitt gjennomført.

Avrenningsvannet fra skogsområdene er meget fattig på organisk stoff og plantenæringsstoffer. Derimot vil avløpsvannet fra jordbruks- og hagearealene kunne inneholde fosfor- og nitrogenholdige stoffer av praktisk betydning. I følge statistikk om forbruket av handelsgjødsel, og under antakelse av at visse andeler av gjødselens forskjellige komponenter holdes tilbake i jordsmonnet, vil fosfor- og nitrogenforbindelser fra overflateavrenningen av skog- og jordbruksarealene antakelig utgjøre bare en ubetydelig del av det som tilføres fjorden med kloakkvann og industrielt avløpsvann. En del forurensninger slippes ut fra menneskap og passasjerer på båter i Oslofjorden. Denne belastning, som ikke er inkludert i målingene, svarer imidlertid bare til avløp fra ca. 1000 personer og spiller således en underordnet rolle for fjordens belastning.

For enkelte av de komponenter som er blitt påvist i selve Oslofjorden, er det søkt satt opp en materialbalanse. For de enkeltkomponenter som tiltrekker seg særlig oppmerksomhet, er det viktig å finne frem til disse komponenters fordeling i fjordvannet og måten de føres bort fra fjorden på. Det siste kan skje ved avsetning på bunnen, ved overføring til atmosfæren som gass (nitrogen) eller bortføring ved vannutvekslingen ut av fjordsystemet. Ved å kjenne forholdet mellom tilførslene og materialbalansen i fjorden vil det være mulig å se hvor i systemet det er viktig å sette inn tiltak.

Omtalen hittil har omfattet stoffer som forekommer i suspendert eller oppløst form i selve vannet. Materiale som holder seg til overflaten, vil bli vurdert i neste kapittel.

En kvantitativ vurdering av de viktige stoffgrupper som inneholder fosfor og nitrogen, viser at de samlede forekomster i indre fjords vannmasser ikke er store sammenliknet med tilførslene, og tilsvarer omtrent årsavrenningen til fjorden. De prosesser som fjerner komponentene fra indre fjord, må derfor ha et betydelig omfang. Dette viser blant annet det viktige forhold at hvis man kan oppnå en endring i tilførselsmengden, må det ventes at det vil bevirke en rask endring av forholdene i selve fjorden. Forurensningssituasjonen i fjordsystemet varierer derfor ikke så langsomt som man tidligere var tilbøyelig til å tro, og på ingen måte så langsomt at det er grunn til å ta hensyn til det ved valg av tiltak mot forurensningene.

Søyletallene angir tonn pr. år.

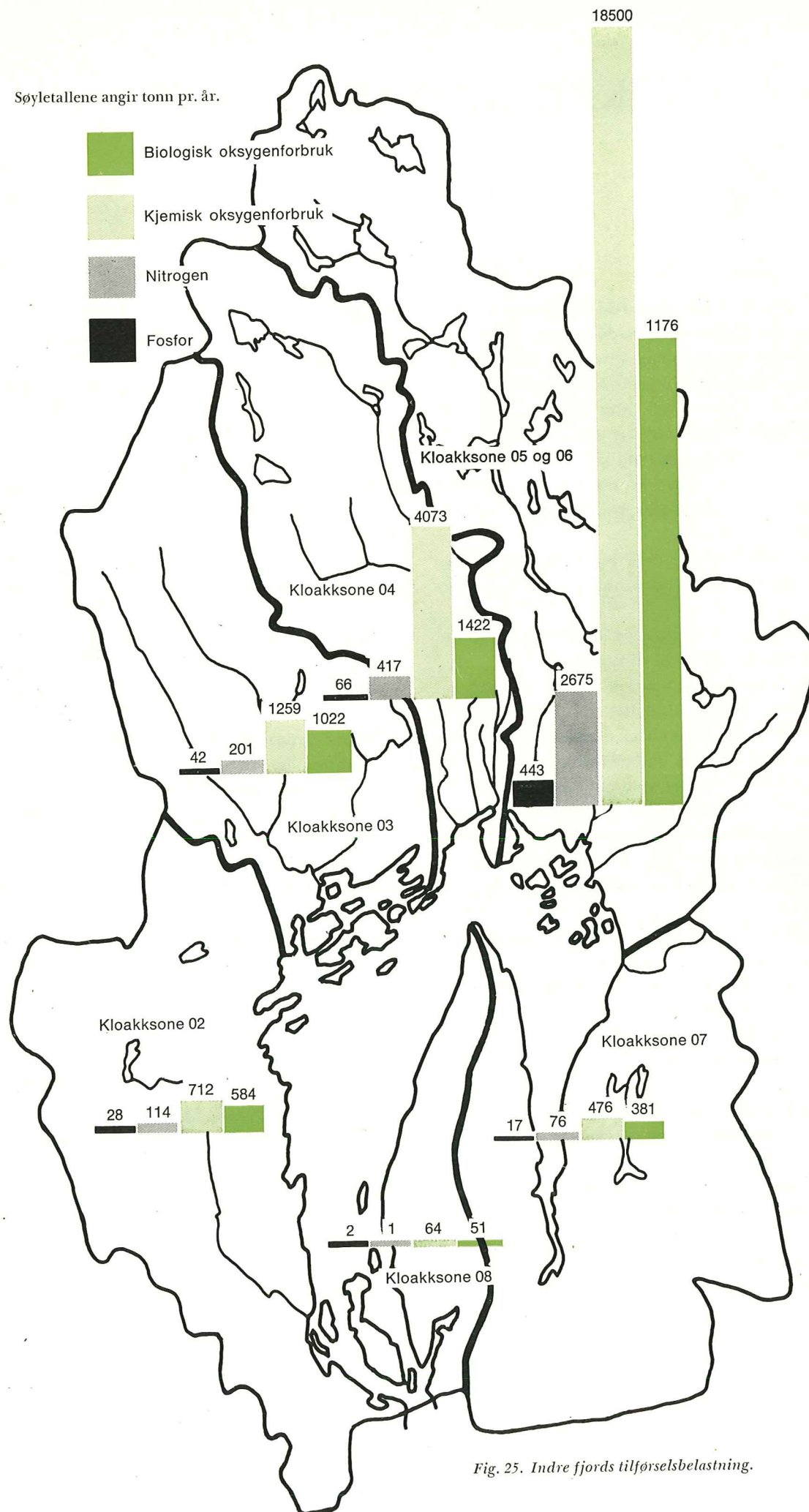


Fig. 25. Indre fjords tilførselsbelastning.

REKREASJONSKVALITET

Ved bedømmelse av fjordens rekreasjonskvalitet må de forurensningsvirkninger og tilstander som kan observeres, holdes opp mot de mange interesser som knytter seg til den. Noen fyldestgjørende bedømmelse av denne art er ikke gjennomført, idet det ikke inngikk i prosjektopplegget. Visse vurderinger er imidlertid foretatt, dels på grunnlag av data innsamlet for andre formål og dels på grunnlag av noen mindre undersøkelser innpasset i arbeidsprogrammet underveis for dette formål.

Hensikten med å trekke temaet «rekreasjonskvalitet» sterkere inn i undersøkelsen, var at kunnskaper på dette felt vil

- kunne tjene som utgangspunkt for vurdering av de krav man kan og bør stille til fjorden,
- kunne være et hjelpegrunnlag ved vurdering av hvordan slike krav kan oppfylles,
- og kunne bidra til å definere en referansetilstand for bedømmelse av historisk og fremtidig utvikling.

Det siste punkt fortjener spesiell oppmerksomhet.

Uten en definert referansetilstand vil man ikke i fremtiden på tilfredsstillende måte kunne bedømme effekten av de sanerende tiltak som man må regne med å gjennomføre. De målinger av forskjellig slag som er foretatt i fjorden i tidligere år, har aldri vært omfattende nok til at de kunne definere noen referansetilstand med hensyn til rekreasjonskvalitet. De data som er brakt til veie ved prosjektet representerer første mulighet for dette. Prosjektets undersøkelser med hensyn til rekreasjonskvaliteten var imidlertid for flere parametres vedkommende for lite fylldig til å definere noen referansetilstand. Som før nevnt var dessuten undersøkelsesperioden 1962–1965 antakelig ikke representativ for fjordens normale situasjon når det gjelder sommermånedene. Det vil derfor være verdifullt at undersøkelsene av fjordens rekreasjonskvalitet kan videreføres gjennom de kommende år.

REKREASJONSULEMPENES ÅRSAKER

Når folk flest klager over Oslofjordens tilstand, er det forskjellige forhold de har i tankene. For mange er det øyensynlig vanskelig å definere nettopp hvilke uheldige egenskaper de er sjenert av. De praktiske ulemper vil imidlertid stort sett kunne plasseres i følgende grupper:

- Reduksjon av det øvre vannlags gjennomskinnelighet (på grunn av partikler og oppløste fargestoffer i vannet)
- flytende materialer i selve overflaten (avfall, drivtang, olje, etc.)
- ilanddrevne og henslengte materialer på stranden (avfall, drivtang, olje, etc.)
- begroing av planter og skalldyr på strender, kaier, båter, tauverk, etc.
- lukt
- formulding av strand og bunn
- redusert fiskeavkastning

Dertil kommer den generelle følelse av hygienisk usikkerhet og estetisk ubehag som gjerne er knyttet til tanken på forurensningsfenomenene og deres opprinnelse.

Det øvre vannlags innhold av *suspenderte partikler* må unntatt for månedene november–desember–januar, antas hovedsaklig å bestå av planktoniske alger. Nøyaktig hvor stor andel av partikkelmassen disse til enhver tid og på hvert sted representerer, er imidlertid ikke undersøkt. Av andre partikkeltyper finner man først og fremst erosjonsprodukter fra land (jord og leire) som er tilført med vassdragene. Slike produkter gjør seg imidlertid gjeldende først og fremst lokalt. I flomperioder kan de riktignok spres i synlige mengder over hele fjorden, men de blir da snart borte igjen. Kloakkpartikler når antakelig ikke langt fra utslippsstedene før de omsettes eller synker. De planktoniske alger opptrer i stadig skiftende mengder og med forskjellig artsfordeling. Fordi de er små, er deres synlige effekt i sjøen at vannet blir uklart og får en fargetone (vanligvis grønn, brun, rød eller melkeaktig), avhengig av hvilke arter som dominerer. Dette ytrer seg som en misfarging av vannet.

Det øvre vannlags *oppløste fargestoffer* har i første rekke vist seg å være preget av humusstoffer som tilføres fjorden via vassdragene. Det kloakkvann som føres til fjorden, har riktignok en høyere fargekonsentrasjon, men totalmengden av fargestoffer som tilføres på denne måten er ikke av særlig stor betydning for fjorden som helhet. Industriens fargeutslipp er ikke målt spesielt, men synes bare å ha lokal virkning.

De *materialer som flyter* i eller på selve overflaten

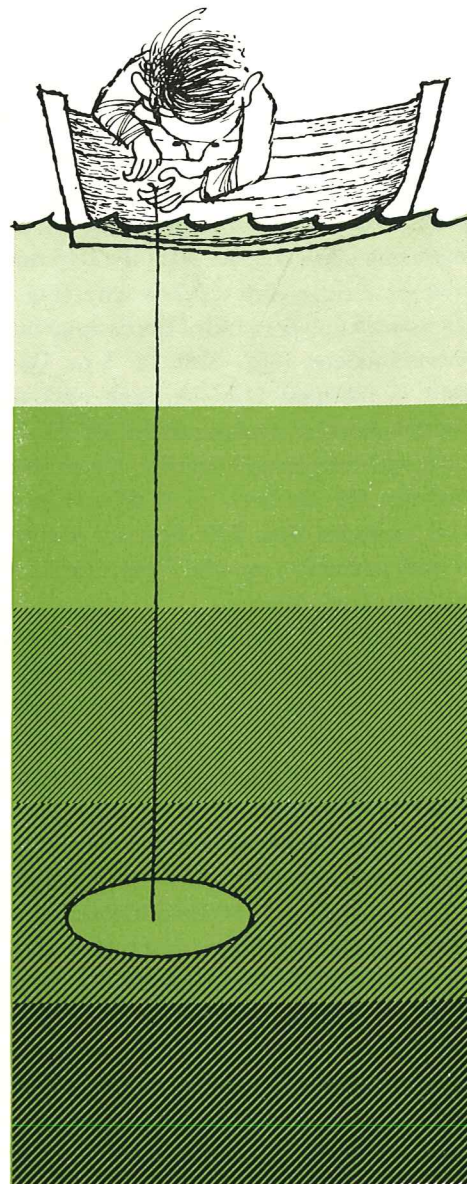
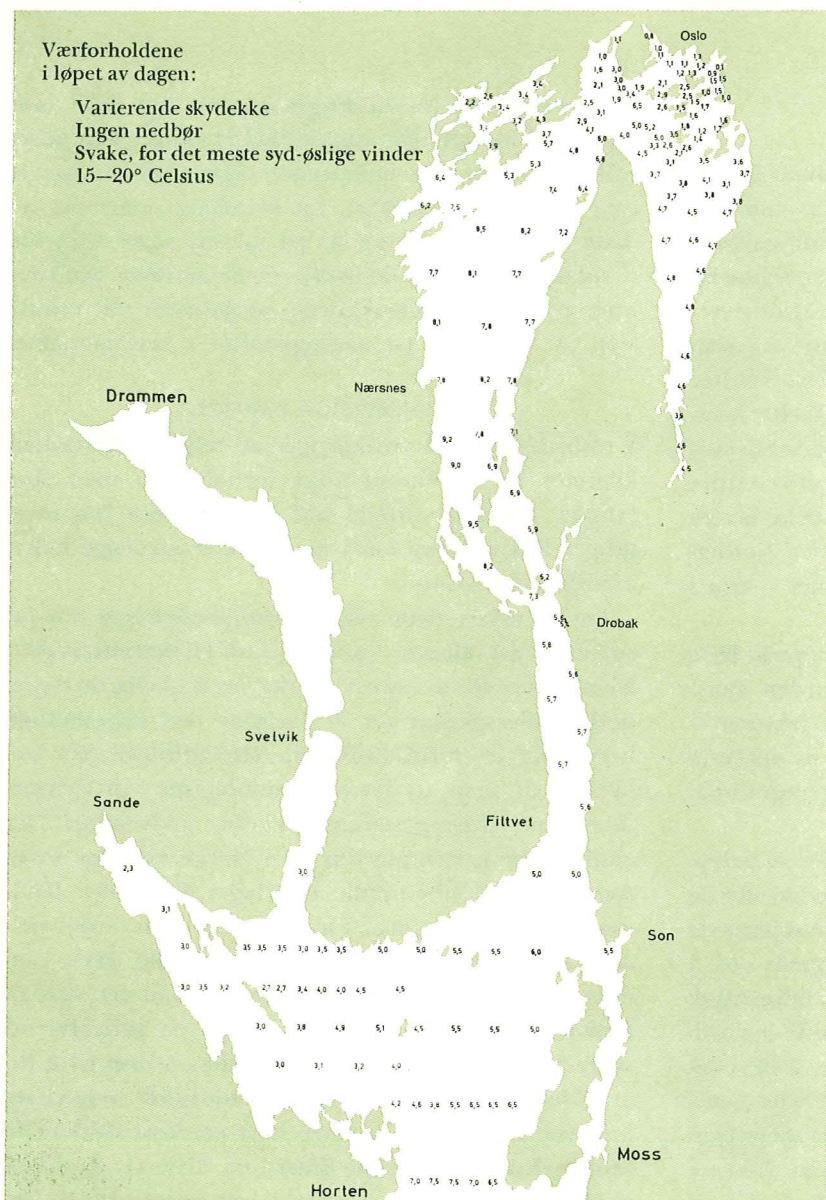


Fig. 26. Siktedyptet den 17. august 1965 (angitt i m).

eller finnes på strendene kan være til stor sjenanse. Det er alle slags materialer som kommer drivende: gjenstander av kork, tre, glass, plast, gummi og tekstiler, foruten olje, drivtang og flytende grønskeklumper. Slikt drivgods blåser med vinden og samler seg gjerne i lo side av fjordbassenget. Undertiden kan det skylles opp på strendene i store mengder og blir senere ofte ført til sjøs igjen. En stor del av disse forurensninger stammer fra skip og småbåter, grunneiere og det rekreative publikum.

Begroingen har ført til forandret utseende av bunn og strender rundt fjorden og er til stor ulempe for badende. Grønskeveksten virker slimete og uappetittlig, og de store forekomster av blåskjell hemmer bevegelsesfriheten. Drivgrønske og døde skjell fra grunnen utenfor samler seg ofte på strendene i store mengder og bidrar til å forsterke denne ulempe.

I noen tilfelle kan man merke *sjenerende lukt*. Den kommer bare i de færreste tilfelle fra selve vannmas-

sene, men oftest fra bunnområder som blir blottlagt under lavvannsperioder. Lukten her skyldes at de langgrunne strendene blir sterkt belastet av organisk stoff gjennom produksjon av alger og dyr, og at vannets selvrensingsmekanisme ikke alltid strekker til, slik at det organiske stoff råtner.

Det forhold at organisk stoff lett kan råtne i de langgrunne områder, medfører også en annen ulempe, nemlig at det opprinnelige bunnmateriale (grus og sand) *formuldes*. Derved blir bunnen mindre egnet for badeformål, idet den blir gjørmete, og vannet på strendene blir lett tilgrumset ved bading eller ved bølgeslag. Dessuten vil formuldingen i seg selv bidra til en bedring av vekstforholdene, slik at mengden av sjenerende grønske og tang stadig øker.

Sportsfiskets rekreasjonsverdi avhenger vel først og fremst av hvor lett det er å få fisk, men også fjordens estetiske kvalitet må antas å spille rolle i denne forbindelse.

MULIGE BOTEMIDLER

De viktigste resultater kan resymeres slik:

Det øvre vannlags *gjennomskinnelighet* avhenger av mengde partikler og oppløste fargestoffer som det inneholder. Gjennomskinneligheten er vanligvis blitt målt som siktedyp, det vil si det dyp man kan senke en hvit skive til før den tapes av syne. (Fig. 26). Middelveien av siktedypet i indre fjords åpne farvann var i sommermånedene 1962–1965 ca. 3 m. De laveste verdier fant vi nærmest Oslo by, men også de enkelte lokaliteters grad av avskjermethet og lokal tilførselsbelastning spilte en betydelig rolle. Dette siste er et vesentlig forhold, for det betyr at siktedypet er betydelig lavere i de områder hvor folk flest har kontakt med fjorden – ved strendene og aller helst i de lune vikene – enn i de mer åpne farvann.

En generell økning av siktedypet kan oppnås bare ved en reduksjon av planktonmengden i fjorden. Bortsett fra visse lokale områder er de to andre faktorer – mengden av ikke-planktoniske partikler og av oppløste fargestoffer – naturbestemte og lar seg i liten grad påvirke ved praktiske tiltak.

De mest nærliggende tiltak når det gjelder siktedypforholdene i fjorden vil være å søke dem bedret der de nå er dårligst – i de kloakkbelastede og avskjermede vikene og småbassenger. Dette kan ofte oppnås ved å fjerne de lokale kloakkutslipp, men også andre tiltak kan bli aktuelle i visse områder. Det neste forbedringstrinn som kan komme på tale, vil være å få redusert tilgangen på næringsstoffer i overflatelaget generelt, slik at planktonveksten reduseres over hele fjorden. En slik reduksjon vil, som nevnt andre steder i rapporten, kunne oppnås ad flere veier. På grunn av de ikke-planktoniske partikler og de oppløste fargestoffers innflytelse er det imidlertid begrenset hvor meget man kan øke siktedypet selv i de åpne farvann i indre fjord. En statistisk analyse av måleresultatene med hensyn til de enkelte faktorerens betydning, tyder på at en fordobling av siktedypet vil være det meste man kan regne med å oppnå på denne måte. (Fig. 27).

Ifølge målingene representerer de *flytende materialer* vanligvis ikke noe stort problem i de åpne farvann i indre fjord. (Funn-frekvensen var faktisk større i Breiangenområdet enn i indre fjord). I strandbeltet og ved kaiene kan forholdene derimot være meget sjenende. En reduksjon av denne ulempe burde lett kunne oppnås. Viktige tiltak i denne forbindelse vil være opplysningsvirksomhet, skjerpet lovgivning og tilsyn, men også tekniske tiltak, som fanglenser og opprenskningsaksjoner i elvene og oppsamlingstiltak i selve fjorden, vil kunne bety meget.

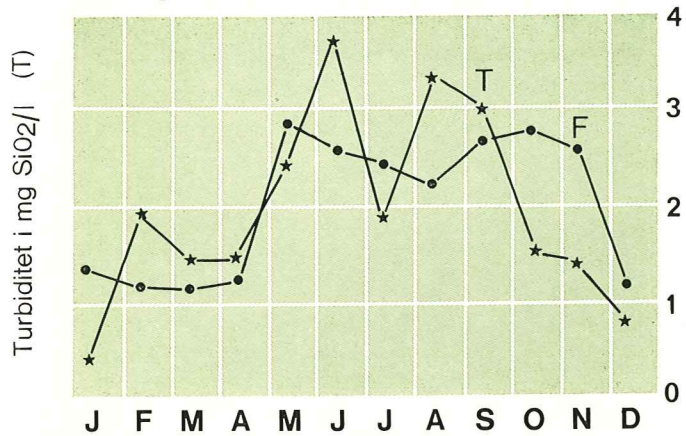
Begroings- og formuldingsulempene har ikke vært gjenstand for spesielle undersøkelser utover den generelle kartlegging av fastsittende alger som er foretatt som et ledd i prosjektet. En betydelig reduksjon av disse ulemper kan oppnås på samme måte som for planktonveksten – i de avskjermede områder ved fjerning av de lokale kloakkutløp og generelt ved reduksjon av tilgangen på næringsstoffer i overflatelaget.

HELSEMESSIGE FORHOLD

I forbindelse med vurderinger av rekreasjonsverdien kommer de sunnhetsmessige forhold inn med stor tyngde. I mange tilfelle blir kampen mot forurensninger ført nettopp fordi man frykter alvorlige helsemessige konsekvenser.

For å avklare dette viktige problemområdet har instituttet tatt direkte kontakt med Helsedirektoratet. Blant annet ble det spurt om det var ønskelig med spesielle undersøkelser for å klarlegge den helsemessige betydning av forurensningen. Helsedirektoratet har opplyst at man ut fra epidemiologiske vurderinger ikke finner slike spesialundersøkelser nødvendige. Det alminnelige erfaringsgrunnlag i Norge, som for øvrig stemmer med tilsvarende erfaringer fra andre land, viser nemlig at bading i forurenset sjøvann meget sjelden har direkte helsemessig skadevirkning. Hvis vannet er synlig påvirket av kloakkavløp, kan det være et faremoment, men det antas at folk da intuitivt vil velge andre badeplasser. Det er videre grunn til å tro at vi har få slike steder i indre Oslofjord, hvis vi ser bort fra havneområdene, og at vi om kort tid kan få sanert dem som finnes. Basert på disse synspunkter er de epidemiologiske forhold ved Oslofjordens forurensningssituasjon ikke tatt med i programmet. Helsedirektoratet har imidlertid på den annen side meddelt at det, ut fra alminnelige medisinske betraktninger, må legges den største vekt på å gi Oslofjorden en renhet som går langt ut over den som fjerner farene for å få infeksjonssykdommer ved å bade i fjorden. Indre Oslofjord er et naturlig rekreasjonsområde for flere hundre tusen mennesker. Om den bringes mest mulig tilbake til sin naturlige biologiske tilstand, vil den være av uvurderlig betydning for befolkningens daglige friluftaktivitet i hele sommerhalvåret, på samme måte som skogsområdene er det først og fremst i vinterhalvåret. Effektive tiltak for å bedre de biologiske forhold i Oslofjorden vil være både helseskapende og sykdomsforebyggende, og de representerer samfunnstiltak av første rangorden.

Indre fjord



Midtre fjord

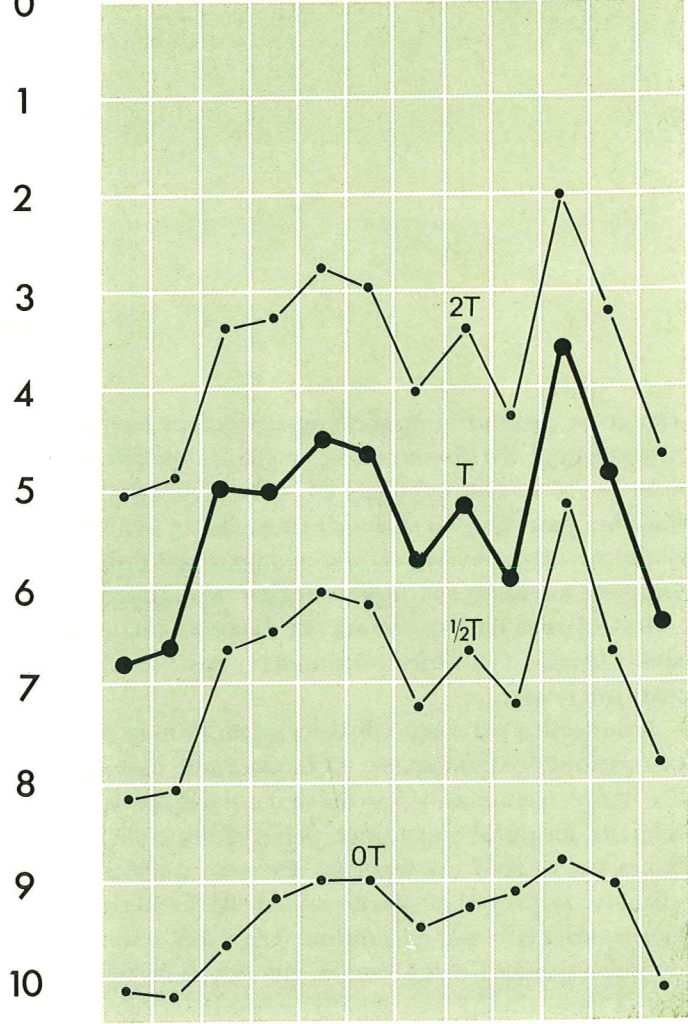
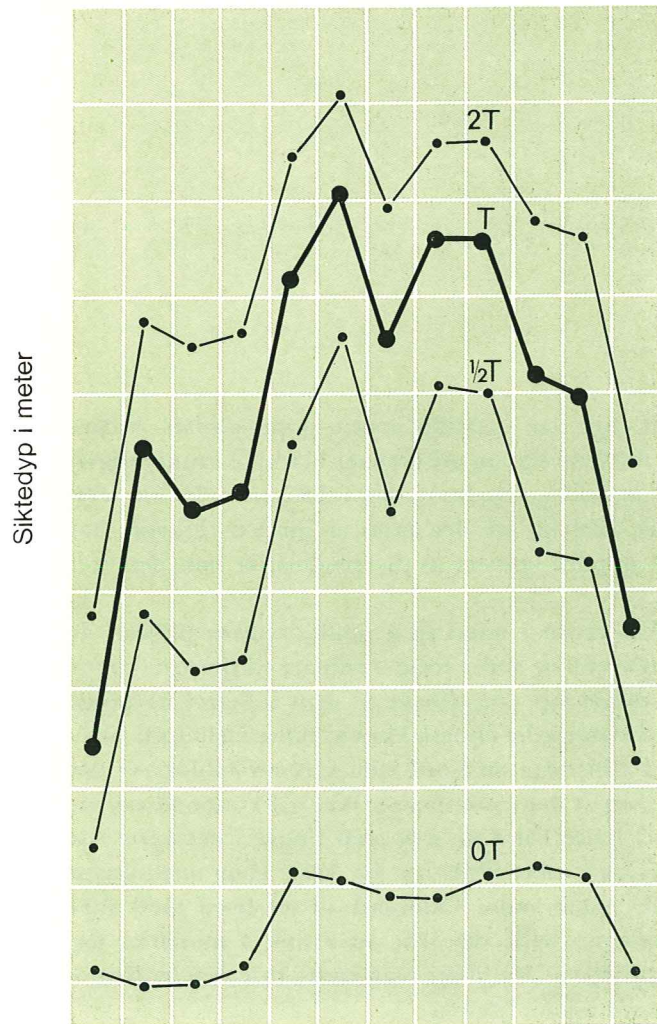
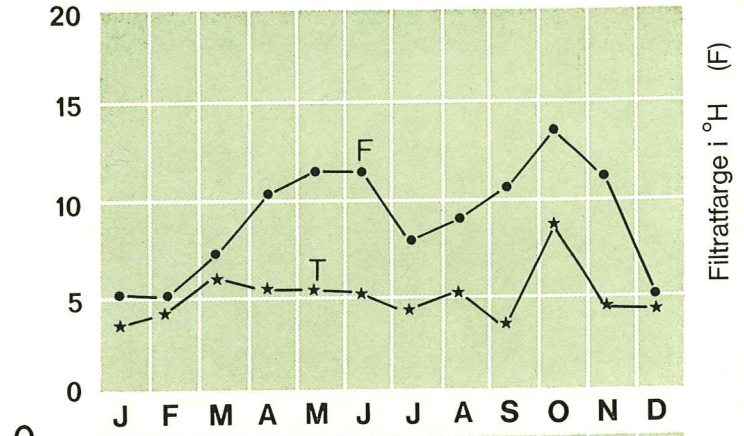


Fig. 27. Siktedypets avhengighet av turbiditeten.

Vannets siktedyp (gjennomsjinnelighet) er avhengig av partikkelinnhold (turbiditet) og innhold av oppløste fargestoffer (filtratfarge). Avhengigheten er beregnet statistisk på basis av de foreliggende målinger og kan uttrykkes ved en matematisk formel. På grunn av det begrensede datamateriale vil denne dog være lite nøyaktig.

Formelen er anvendt for å undersøke hvilke konsekvenser det vil ha for siktedypet i fjorden om man ved sanerende tiltak – hvilket er mulig – utvirker endringer i turbiditetsnivået. Figuren viser resultatene for to stasjoner i fjorden – én i indre og én i midtre fjord.

Øvre kurvesett viser midlere turbiditet og filtratfarge gjennom året (basert på målingene i 1964 og 1965).

Nedre kurvesett angir den beregnede, midlere siktedypsutvikling gjennom året som funksjon av turbiditeten når filtratfargekurven holdes uendret. Kraftig opptrukket strek representerer siktedypet slik som det var – basert på de målte turbiditeter. De andre kurver viser hvordan siktedypsutviklingen hadde vært om turbiditetsverdiene hadde vært dobbelt så store (2 T), halvparten så store (1/2 T) eller lik null (0 T).

FJORDENS TILSTAND FØR OG NÅ

Det er en alminnelig oppfatning at fjordens forurensningstilstand har forverret seg betydelig, spesielt i de siste 20–30 år. Det foreligger en rekke biologiske indikasjoner på at fjorden undergår en utvikling som blant annet er preget av større planteplanktonproduksjon. Derimot foreligger det ingen direkte observasjoner fra eldre tid som kan gi uttrykk for fjordens renhetstilstand og som kan settes i forbindelse med befolkningens interesser.

Oslofjorden må langt tilbake i tiden ha hatt friske, oksygenholdige vannmasser til bunns i alle bassenger. De dypere vannmasser har da vært utmerkede lokaliteter for en rekke organismer, noe som det gode rekefisket var et godt eksempel på. De øvre vannlag har alltid vært preget av fjordens lukkede karakter, og fjordvannet har hatt et gulbrunt fargestikk som følge av humusstoffer i tilløpssvannet. Det er videre kjent at det så langt tilbake som fra 1911 i enkelte år har kunnet opptre store algeforekomster som har gitt sterk misfarging av vannet, i likhet med det som skjedde i 1935, 1939 og 1947, da fjordvannet var melkeaktig grønt av en spesiell planteplanktonart (*Coccolithus huxleyi*). (Fig. 28).

Tilstrekkelige observasjoner foreligger imidlertid til å fastslå at den påvirkning av overflatevannet som nå iakttas, er betydelig større og mer konstant enn i tidligere år. Dette tilskrives at vekstgrunnlaget for planktonalgene er blitt så meget bedre enn før, slik at vi nå

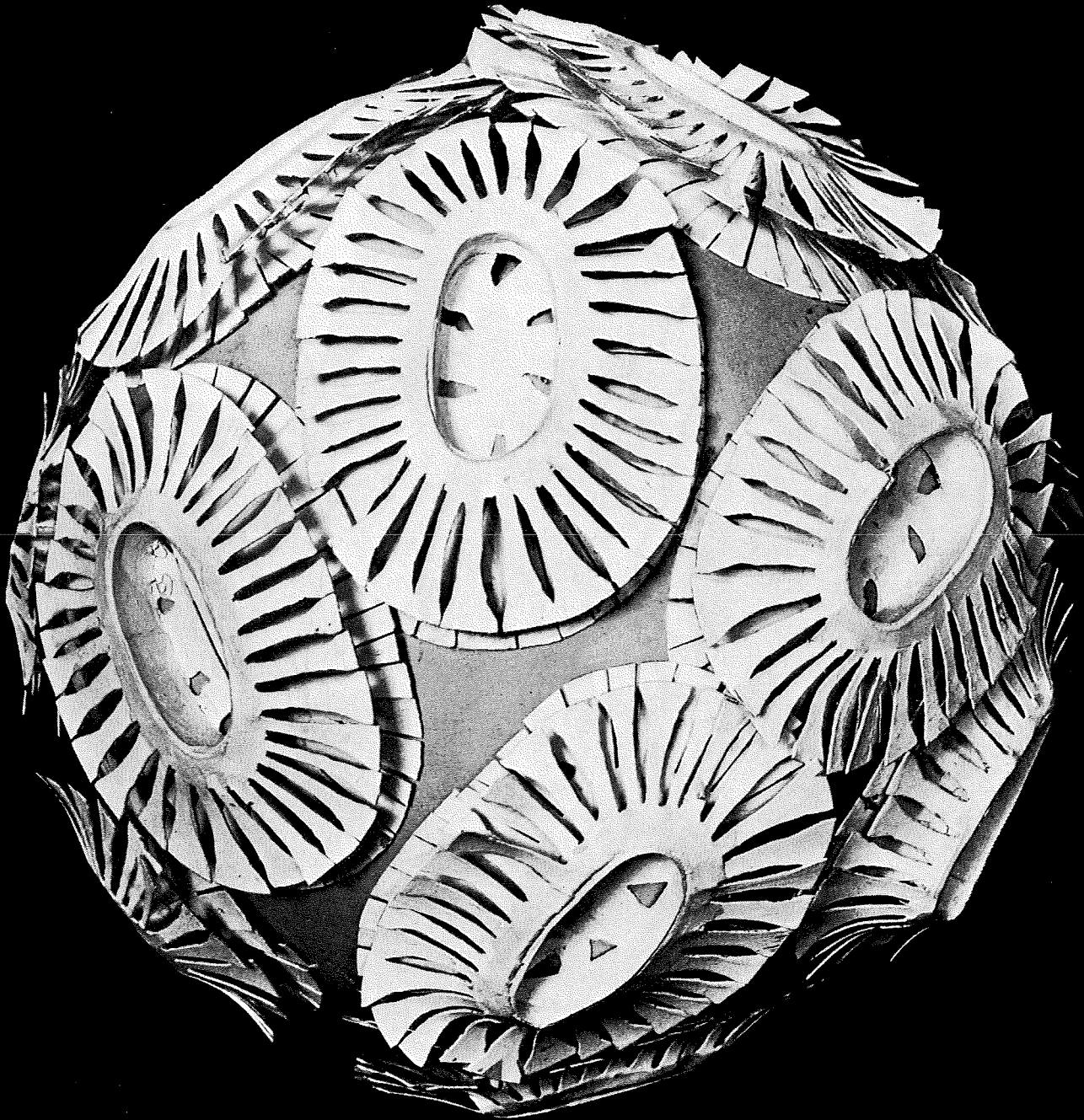
jevnt over har adskillig høyere populasjoner. Videre har forekomsten av grønske og blåskjell sannsynligvis vært betydelig mer beskjeden i tidligere tider enn den er nå. Endelig må det antas at fjorden tidligere har vært mindre belastet av flytematerialer enn den er i dag.

Hvis vi var i stand til å hindre enhver tilførsel av kloakkvann og andre forurensninger til fjorden, kunne vi kanskje føre den tilbake til dens tidligere naturlige tilstand, men det er også klart at indre Oslofjord fremdeles ville være en fjord med særegne biologiske forhold, og at dens vannmasser ikke vil kunne få samme klare, friske karakter som man finner i det åpne hav eller langs store deler av vår kyst. Hvis man derfor skulle endre indre Oslofjord til en fjord med slike egenskaper, ville det ikke være nok å motvirke forurensningene. Da måtte man endre hele den hydrografiske situasjon i fjorden.

Indre Oslofjord er med årene blitt fattigere på antall fiskearter, samtidig som det er vesentlig mindre forekomster av reker og enkelte matnyttige fiskearter. En del av disse endringer kan med rimelig sikkerhet settes i forbindelse med forurensningssituasjonen. Det er blant annet all grunn til å tro at bedre oksygenforhold i de dypere vannlag ville gi oss tilbake drivverdige rekeforekomster. For pelagiske og stasjonære fiskearter i de øvre vannlag er det derimot vanskelig å uttale noe med sikkerhet.

Fig. 28. Modell av kalkflagellaten *Coccolithus huxleyi*

— en planktonalge som enkelte somre gjør vannet i Oslofjorden uklart og blakket. Når det er særlig store bestander (10–30 millioner pr. liter), er fjordvannet gråhvitt som en kalkoppblemning. Cellen, som har en diameter på 0,01 mm eller mindre, er dekket av ovale kalklegemer som reflekterer lyset.



	Største bassengdyp	Vannets største gjennomløpsdyp mot utenforliggende basseng
Bunnefjorden	160 m	ca. 54
Bekkelagsbassenget ..	72 m	ca. 48
Vestfjorden	164 m	19,5
Bærumsbassenget ..	29 m	ca. 15
Drøbaksundet	211 m	ca. 125
Breiangen	201 m	ca. 150

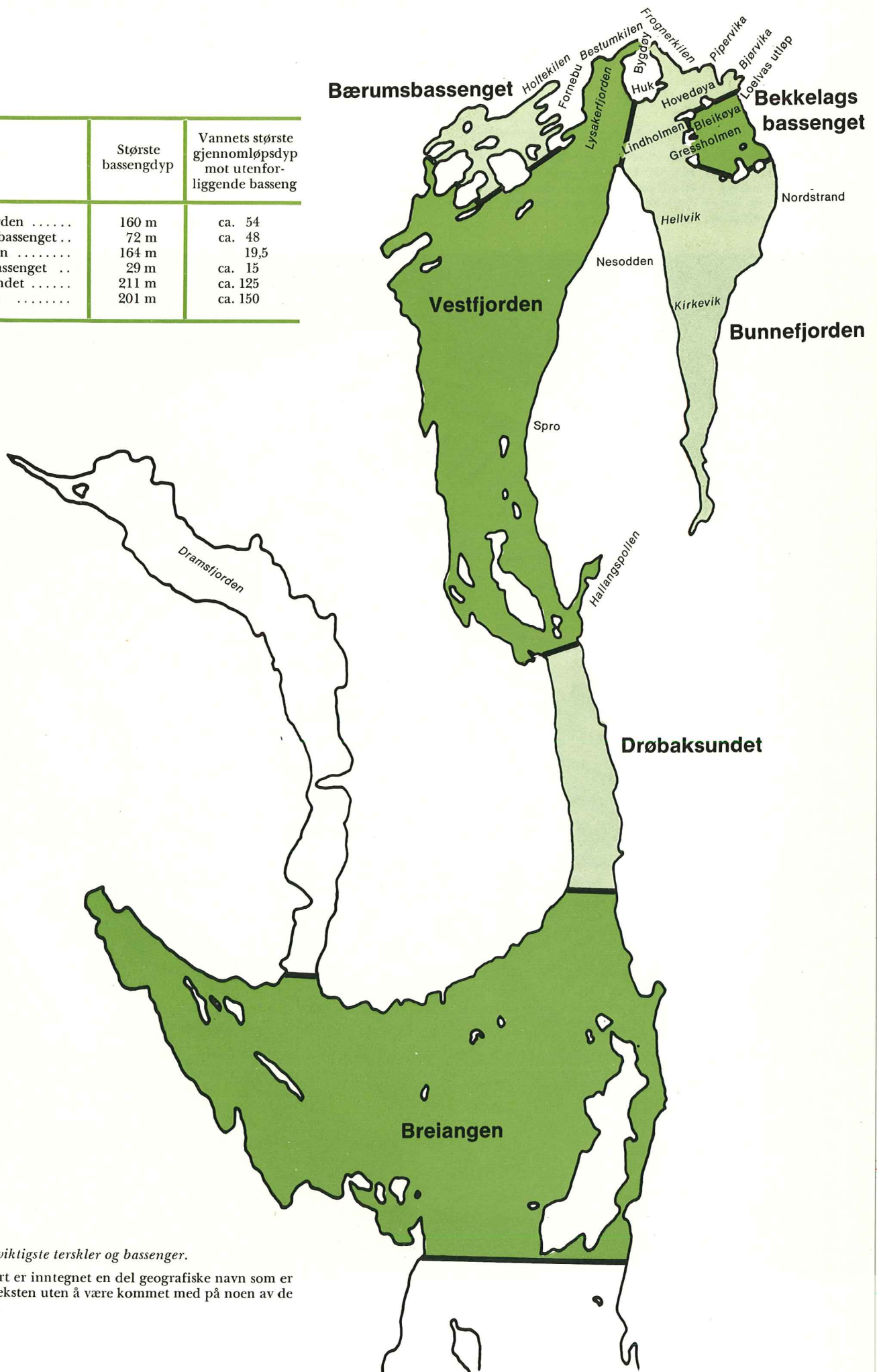


Fig 29. De viktigste terskler og bassenger.

På dette kart er inntegnet en del geografiske navn som er benyttet i teksten uten å være kommet med på noen av de øvrige kart.

SAMMENFATTENDE VURDERINGER

INNLEDNING

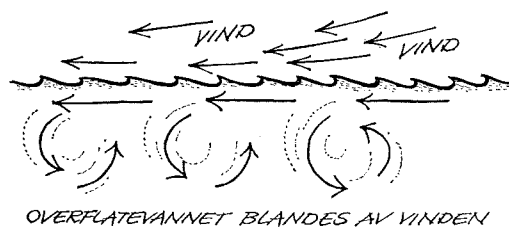
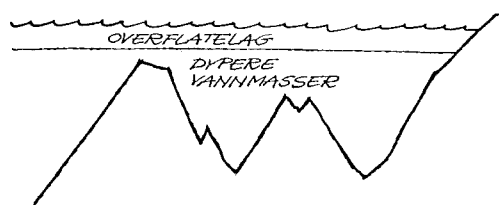
I den følgende diskusjon skal vi behandle slike momenter fra det samlede bilde av forholdene i indre Oslofjord som har direkte tilknytning til drøftingen av sanerende tiltak for å redusere virkningene av forurensningen.

De ulemper som forurensningen har ført til, fortoner seg forskjellig for de enkelte interessegrupper. Forurensningen av indre Oslofjord er på flere måter et relativt begrep, dels hos de enkelte mennesker, dels i de forskjellige avsnitt og dyp av fjorden og til forskjellige tidspunkter og dels i forhold til andre forurensede fjordområder rundt i verden. En konkretisering av ulempene er ved disse undersøkelser gjennomført i forbindelse med avkastningen av fisk og andre sjødyr, de øvrige biologiske forhold, rekreasjonslivet og annen ferdsel på og ved fjorden. Vi er imidlertid oppmerksom på at denne konkretisering neppe dekker det register av følelser og direkte ulemper som alt i alt gjør seg gjeldende.

GENERELT

Hovedresultatene fra de forskjellige delundersøkelser som Oslofjordprosjektet har omfattet, viser en interessant og meget tilfredsstillende sammenheng. Denne gjelder såvel mellom de vide faglige grupper (hydrografi, biologi, kjemi med videre) som mellom detaljundersøkelsene innen de enkelte grupper. Som helhet har undersøkelsene gitt et godt grunnlag for vurdering av Oslofjorden som resipient. Det er først og fremst viktig at vi har fått utvidet kjennskap til de hydrografiske prosesser som regulerer vannutvekslingen innen fjorden. Den lange observasjonstid og det store antall observasjoner har hatt avgjørende betydning for resultatene.

Ved diskusjon om de mulige sanerende tiltak er det praktisk å skjelne mellom overflatelaget og de dypere vannmasser. En slik inndeling er gjennomført nedenfor.



OVERFLATELAGETS UTSKIFTNINGSMEKANISMER

Gjennom undersøkelsene er det påvist at Dramselvas vannmasser er bestemmende for den brakkvannsdannelse som observeres i indre fjord. Årsaken er først og fremst at de store brakkvannsmasser som dannes når Dramselvas vann kommer ut i Breiangerområdet, demmer opp for de brakkvannsmasser som oppstår i indre fjord, slik at disse stues opp her. Periodevis kommer imidlertid også noe av Dramselvas brakkvann inn i indre Oslofjord og blander seg med dennes overflatevann.

Vinden flytter overflatevannet raskt og effektivt. De tilfeldige og kortvarige vinder forårsaker lokalt i indre fjord at en betydelig horisontalblanding av øvre vannlag finner sted, og at de lokale planktonforekomster som utvikler seg forskjellige steder i fjorden til stadighet undergår raske endringer. De langvarige vindsituasjoner har først og fremst betydning i større skala.

Fordi vindforholdene stadig endrer seg, og fordi endringene skjer på en uregelmessig måte, har vindens effekt på overflatevannet i høy grad vanskeliggjort tolkningene av observasjoner og målinger i dette vannlag. Situasjonen skifter stadig og vil til enhver tid være sterkt påvirket av vindforholdene i tiden like forut. Det har derfor vært nødvendig med meget omfattende undersøkelser for å få klarlagt de forhold som har betydning for forurensningsmaterialets oppholdstid, spredning og akkumulering i de øvre vannlag.

For virkningen på overflatelagene av forurensningstilførslene er vindens årtids-zyklus av stor interesse. Om sommeren er

sønnavinden særlig fremtredende. Den fører til at virkningen av utslippene, som er sterkt konsentrert i den innerste del av fjorden, blir forsterket ved oppstuing av overflatelagene. På denne årstid viser forurensningssituasjonen derfor en gradvis forverring innover mot Oslo. Om vinteren er det nordavinden som dominerer. Dens virkning på forurensningskomponentene er at disse føres med vannet sørover og i mange tilfelle helt ut av indre fjord. Med skiftende vinder blir forurensningskomponentene spredt over hele indre fjord som følge av de kortvarige vindstrømmer som oppstår.

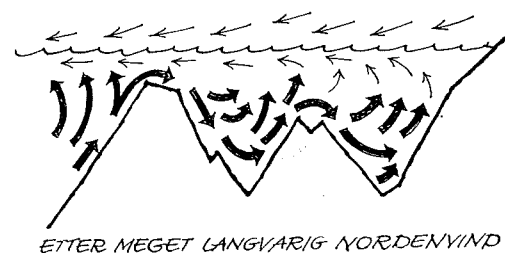
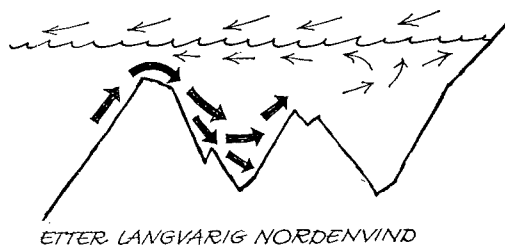
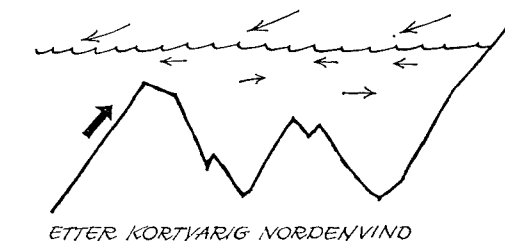
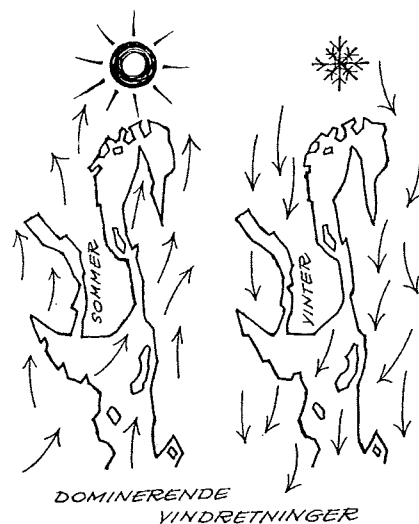
Vindsituasjonens dominerende innflytelse på overflatevannet er en faktor som man ikke kan påvirke med praktiske tiltak.

DYPLAGENES UTSKIFTNINGSMEKANISMER

Vannet under indre fjords overflatelag kan inndeles i to grupper: Mellomlaget — som ganske ofte er gjenstand for utskiftningsprosesser og derfor som regel ikke er så sterkt forurensningspreget — og dyplagene, som utskiftes i langt svakere grad. Dyplagenes utskiftning foregår ved to forskjellige mekanismer. Den ene består i en kontinuerlig, vertikal diffusjonsprosess mellom mellomlaget og dypvannet, og den andre i at dyplagets vannmasser av og til fortreges av tyngre vann som kommer inn over Drøbakterskelen. Forutsetningen for den siste mekanisme er at den vertikale diffusjonen etter hvert har gjort dypvannet lettere, slik at dette til slutt har fått lavere tetthet enn vann som av og til kan strømme inn over Drøbakterskelen. Selve utskiftningsprosessen finner sted under vedvarende nordavindsperioder. Nordavinden påvirker vannstrømmene i fjorden slik at saltholdig og tungt dypvann utenfor Drøbakterskelen bringes høyere enn ellers. De tunge vannmasser som derved strømmer inn over terskelen vil først gjøre seg gjeldende i dypet av Vestfjorden. Når innstrømningsvolumet er så stort at Vestfjordens dyp fylles opp, vil overskytende mengder av tungt vann strømme videre over terskelen ved Nesodden og inn i Bunnefjorden.

Hvis man kan sikre en tilstrekkelig effektiv fornyelse av indre fjords dypere vannmasser, slik at oksygentilgangen er stor nok, vil forholdene her holde seg tilfredsstillende på lang sikt fremover. Livsbetingelsene i dyplagene er helt og holdent bestemt av oksygenforholdene, og hvis det på en eller annen måte kan sikres at det langs bunnen i indre Oslofjord holdes et visst oksygenivå, vil dyrelivet sørge for en tilfredsstillende omsetning og nedbryting av det organiske materiale som havner der.

Dypvannsutskiftning som bringer inn oksygenrikt vann, er dels betinget av vindforholdene og dels av diffusjonsmekanismen. Den siste er det praktisk sett fullt mulig å påvirke og å øke i vesentlig grad.



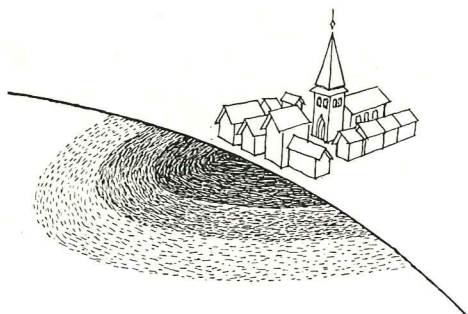
TILFØRSLENES FORDELING I OVERFLATELAG OG DYPLAG

Undersøkelsene har vist at den totale mengde av fosfor- og nitrogenholdige stoffer i indre Oslofjords samlede vannmasser er omtrent av samme størrelse som den fjorden tilføres gjennom et helt år. Dette viser at det bare finner sted en beskjedent grad av akkumulering. Materialbalansen har videre vist at bare en liten del av forurensningskomponentene gjenfinnes i dyplagene. Bare en fjerdedel av det fosfor som tilføres fjorden fra landsiden, kommer således ned i vannmassene under 20 m dyp, og et liknende forhold finner man for nitrogen. Også for det organiske stoff som tilføres fra landsiden, må man vente at bare ca. en fjerdedel synker ned til de dypere vannlag, fordi det i kloakken og elvevannet er et visst mengdeforhold mellom de tre nevnte komponenter. Oksygenforbruket under 20 m nivået viser imidlertid en tilførsel av organisk materiale der som er ca. tre ganger større enn det som tilføres fra samtlige kloakkavløp til fjorden og vassdragene, og altså 12 ganger større enn vi skulle vente. Selv om regnestykkene bak disse tall er kompliserte, slik at en viss usikkerhet gjør seg gjeldende, må man regne med at de er riktige i store trekk. De gir grunnlag for denne viktige konklusjon om oksygenforbruket i de dypere vannlag:

- 1) Organisk stoff fra kloakkutslippene utgjør bare en mindre del av det organiske stoff som finnes i fjorden.
- 2) Organisk stoff som produseres ved algeveksten i selve fjorden, utgjør langt den største andel.

Mange av de forurensningsulemper som opptar folk i Osloområdet, har utpreget lokal karakter og gjør seg særlig gjeldende i nærheten av elver og andre utløp. Disse ulemper skyldes at fjorden nær slike utløp blir tilført en relativt større mengde næringsstoffer og urenheter enn fjorden som helhet. Det er derfor all grunn til å foreta en omhyggelig vurdering av hvor og hvordan avløpsvann og elvevann bør ledes ut i Oslofjorden.

I Oslofjorden er virkningene av tilførselene sterkere jo lengre man kommer innover. For de dypere vannmasser kan man nøye seg med å vurdere forskjellen mellom de enkelte hovedbassenger, siden hvert basseng internt fremviser noenlunde jevne forhold. For overflatelaget er det imidlertid mer korrekt å si at tilstanden endrer seg gradvis innover fjorden. Generelt gjelder det at utslipp av forurenset avløpsvann vil gjøre mindre skade for de indre fjordområder jo lengre ut i fjorden de foregår, fordi for-tynningsforholdene bedres med økende avstand fra fjordens innerste punkt.



SANERENDE TILTAK

GENERELT

Oslofjordprosjektet er delt i to. Den første del, som herved fremlegges, omfatter først og fremst en naturvitenskapelig beskrivelse av indre Oslofjord og av hvordan den som resipient har reagert på forurensningspåvirkningen fra boliger, industri og landbruk. Den annen del skal omfatte prinsipielle og tekniske vurderinger av de alternative løsninger for behandling og utslipp av vannforurensninger, og av tiltak som direkte kan påvirke forholdene i fjorden.

En diskusjon av sanerende tiltak i denne rapport må derfor vesentlig oppfattes som en orientering om det etterfølgende arbeid. Dette skal også utføres i NIVA's regi, og prosjektet er allerede godtatt av Oslo og Bærum kommuner. På det nåværende stadium har det likevel vært mulig å bringe diskusjon av tekniske tiltak på kortere sikt frem til to klare konklusjoner, som bør danne utgangspunktet for kommunenes arbeid de nærmeste år fremover.

De alternative tiltak som nevnes, tar først og fremst sikte på å løse indre fjords forurensningsproblemer generelt. Slike generelle tiltak vil neppe kunne løse alle lokale problemer i fjordens enkelte avsnitt i samme grad. Vurdering av helt lokale problemer må derfor både nå og i fremtiden tas opp for seg.

REDUKSJON AV OVERFLATELAGETS PRODUKTIVITET

Det er i første rekke fire forskjellige alternative tiltak som kan tenkes anvendt for å redusere overflatelagets produktivitet. To av dem går ut på å redusere næringsstofftilgangen til indre fjord, ett på å øke effekten av overflatelagets vannutskiftningsmekanisme og ett på å flytte indre fjords kloakkbetlastning fra overflatelaget til det ikke produktive mellomlag. Det er viktig å bemerke at ingen av disse tiltak kan bringe næringsstofftilgangen – og dermed algeveksten – under absolutt kontroll, men alle må antas å kunne forbedre forholdene i betydelig grad. Alle fire metoder forutsetter at alt kloakkvann til indre fjord bringes under teknisk kontroll, slik at bare helt ubetydelige mengder renner ut i elvene eller kommer til sjøen utenom de spesielt anordnede utslipp. En hovedbetingelse for å oppnå gode forhold i fjordens øvre brakkvannslag er at det oppstår fra elvevann som ikke er forurenset.

Auskjærende tunneler.

En flytning av kloakkutslippene fra indre til ytre fjord vil utvilsomt være en effektiv metode for å redusere tilgangen på



næringsstoffer til indre fjord. Det må på den annen side tas med i vurderingene at problemer i stedet kan oppstå lokalt der hvor nye utslipp plasseres. Man må regne med stor årvåkenhet fra befolkning og myndigheter i de tilstøtende områder. Å finne egnede utslippssteder uten slike vanskeligheter burde imidlertid la seg gjøre.

Vidtgående rensning.

En aktuell mulighet for å bedre forholdene er en vidtgående kjemisk rensning av avløpsvannet, som foruten partikler fjerner organisk stoff og næringsstoffer. Verdien av slike rensprosesser vil være avhengig av om de kan fjerne en så stor del av den samlede tilførsel av disse komponentene at det gjenværende ikke vil ha nevneverdig uheldig innvirkning på situasjonen i fjorden. En vesentlig forbedring kan bare ventes om rensningen fører til en vidtgående reduksjon av næringsstoffer i forhold til den samlede tilførsel til fjorden.

Tilførsel av ferskvann.

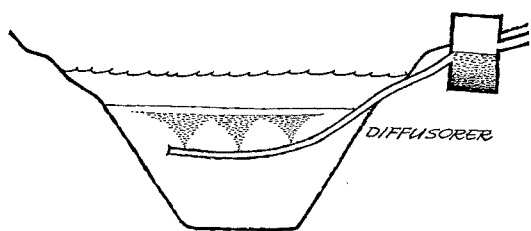
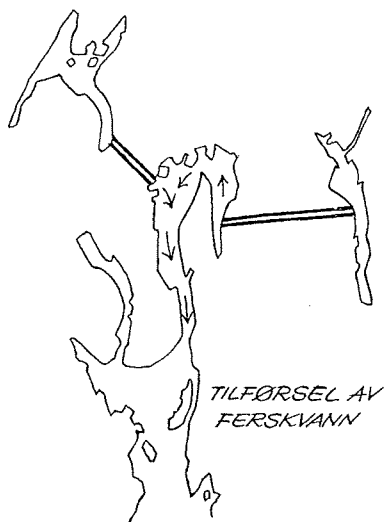
Overflatelagets næringsstoffnivå ville bli redusert om dets vannutskiftning med ytre fjord ble intensivert. Uten spesielle tekniske problemer kan dette oppnås ved en ekstra tilførsel av ferskvann (f. eks. fra Øyeren eller Tyrifjorden) på en slik måte og i slike mengder at den estuarine sirkulasjon blir betydelig øket. Innblandingen må i tilfelle skje ved dypvannsutslipp, slik at vi ikke får ferskere vann i overflatelaget enn det vi har i dag. (I så fall ville det biologiske miljø endre seg i uheldig retning, og issituasjonen om vinteren bli betydelig forverret.)

Kloakkutledning i indre fjords dypere vannmasser.

Undersøkelsene har vist at bare omtrent en fjerdedel av tilførslene når under 20 m nivået i indre fjord, og dessuten at mellomstjiktets vannmasser i stor utstrekning skiftes ut med ytre fjord uten å komme opp i overflatelaget. Hvis man derfor kunne lede ut kloakkvannet slik at det havnet i mellomstjiktet, ville overflatelaget bli vesentlig mindre påvirket ved tilførsel av næringsstoffer. En slik utledning av kloakkvannet er i praksis fullt mulig ved hjelp av diffusorer nede i dypvannet.

SIKRING AV DYPLAGENES OKSYGENFORSYNING

Som vist gjennom undersøkelsene, skyldes forbruket av oksygen i de dypere vannlag i første rekke algeproduksjonen i overflatelaget, men i mindre grad også tilført organisk materiale fra land. Da alle de tiltak som er nevnt i forrige avsnitt ville føre til redusert algeproduksjon, ville de som en bivirkning også bidra til å



bedre dypvannets oksygensituasjon. Det er ikke urimelig å anta at disse bivirkninger alene kunne være tilstrekkelige. Eventuelt finnes det flere metoder som kan komme i tillegg:

Ferskvannsinledning

i dyplagene vil kunne bidra til å øke vertikaldiffusjonen i så stor grad at de massive dypvannsutskiftninger i dyplagene ville inn- treffe hyppigere enn før.

Luftinnblåsning

i dyplagene ville, slik som ovenfor, øke vertikaldiffusjonen og dermed hyppigheten av de massive dypvannsutskiftninger. I til- legg vil luftens kontakt med dypvannet i seg selv også kunne gi dette et oksygentilskudd.

En dyptliggende sjøtunnel fra Bunnefjorden til ytre Drøbaksund, forsynt med store pumper, vil kunne skape en tvungen utbytning av de dypere vannmasser i indre fjord og dermed en sikret oksy- gentilførsel. Vannet kan pumpes to veier. Dette vil gi to forskjel- lige sirkulasjonsretninger av vannmassene gjennom fjorden, men begge antas å kunne gi en betydelig bedring av oksygensitua- sjonen.

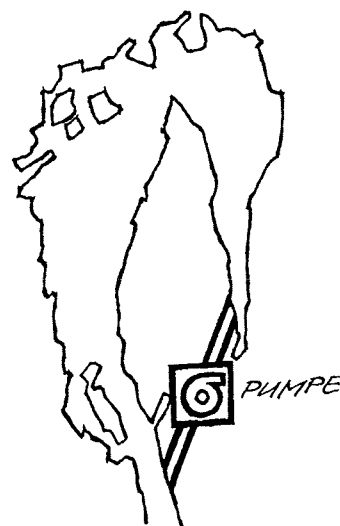
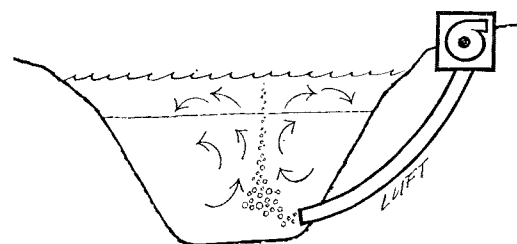
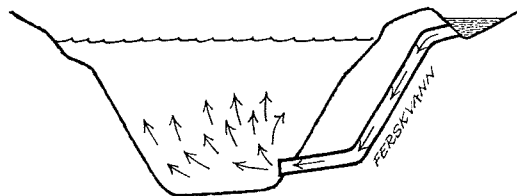
BEKJEMPELSE AV DRIVGODS OG ANNET OVERFLATEMATERIALE

Ulempene av materiale som driver på overflaten og samler seg på strender, betyr meget for publikums inntrykk av fjordens kvalitet. De henger for øvrig i noen utstrekning sammen med publikums egen skjødesløshet. Mulighetene for å redusere dem betydelig skulle være gode, og systematisk gjennomføring av enkle metoder burde gi en viss bedring. Prosjektet omfatter ingen vurderinger av slike metoder, men de viktigste skal for ordens skyld nevnes her i form av stikkordene: Opplysnings- virksomhet, lovgivning, kontroll, fanglenser i vassdragene, opp- samlingstjeneste i selve fjorden og beredskapssystem (spesielt mot oljesøl).

ANDRE TILTAK

En rekke andre tiltak har vært trukket frem i den offentlige diskusjon og kan tjene som supplement til dem som er nevnt foran. Disse tiltakene kan sammenfattes slik:

- Utdypning av Drøbacterskelens dypeste renne.
- Fjerning av jetéen på Drøbacterskelens vestre del.
- Tunnel gjennom Drøbacterskelens i dypere nivå.
- Forbindelsestunnel mellom Hallangspollen og Bunnefjorden.
- Reduksjon av næringsstoffnivået i overflatelaget ved kunstig økning av blåskjellenes vekstareal.



TEKNISKE TILTAK PÅ KORTERE SIKT

Ved vurdering av de kortsiktige tiltak som det kan komme på tale å utføre i den nærmeste tid, bør oppmerksomheten rettes mot selve forurensningsutslippene. Det er to grunner til dette. For det første må — uansett hvilke langtidsløsninger som velges — kloaknettene på land utbygges og samles til større enheter. For det annet er det hovedsakelig på grunn av tilførselskomponentenes innblanding i overflatelaget at de uheldige forurensningsulemper gjør seg gjeldende.

Med utgangspunkt i oppsamling, behandling og utslipp av kloakkvannet kan vi dele de tekniske alternativer i to grupper:

A. Utslipp i indre fjord

B. Utslipp i ytre fjord.

I det etterfølgende arbeid med vurdering av Oslofjordens forurensning skal tekniske tiltak vurderes på forprosjektbasis.

Selv om det av de kommende tekniske vurderinger kunne trekkes den konklusjon at utslipp i ytre fjord bør bli den endelige løsning, ville det ta mange år å få realisert et slikt prosjekt. Diskusjonen om tekniske tiltak på kortere sikt bør derfor ta utgangspunkt i at vi muligens bestandig, og i hvert fall for en periode på anslagsvis 15—20 år, vil komme til å ha utslipp i indre fjord. De alternative måter for utslipp i indre fjord må derfor vurderes meget nøye. Selv som midlertidige tiltak vil de ha mange års funksjonstid.

Det synes derfor klart at det i årene fremover først og fremst bør satses på en vesentlig hurtigere innblanding av avløpsvannet i fjordens hovedmasser, og på å befri elver og bekker for forurensninger. Spesielt bør det tas sikte på at kloakkvann blir sluppet ut på dypt vann på en slik måte at det kan bli innlagret og stabilisere seg på et visst dyp i vannmassene i den nedre del av spranlaget. Ved en slik innlagring vil sannsynligvis storparten av forurensningene bli transportert ut av fjorden uten å bli ført opp i overflatelagene. Ved hjelp av det foreliggende hydrografiske materiale vil det være mulig å beregne hvilke kloakkvannkonsentrasjoner som vil oppstå i den produktive sone. Det foreligger allerede gode erfaringer fra en rekke slike dypvannsutslipp i indre Oslofjord. Forholdene ligger derfor teknisk og erfaringsmessig vel til rette for å få dette til i praksis.

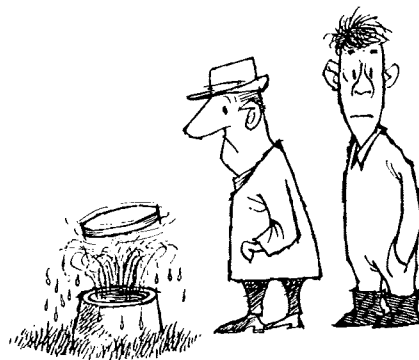
Kloakkvannet må før utslipp renses for slam og flytestoffer (mekanisk rensning). Senere kan videregående rensning komme på tale. Det er imidlertid ikke nødvendig å ta stilling til dette i første omgang. Gjennomføringen av dette program kan ikke antas å kreve særlig store beløp utover den nåværende investerings-

ramme, og anleggene vil kunne gjennomføres ved en trinnvis utbygging. Arbeidet vil føre til at en jevn forbedring av forurensningsulempene meget snart vil kunne gjøre seg gjeldende.

Skal Oslofjordens øvre vannlag bli bedre, må de befries helt for forurensningstilførsler. Det ferskvann som i fremtiden fortsatt skal slippes ut i overflatelaget, må være fritt for bolig- og industriavløp og bli så rent som overhodet mulig. Alt kloakkvann og annet forurenset avløpsvann må føres frem til samlepunkter ved fjorden. Det eksisterende ledningsnett må kontrolleres for eventuelle lekkasjer.

Overløp til vassdrag bør bare forekomme som sikkerhetsforanstaltninger og ikke tre i funksjon under normale driftsforhold. Arbeidet med å bringe alt kloakkvannet frem til samlepunktene vil kreve en betydelig innsats, men ligger vel tilrette for kommunenes egne tekniske etater. I en rekke tilfelle vil samarbeid mellom kommuner kunne by på tekniske og økonomiske fordeler. Det anbefales at det legges opp grundige planer for gjennomføringen av dette arbeid, slik at det meste av kloakkvannet kan komme under kontroll i løpet av få år.

Det må understrekes at arbeid med renseanlegg og dypvannsutslipp bare kan gi beskjedne resultater så lenge som en betydelig del av forurensningene føres til fjorden via elver og bekker.



VIDEREGAENDE VURDERINGER

Som et ledd i NIVA's fortsatte arbeid med Oslofjordprosjektet vil det bli utført målinger og beregninger av dypvannsutslipp.

Det foreligger i dag et så omfattende materiale om vannutskiftning og planktonproduksjon i indre fjord at man med en viss grad av sikkerhet skal kunne forutsi virkningene av å føre kloakkvannet ned i dyplagene. På den annen side vil det være nødvendig å observere forurensningssituasjonen i fjorden gjennom kontinuerlige målinger for å karakterisere endringer som følge av gjennomførte tekniske tiltak. Samtidig som slike målinger til enhver tid kan konkretisere fjordens tilstand, vil de ha sin største verdi ved å kunne fastslå om og når ytterligere tiltak bør komme til utførelse.

Selv om det nå ser ut til at en gjennomføring av elvesanering og dypvannsutslipp vil gi oss bedre forhold i indre Oslofjord for flere år fremover, må vi anta at ytterligere tiltak etter hvert må gjennomføres.

Ytterligere tiltak med avløpsvannet vil da innebære:

- Fjerning av næringssalter og organisk stoff gjennom mer vidtgående rensning, eller
- en fullstendig eller delvis transport av forurensninger til de ytre fjordområder.

Det videre arbeid vil også omfatte vurderinger av de andre poster som er nevnt foran under avsnittet om sanerende tiltak.

Det vil bli utredet i hvilken grad andre tiltak kan brukes som supplement til dypvannsutslippene og derved gi denne løsning øket virkningsgrad og forlenget virketid.

Alt i alt vil de tiltak som er foreslått på kortere sikt, gi oss rimelig tid til å vurdere de store linjer i bruken av Oslofjorden som resipient. Det er mange muligheter å spille på, og det er grunn til å tro at det videre arbeid med Oslofjordprosjektet vil gi oss beskjed om hvilken løsning eller hvilken kombinasjon av løsninger som vil være formålstjenlig ut fra virkningsgrad og økonomi.

Selv om forholdene i fjorden også i fremtiden må antas å variere fra år til annet, vil det ifølge denne undersøkelsen være mulig å kombinere bolig- og industriekspansjon i Oslo-området med stadig bedre forhold i selve fjorden.



HOVEDKONKLUSJONER

A. INDRE OSLOFJORDS FORURENSNING

1. *Hele indre Oslofjord*, fra overflaten til bunnen, bærer preg av at fjorden brukes som resipient for kloakkvann, industriavløp og annet forurenset vann.
2. *Overflaten* er forurenset av olje og drivgods. Disse forurensninger har ikke særlig stort omfang, men gjør seg tydelig gjeldende ved strendene og i havnebassengene.
3. *Overflatelaget*, ned til ca. 10 m, er sterkt preget av kloakktilførslenes gjødslingseffekt. Primært gir denne seg utslag i en betydelig øket vekst av frittlevende og fastsittende alger. Sekundært fører dette til forandring av overflatelagets biologiske miljø som helhet og til at fjordvannet blir grumset og ofte sterkt misfarget. Fjordens belastning med organisk materiale skyldes i første rekke den algevekst som finner sted i overflatelaget.
4. *De dypere vannmasser* har tydelig oksygenvinn, som i de enkelte bassenger kan føre til kritisk lave oksygenverdier eller helt råttent vann. Oksygenvinnet skyldes i alt vesentlig ned-synkende organiske partikler, som kommer fra algeveksten i de øverste vannlag.
5. Også *bunnen* belastes sterkt med nedfall av organisk materiale, og betydelige deler av indre fjords dypeste bunnområder er av den grunn råtne i lengre eller kortere tid. Råtten bunn blir raskt frisk igjen når oksygenholdige vannmasser kommer til.

B. VANNUTSKIFTNINGEN

1. De virkninger som forurensningstilførslene har i indre Oslofjord, er først og fremst bestemt av vannutskiftningen med de ytre fjordområder.
2. Indre Oslofjords øvre lag har om sommeren en sterk brakkvannsdannelse som nesten blir borte om vinteren.
3. Vinden er langt den viktigste enkelt-årsak til vannutskiftning. Under perioder med langvarig nordavind kan tungt sjøvann utenfor terskelen ved Drøbak bli løftet opp over terskelhøyden og trenge inn i indre fjord.
4. Vertikale diffusjonsprosesser foregår over alt i fjorden. I seg selv betyr de lite for vannkvaliteten, men de fører til at de dypere vannmasser får en jevnt synkende saltholdighet. Dermed skapes en forutsetning for at innstrømninger over Drøbakterskelen fører til bunnvannsfornyelse.

C. VIDERE UNDERSØKELSER

1. Vurderinger av praktiske tiltak som kan redusere algeveksten i overflatelaget, sikre dyplagenes oksygenforsyning og øke vannutvekslingen i fjorden, vil bli gjennomført i et etterfølgende prosjekt under NIVA's ledelse. Dette inngår som et ledd i den samlede undersøkelse. Prosjektet vil omfatte transport, rensning og uslipp av kloakkvann og tiltak som kan påvirke fjorden på annen måte.
2. Fjorden må fortsatt bli gjenstand for regelmessig overvåkning. Blant annet må effekten av de tiltak som etter hvert settes ut i livet, bli målt og danne utgangspunkt for det tempo som de følgende tiltak gjennomføres med.

D. KOMMUNENES TILTAK DE NÆRMESTE ÅR

Vi anbefaler at det i kommunene rundt indre Oslofjord legges opp et program med fast tidsramme (5–10 år) med sikte på at *indre Oslofjord inntil videre fortsatt brukes som resipient* etter følgende retningslinjer:

1. Alt forurenset vann må ledes bort fra vassdragene og føres frem til et lite antall samlepunkter ved fjorden. Vassdragene og selve fjorden må videre befris for drivgods, olje og andre flyttestoffer.
2. Kloakkvannet må passere mekaniske renseanlegg for fjerning av slam og flyttestoffer og ledes ut i fjorden på 30–60 m dyp, avhengig av vannmengde og hydrografiske forhold på de enkelte steder i fjorden. Ved anleggene avsettes plass til ytterligere rensning.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKING

Instituttssjef, siv.ing. Kjell Baalsrud

PROSJEKT-ADMINISTRASJON

Siv.ing. Hans Munthe-Kaas

DET RÅDGIVENDE UTVALG

Professor Trygve Braarud (UO)
Professor Ernst Føyn (UO)
Professor Håkon Mosby (UB)
Professor Johan T. Ruud (UO)

FAGMEDARBEIDERE

HYDROGRAFI	BIOLOGI	KJEMI	TILFØRSLER OG MATERIALBALANSE	REKREASJONSKVALITET	TILKNYTTETE RÅDGIVERE
1. amanuensis Herman G. Gade (UB)	Universitetslektor Fredrik Beyer (UO)	Professor Ernst Føyn (UO)	Siv.ing. Hans Munthe-Kaas (N)	Siv.ing. Hans Munthe-Kaas (N)	Professor J. E. Fjeldstad (UO)
Cand.real. O. M. Johannessen (UB)	Professor Trygve Braarud (UO)		Siv.ing. Svein Stene Johansen (N) Oslo Kommune		Siv.ing. Carl-Henrik Knudsen (N)
	Cand.real. Ågot Dybwad (UO)				Siv.ing. Terje Simensen (N)
	Cand.real. Nils Klavestad (UO)				Professor O. H. Sælen (UO)
	Cand.real. Ingrid Nygaard (UO)				
	Professor Johan T. Ruud (UO)				
	Cand.real. Olav Skulberg (N)				
	Cand.real. Jon Versvik (UO)				

(N) etter navnet betyr at vedkommende er ansatt ved Norsk institutt for vannforskning
(UB) —»— —»— —»— Universitetet i Bergen
(UO) —»— —»— —»— Universitetet i Oslo