

O - 43/73

VURDERING AV DRØBAKSUNDET SOM RESIPIENT

FOR

KLOAKKRENSSEANLEGG I SKIPHELLEBUKTA

Saksbehandler: cand.real. Jarle Molvær

Medarbeider : cand.real. Jon Knutzen

## F O R O R D

I brev av 22. mars 1973 fra Frogn kommune v/ing. Chr. F. Grøner A/S, ble Norsk institutt for vannforskning (NIVA) bedt om å utarbeide en rapport med vurdering av Drøbaksundet som resipient for utslipp fra kloakkrenseanlegg i Skiphellebukta.

Vurderingen skulle bygge på materiale fra undersøkelser NIVA og andre institusjoner har utført i området, samt oversendt materiale fra oppdragsgiver.

Materialet som er benyttet stammer i hovedsaken fra NIVAs Oslofjordundersøkelse 1962-65, NIVAs overvåkningsprogram for Oslofjorden 1973 og NIVAs og Vassdrags- og havnelaboratoriets (VHLs) program for biologiske, hydrokjemiske og hydrofysiske undersøkelser av Oslofjorden i forbindelse med vurdering av byggested for kjernekraftverk.

Ved instituttet har cand.real. Ivar Haugen og cand.real. Knut Kvalvågnes bidratt med informasjon fra dykkerundersøkelse i området. Amanuensis Finn Walvig, Biologisk stasjon, Drøbak, og universitetslektor Bengt Christiansen, Zoologisk laboratorium, Universitetet i Oslo, takkes for opplysninger om biologiske forhold i Skiphellebukta.

Blindern, 28/2-74

Jarle Mølver

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
INNHALDSFORTEGNELSE	3
FIGURLISTE	4
1. DRØBAKSUNDETS HYDROFYSIKK	5
1.1 Generelt	5
1.2 Lagdeling	5
1.3 Vannutskiftning i overflatelaget	6
1.4 Vannutskiftning i dypvannet	9
2. FORURENSNINGSTILSTAND	10
2.1 Tilførsler	10
2.2 Hydrokjemi	12
2.3 Biologiske forhold og rekreasjons- interesser	15
3. SAMMENFATTENDE RESIPIENTVURDERING	17
4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	19
5. REFERANSER	21

FIGURLISTE

- Figur 1. Kart over Drøbaksundet
- " 2. Kart over indre og midtre Oslofjord
- " 3. Bunnprofil av Oslofjorden
- " 4. Drøbaksundet 1973. Vertikale tetthetsprofiler
- " 5. Saltholdighetsfordeling etter tre dager med nordlig frisk bris til liten kuling
- " 6. Saltholdighetsfordeling etter tre dager med sørlig frisk bris
- " 7. Strømmålingsstasjoner mai/juni 1963
- " 8. Drøbak 1963. Døgnlige middelvendier for vind og strøm
- " 9. Middellprofil over 13 månedøgn
- " 10. Teoretisk beregnet horisontalt strømprofil
- " 11a-c. To strømkorsmålinger. Midlere strømprofil
- " 12. Midlere reststrøm ved Brenntangen fra 0-20 m
- " 13. Midlere tetthet  $\sigma_t$  i 1 m i Drøbaksundet for juni/juli 1972
- " 14. Stasjon 3. Vertikal oksygenfordeling juni 1973

## 1. . OMRÅDETS HYDROFYSIKK

### 1.1 Generelt

Drøbaksundet er det relativt rette fjordområdet mellom Filtvet fyr i sør og Kaholmen i nord, figur 1 og figur 2.

Dybden varierer mellom 170 m og 210 m. I nord er sundet skilt fra Indre Oslofjord av en grunn terskel på ca. 19 m (figur 3), og en undervannsmolo opp til ca. 1 m dyp, som i øst fortsetter nord til Kaholmen.

I sør går Drøbaksundet over i Breiangen som igjen står i direkte forbindelse med ytre Oslofjord og Skagerrak.

De hydrografiske forhold i sundet avhenger av forholdene i indre Oslofjord og de ytre fjordområder i sør, og viser typiske sesongmessige variasjoner. I tillegg kommer store og mer kortvarige svingninger som i de aller fleste tilfeller skyldes lokale vindforhold.

Vannmassen i fjorden kan inndeles i et overflatelag som størstedelen av året er utpreget brakt, (saltholdighet 16-25 l/oo) og et dypvann som hovedsakelig utgjøres av en relativt ensartet sjøvannsmasse. Overgangen mellom disse to lagene er ofte noe diffus, og en snakker derfor vanligvis om et sprangsjikt, som kort kan karakteriseres som det lag i vannet som har størst tetthetsgradient.

Skiphellebuktas beliggenhet framgår av figur 1. Innerst er det sandstrand og relativt langgrunt, mens det er fjellrygger på begge sider. Neset i nord fortsetter under vann, slik at det dannes en undersjøisk dal. Dette kan medføre noe bakevjedannelse, foruten vannoppstuvning ved sørlig vind. Bunnen flater ut på 30-40 m, og herfra og ned til maksimaldypet på ca. 50 m, er det løsavsetninger av noe vekslende fasthet. En del vrakrester fra "Donau", som gikk ned under krigen, fins på 20-45 m dyp.

### 1.2 Lagdeling

Overflatelagets tykkelse varierer mellom ca. 10 m og 25 m, avhengig av ferskvannstilførselen og vindforholdene ved de aktuelle tidspunkter.

Figur 4 viser den vertikale tetthetsfordeling utenfor Elle lykt ved ni tidspunkter i tiden 10/1 - 22/12 1973. Tettheten er framstilt ved parametren  $\sigma_t$ , der  $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$  hvor  $\rho$  er vannets tetthet (egenvekt). Overflatelagets tykkelse varierer mellom ca. 10 m og 30 m, avhengig av ferskvannstilførselen og vindforholdene.

Økt ferskvannstilførsel resulterer i lavere saltholdighet i overflatelaget og dermed større stabilitet i sprangsjiktet.

Ferskvannstilrenningen til indre Oslofjord har to maksima, i april og november, med opptil  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , og to minima hvorav juni er det minste med ca.  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Den midlere årlige ferskvannstilførsel er ca.  $29 \text{ m}^3/\text{s}$ . I tillegg kommer brakkvannstilførselen til Breiangen fra Drammensfjorden og Glommas bidrag til vannmassene i ytre Oslofjord.

Drammenselva har til vanlig sin største vannføring i mai, og minimum i februar. Dens midlere vannføring ved utløpet er ca.  $340 \text{ m}^3/\text{s}$ . På grunn av den betydelig høyere ferskvannstilrenningen fra Drammensfjorden burde denne spille en betydelig større rolle for overflatelagets saltholdighet enn tilrenningen fra indre Oslofjord.

Glomma har til vanlig maksimal vannføring i juni og minimum i mars. Midlere vannføring er ca.  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Vindretningen i Drøbaksundet er i hovedsaken nordlig eller sørlig. Ved nordlig vind vil brakkvannet i overflatelaget bli ført ut av sundet, med høyere overflatesaltholdighet som resultat. Ved sørlig vind føres brakkvann fra Breiangen inn i sundet samtidig som brakkvannet i indre Oslofjord holdes igjen. Dermed oppstår en oppstuvning av vannet i overflatelaget, med økt tykkelse og lav saltholdighet som resultat.

Den vertikale blandingen som vinden skaper, vil dessuten homogenisere overflatelaget. Virkningen av varierende ferskvannstilførsel og vindforhold framgår av figur 3. Den 13/6 blåste det til eksempel liten sørlig kuling ( $11.4 \text{ m/s}$ ) i Drøbaksundet.

### 1.3 Vannutskiftningen i overflatelaget

Generelt sett er vannutskiftningen i overflatelaget bestemt av fem forskjellige mekanismer: den estuarine sirkulasjon, vindstrøm, tidevann, tetthetsstrømmer og andre vannstandsendringer. For Drøbaksundet har en best kjennskap til de tre førstnevnte mekanismer.

### Den estuarine sirkulasjon

Når ferskvann tilføres inne i en fjord, vil det strømme ut som et mer eller mindre brakt overflatelag, idet noe av det underliggende sjøvann rives med av det utgående vannet. Denne brakkvannsstrømmen øker dermed i mektighet og saltholdighet utover i fjorden. Sjøvannet som dermed transporteres ut av fjorden, blir erstattet av en kompensasjonsstrøm i dypere lag. Dette strøm-mønsteret kalles estuarin sirkulasjon.

Forholdene i Oslofjorden avviker i noen grad fra dette generelle bildet. I tillegg til ferskvannstilførselen til indre fjord, kommer brakkvanns-tilførselen til Breiangen fra Drammensfjorden og Glommas bidrag til vann-massene i ytre Oslofjord.

I tørre somre vil fordampningen fra indre fjord kunne overstige fersk-vannstilførselen (Gade 1970). Brakkvannet i fjorden kan da få høyere saltholdighet (og tetthet) enn overflatevannet i Breiangen. Det oppstår derved en såkalt "negativ sirkulasjon" idet brakkvann fra Breiangen strømmer inn gjennom Drøbaksundet til indre fjord. Salt og tungt vann fra indre fjord trenger som en understrøm ut fjorden.

Også tidlig på året er ferskvannstilførselen så liten at den estuarine vanntransporten nærmest opphører.

For månedene april og november har Gade (1970) beregnet midlere brakkvanns-transport gjennom sundet til 180 - 250 m<sup>3</sup>/s, og for juni ca. 10 m<sup>3</sup>/s.

### Vindstrøm

Drøbaksundet er relativt smalt med større bassenger både utenfor og innenfor, samtidig som vindstyrken i sundet jevnlig er større enn lenger nord og sør. Den vinddrevne vanntransporten ut og inn fjorden resulterer dermed i store strømhastigheter i sundet.

Vinden i Oslofjorden har monsunkarakter. Vinteren er dominert av nord til nordøstlige vinder som vanligvis kuliminerer i januar. Om sommeren blåser oftest vinden fra sør-søøst, med maksimum i juli. Avvikende vindforhold skyldes vanligvis vandrede lavtrykk.

Gade (1970) har illustrert vindens betydning for forholdene i overflate- laget, figur 5 og figur 6. Figurene viser to junisituasjoner, den første som følge av tre dagers nordavind av laber til frisk bris styrke, den andre en sønnenvindsituasjon av tilsvarende styrke og varighet.

I nordavindsituasjonen blir sjøvannsfasen løftet like til overflaten og blir tilgjengelig for innstrømming over Drøbakerskelen. I de øverste metrene er innstrømmingen blokkert av utstrømmende brakkevann.

Konsekvensen av dette er at i vinterhalvåret fins lite brakkevann i indre Oslofjord og i Drøbaksundet.

Tilsvarende skjer en opphopning av brakkevann i Drøbaksundet og indre Oslofjord ved sørlig vind. Den vinddrevne sirkulasjon utgjør altså en effektiv utskiftningsmekanisme i brakkevannslaget i vinterhalvåret, men betyr mindre i sommerhalvåret.

### Strømmålinger

Strømmålinger i sundet er utført av Gade (1963), Johannessen (1965) og av Vassdrags- og havnelaboratoriet (1973) i forbindelse med lokalisering av kjernekraftverk i ytre Oslofjord.

Gade utførte en tidevannsanalyse på strømmålinger fra 2 m og 10 m dyp nær terskelen. Han fant en klar sammenheng mellom det vertikale strømprofil og vindforholdene i Drøbaksundet 9-13 timer tidligere.

Johannessen videreførte Gades arbeid og målte strøm på fire stasjoner på tvers av sundet i mai-juni 1963. Stasjonsplasseringen er vist på figur 7.

Målingene falt sammen med en periode med stor ferskvannstilførsel til fjorden. Figur 8 viser døgnlige middelverdier for vind og strøm, og figur 9 midlere strømprofil over 13 månedøgn.

Varierende vindforhold påvirker strømprofilen i stor grad, og i tillegg kommer effekten av lufttrykksvariasjonen.

I middel ble det registrert utstrømming over ca. 7,5 m og innstrømming under.

Man har relativt sparsomme opplysninger om det horisontale hastighetsprofil på tvers av sundet. Det er sannsynlig at profilet endrer form både med dybden og strømstyrken.



Ved en valgt maksimum strømstyrke på 25 cm/s beregnet Johannessen et teoretisk midlere horisontalt hastighetsprofil som vist på figur 10, og fant maksimum strømstyrke på østsiden av sundet. To forsøk med strømkors i 0,9 m dyp ga imidlertid et noe annet resultat, figur 11, hvor største strømstyrke ble funnet på vestsiden av sundet.

I sine forundersøkelser for lokalisering av kjernekraftverk i Oslofjorden har Vassdrags- og havnelaboratoriet, (VHL/NIVA 1973), utført en lang serie strømmålinger i 6, 12,5 og 20 m dyp ved Drenntangen, tvers over fra Filtvet.

Målingene viste en nordoverrettet reststrøm i alle tre observasjonsdyp, figur 12. Dette sannsynliggjør at det eksisterer en søroverrettet reststrøm på sundets vestside. Hydrofysiske målinger som er utført av VHL synes å bekrefte at det eksisterer et strømskjær i sundet, med innstrømmende brakt (lett) vann på østsiden, figur 13.

Volumtransporten i de nord- og sydgående reststrømmene vil variere betydelig gjennom året, avhengig av varierende hydrografiske og meteorologiske forhold. I VHL/NIVA (1973) har en anslått det nordoverrettede reststrømvolum til ca.  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ , og antar at en vesentlig del av dette passerer over Drøbacterskelen og inn i indre Oslofjord.

#### 1.4 Vannutskiftning i dypvannet

Drøbacterskelen, med et minste dyp på ca. 19 m, skiller dypvannet i indre Oslofjord fra dypvannet i Drøbaksundet og i ytre Oslofjord. Utenfor Drøbacterskelen står vannmassene i direkte forbindelse med Skagerrak, og det oppstår dermed situasjoner hvor vannet over terskeldypet kan strømme inn over terskelen, synke ned til det nivå som tilsvarer dets tetthet og helt eller delvis fornye dypvannet i indre Oslofjord.

Karakteristisk for dypvannsinnstrømmingene er at de hovedsakelig foregår ved nordlig vind. Vindens varighet synes å bestemme mengden av det innstrømmende vann.

Dypvannet i Drøbaksundet blir sterkt påvirket av skiftende meteorologiske og hydrografiske forhold i ytre Oslofjord og Skagerrak. Resultatet blir

hyppige og omfattende utskiftninger av dypvannet, særlig i mellomdypene 30-130 m. Figur 14 illustrerer hvordan oksygeninnholdet i vannmassene under ca. 30 m ved st. 3 (Im-99) har økt i løpet av 14 dager i juni 1973, noe som viser at en hel dypvannsfornyelse har skjedd over så kort tidsrom.

Under ca. 130 m kan utskiftingen bli noe hindret av terskelen ved Mølen, men også her vil vannmassene bli fornyet relativt hyppig.

## 2. FORURENSNINGSTILSTAND

### 2.1 Tilførsler

De viktigste kilder for forurensninger til fjordområder, er avløpsvann fra boliger, industri og jordbruk.

Drøbaksundet mottar forurensninger fra tre kanter:

- indre Oslofjord
- Breiangen og ytre fjord
- lokale tilførsler

I en delrapport om Oslofjorden og dens forurensningsproblemer har Stene Johansen (1967) laget en samlet oversikt over tilførslene av næringssalter til indre Oslofjord. Sum tilførsler fra kloakker og vassdrag er framstilt i tabell 1, hvor alle utslipp innenfor Drøbakterskelen er tatt med.

Tabell 1. Totaltilførsler fra kloakker og vassdrag til indre Oslofjord.

Analysekomponent	Tilførsel	Sum kg/år	Sum totalt kg/år	%
Total fosfor	Kloakkutslipp	492 600	719 200	68,5
	Vassdrag	226 600		31,5
Total nitrogen	Kloakkutslipp	2 052 970	3 495 970	58,7
	Vassdrag	1 443 000		41,3
DOF <sub>5</sub>	Kloakkutslipp	10 108 658	14 637 230	69,1
	Vassdrag	4 528 572		30,9

Total fosfor er regnet som summen av ortofosfat og organisk bundet fosfor. Total nitrogen er summen av bundet og fritt ammonium samt nitrat/nitritt uttrykt som N. Døgnbelastningen er satt til 12 g N/person.døgn og 3 g P/person.døgn.

Som indikator på oksygenforbruket ved nedbrytning av organisk materiale er brukt biokjemisk oksygenforbruk (BOF). BOF-verdien bestemmes under standard betingelser i laboratoriet og angis som BOF<sub>5</sub> når analysen har foregått over 5 døgn. Det må presiseres at BOF-tallet gir uttrykk for den oksygenmengde som går med til nedbrytning av organisk materiale over et begrenset tidsrom, og er således ikke det totale oksygenbehov.

Som et resultat av disse tilførsler av nitrogen- og fosfatforbindelser (plantenæringsstoffer) er indre Oslofjord et hardt belastet område med stor produksjon av organisk stoff.

Fra ytre Oslofjord får Drøbaksundet tilførsler av brakkvann fra Drammensvassdraget og til tider også Glommaestuaret. Begge disse vannmasser vil inneholde plantenæringsstoffer, og bidrar dermed til produksjonen av organisk stoff. Man mangler imidlertid holdepunkt for å beregne mengden av disse tilførsler. Elvevannet inneholder også andre forurensningskomponenter som organisk stoff og tungmetaller.

I Frogn kommune er industriavløp ført til utslippssteder via det kommunale avløpsnett.

Det planlagte kommunale avløp mot Drøbaksundet for årene 1973, 1985 og 2000, er framstilt i tabell 2. Avløpet er omregnet til organisk belastning, for en eventuell rensing.

Tabell 2. Total belastning på det kommunale avløpsnett Frogn kommune 1973, 1985, 2000.

	1973	1985	2000
Organisk belastning personekvivalenter	12 200	28 000	44 000
Total fosfor kg P/døgn	40	85	130
Total nitrogen kg N/døgn	150	340	530
BOF <sub>5</sub> kg O/døgn	740	1 700	2 700

I tillegg kommer avrenningen fra uproductive områder, skog, myr og dyrket mark. Dette har en ikke materiale for å beregne, men kan utgjøre en viss tilleggsbelastning.

## 2.2 Hydrokjem

De hydrokjemiske forhold i Drøbaksundet er resultat av et samspill mellom forurensningstilførsler, hydrofysiske forhold og biokjemiske prosesser.

På grunn av den gode forbindelsen med ytre Oslofjord, er oksygenforholdene i Drøbaksundets vannmasser generelt sett tilfredsstillende. I dyplaget ligger oksygeninnholdet stort sett i området 4-5 ml O<sub>2</sub>/l, tilsvarende en oksygenmetning på 60-80%. Under 14-daglige tokt i tidsrommet 12/6-12/12 1973 ble det på stasjon 3 (figur 1) to ganger funnet lavere verdier; 3,26 ml O<sub>2</sub>/l (48,5% metning) i 30 m dyp den 13/6, og 3,86 ml O<sub>2</sub>/l (59,2% metning) i 80 m dyp den 24/7. Minimumsverdiene den 13/6 og 27/6 skyldes trolig en viss opphoping av organisk materiale og livlig nedbrytning i nedre del av sprangsjiktet.

Som det går fram av figur 14 hadde oksygenforholdene under ca. 30 m forbedret seg vesentlig fra 13/6 til 27/6, noe som illustrerer de raske vannutskiftningene i sundet.

I overflatelaget varierer oksygenverdiene betydelig, og det oppstår til tider lave verdier i sprangsjiktet. Den 27/6 1973 ble det målt 3,13 ml O<sub>2</sub>/l (49,7% metning) i 20 m. Som allerede nevnt skyldes dette sannsynligvis en viss konsentrasjon av dødt organisk materiale i dette nivået.

Laveste oksygenverdi for st. Im-2 litt nord for Elle lykt for tidsrommet 1962-65 var 3,91 ml O<sub>2</sub>/l (60,6% metning) i 20 m dyp, og ble funnet 18/9-63.

Innholdet av fosfor og nitrogenforbindelser i vannmassene i Drøbaksundet varierer betydelig med tid og dyp. I tabell 3 er gjennomsnitts-, maksimums- og minimumsverdier av nitrat og ortofosfat i tidsrommet 1962-65 ført opp for stasjonene Fl-1, Im-99 og Lm-99 (se figur 2).

Senere observasjoner fra 1972-73 har bekreftet verdiene i tabellen.

For både nitrat og ortofosfat avtar verdiene utover i fjorden, noe som bekrefter at de vesentligste tilførslene skjer i indre fjordområde.

Nitrat oppnår høye maksimumskonsentrasjoner (i vinterhalvåret), på alle stasjoner, og det er relativt liten forskjell mellom overflatelag og dypvann. I sommerhalvåret (minimumsverdier) avtar nitratinnholdet i alle dyp, særlig i overflatelaget (10-20 m) hvor planktonveksten foregår. Størparten av nitrogenforbindelsene i disse dyp utgjøres på denne årstid av bundet og fritt ammonium. Tabell 4 illustrerer dette, med sammenhørende nitrat (inkl. nitrit)-verdier og bundet og fritt ammonium fra en vilkårlig valgt dag.



Tabell 4. St. Fl-1, Im-2, Lm-1. Nitrat/Nitritt og bundet og fritt ammonium 14/7-64.

Dyp	Fl-1		Im-2		Lm-1	
	NO <sub>3</sub> -N	BFA	NO <sub>3</sub> -N	BFA	NO <sub>3</sub> -N	BFA
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1		200	5	190	6	170
4	10	180	4	230	5	220
8	8	190	5	180	5	160
12	10	190	25	190	57	130
20	130	140	87	140	17	140
40	182	100	87	120	30	120

I tidsrommet 1962-65 ble vannmassenes innhold av bundet og fritt ammonium relativt sjelden bestemt, men ovenstående synes å illustrere forholdet mellom N og BFA i sommerhalvåret.

### 2.3 Biologiske forhold og rekreasjonsinteresser

De indre og midtre deler av Oslofjorden preges av tiltakende eutrofiering, dvs. overbelastning med plantenæringsstoffer. De mest iøynefallende konsekvensene av dette har man i indre fjord, med bl.a. høy produksjon av planteplankton (og resulterende uklart vann i vekstsesongen), økende begroing med grønnalger i fjærebeltet og spesielt ved stadig forekomst av råttent vann i dypbassenger med utilstrekkelig vannutskifting. Indre fjord kan kort sies å være brakt ut av balanse i biologisk henseende. Mange organismer er fortrengt fra sine tidligere levesteder, og det samme vil skje med flere arter dersom man ikke får iverksatt vernetiltak som hindrer at perioder med dårlig vannutskifting medfører at store vannmasser får et utilstrekkelig innhold av oksygen.

Grensen for indre fjord går ved Drøbakterskelen, og på flere vis er det her også et skille i de biologiske forhold, særlig med hensyn til fastsittende organismer, i mindre grad når det gjelder plankton (frittsvevende dyr og planter).

På grunn av den relativt åpne forbindelse med ytre fjord og Skagerrak, er ikke bunnfaunaen utsatt for de samme svingninger i oksygeninnhold, og kritisk

lave oksygenkonsentrasjoner opptrer neppe i vannmassene. Likevel vil sedimentene være preget av den høye produksjonen av organisk stoff i overflatelaget, som er felles for midtre og indre fjord. Sedimentenes beskaffenhet på sin side er av vesentlig betydning for bunndyrsamfunnets sammensetning. Det henvises til Beyer (1968) for en nærmere redegjørelse for hvordan fjordens fauna skifter fra de indre deler til Drøbaksundet.

Vegetasjonen av fastsittende alger i Drøbaksundet er beskrevet og sammenliknet med innenforliggende områder av Sundene (1953) og Klavestad (NIVA 1967). Eksperimentelle undersøkelser over gjenvekst og sesongveksling er utført av Rueness (NIVA 1972). Videre er det i forbindelse med undersøkelser for Statskraftverkene gjort observasjoner over bl.a. nedre grense for algenes utbredelse (NIVA 1973 a). De foretatte observasjoner har vist at Drøbaksundets algeflora er rikere og av annen karakter enn i indre fjord, men med et noe lavere artsantall enn i ytre fjord. Forskjellen er tydelig ved sammenlikning med de mer forurensede områdene, mens det er større overensstemmelse med relativt upåvirkede lokaliteter i ytre Oslofjord. Den siste registrering av algevegetasjonens nedre grense kan tyde på at dybdegrensen er hevet i løpet av den siste 20-års-perioden. Dårligere lysforhold, økt sedimentering og begroing med epifytter er i tilfellet mest nærliggende som forklaring. Alle de nevnte faktorer kan på sin side ha sammenheng med en gjennomsnittlig økning i konsentrasjonen av planktonalger.

Fjordvannets vekstegenskaper har vært gjenstand for undersøkelser gjennom lengere tid. Disse undersøkelsene har for det første vist at evnen til å underholde algevekst viser økning innover i fjorden, dernest at forbindelser med såvel fosfor som nitrogen og jern, kan spille en rolle som begrensende faktorer (Skulberg 1970). Det er imidlertid sannsynlig at fosfortilførsel må anses som en primær årsak til fjordens eutrofieringsutvikling. Bl.a. er det størst samsvar mellom resultatene fra algekulturforskene og variasjonen i vannets innhold av fosforforbindelser, ved siden av at det særlig om sommeren er vist at tilskudd av fosfat alene kan gi økt vekst. Nitrogenforbindelser synes å spille relativt større rolle om våren og høsten (NIVA 1973 b). I samsvar med vannutskifting i overflatelaget er det ikke konstante forhold mellom vekstegenskapene til vann fra ytre fjord, Drøbaksundet, og indre fjord, men i hovedsaken inn tar Drøbaksundets vannmasser en mellomstilling når det gjelder innhold av vekststimulerende komponenter. Når det gjelder vannets innhold av plantenæringsstoffer vises det ellers til kapittel 2.2.



Drøbaksundets biologi er vel kjent gjennom publiserte arbeider, men kanskje spesielt ved alle de observasjoner som er gjort i forbindelse med virksomheten ved Universitetets biologiske stasjon i Drøbak. Studiematerialet til kurs og ekskursionsjoner har gjennom lang tid vært innsamlet forskjellige steder i området. Sett fra et naturvitenskapelig synspunkt utgjør sundet derfor et verdifullt og verneverdig referanseområde.

Skiphellebukta er et av stedene som benyttes til ekskursionsjoner og for innsamling av materiale til eksperimentelle undersøkelser og i forbindelse med studentkurs. Det kan derfor være verd å fremheve den rike faunaen som fins her, bl.a. av hydroider (blomsterpolypper) og andre dyr knyttet til bunnen. Et par interessante funn kan også nevnes: Sjøpinnsvinet *Echinus elegans* (Knut Kvalvågnes, unpubl.), som så vidt vites er funnet bare ved en tidligere anledning i Oslofjorden, og trollkrabben (*Lithodes maja*), som er registrert så grunt som 20 m (Knut Kvalvågnes, unpubl.), mens den vanligvis fins under 40 m i Oslofjorden. Endelig kan nevnes solstjernen *Solaster endeca*, som også må regnes som relativt sjelden i fjorden.

Til hele Drøbaksundet er det knyttet store og stadig økende rekreasjonsinteresser. Hva spesielt angår Skiphellebukta, er det her en meget benyttet badeplass. Et stort antall hytter og et større feriehem fins nær bukten.

### 3. SAMMENFATTENDE RESIPIENTVURDERING

Drøbaksundet mottar en vesentlig del av vannmassene over 10-20 m fra indre Oslofjord. Dette området er hardt belastet av forurensninger som dermed føres ut i sundet og som kommer i tillegg til belastningen fra de direkte avløpene til sundet.

De hydrofysiske og hydrokjemiske målingene fra tidsrommet 1962-65 og fra 1973 bekrefter at også de øvre vannlag i Drøbaksundet må regnes som forholdsvis sterkt belastet. Vannmassenes innhold av nitrogen- og fosforforbindelser er relativt høyt, noe som gir utslag i store planteplanktonkonsentrasjoner i vår- og sommerhalvåret. Vannets innhold av fosfor synes å være den vekstbegrensende faktoren om sommeren, mens nitrogen er av relativt større viktighet om våren og høsten.

Nedbrytningen av dødt plankton og annet organisk stoff kan periodevis resultere i lave oksygenverdier i omkring sprangsjiktnivået.

Strømforholdene i Drøbaksundets overflatelag er dominert av tidevannsstrøm, vinddrevne strøm og den estuarine sirkulasjon. Tidevannsstrømmens bidrag til utskiftningen må antas å være av stor betydning, men kan vanskelig beregnes. De vinddrevne strømmer bidrar i vinterhalvåret med nordlige vinder i vesentlig grad til vanntransporten ut av sundet. I sommerhalvåret blåser hovedsakelig sydlige vinder i Oslofjorden, og disse vil hemme vanntransporten ut gjennom sundet.

Den estuarine sirkulasjon har sitt maksimum i vår- og høstmånedene, og bidrar da i stor grad til vannutskiftningen i sundets øvre vannlag. De utførte strømmålinger i sundet tyder på at det eksisterer et strømskjær, med nordgående strøm på østsiden av sundet og sørgående strøm på vestsiden. Det er dermed store sjanser for at avløpsvann som tilføres Drøbaksundet på østsiden i alle fall periodevis blir ført inn i indre fjord, enten ved den estuarine kompensasjonsstrøm ved de tider den er aktiv, eller ved den nordgående strøm langs sundets østside.

De biologiske forhold i Drøbaksundet skiller seg på flere måter fra forholdene i indre fjord, spesielt ved sammenlikning med de mest forurensede områdene. Selv om samfunnene likner mer på de som fins lenger ut, bærer de likevel preg av gjødselpåvirkningen av området. Det foreligger f.eks. indikasjoner på at nedre grense for algevekst er hevet i løpet av de to siste 20-år. De forskjellige biotopene i området må generelt regnes som verneverdige grunnet et stort antall referansedata fra lang tids observasjoner og utnyttelsen av område i undervisningsøyemed og for vitenskapelige formål. En av de verneverdige lokalitetene er Skiphellebukta. Ved eventuelt utslipp her må avløpsvannet ledes ut tilstrekkelig dypt og så langt ut at ikke organismeliv og rekreasjonsinteresser ved den mulige oppstuvning og bakevjeeffekt som særlig kan oppstå ved sørleg vind. I praksis vil antakelig dette si at utslippet bør være på 40-50 m og utenfor munningen av den undersjøiske dalen man må vente å finne i bukta. En nærmere angivelse kan først skje etter kartlegging av bunntopografien.

Drøbaksundet mottar forurensningstilførsler såvel lokalt som fra indre fjord og ved påvirkning med vann fra Drammenselva. Den lokale belastning må ventes å øke hvis det ikke iverksettes beskyttelsestiltak. Samtidig spiller denne belastning en viss rolle for tilstanden i de nærmestliggende deler av indre fjord, fordi overflatevannet er i stadig bevegelse inn og ut over Drøbakterskelen. Særlig kan det ha betydning for overflatevannets kvalitet hvis algeplanktonets vekstmuligheter skulle økes gjennom gjødsling av vannmassen i sundet. Utslipp av kommunalt avløpsvann i Drøbaksundet bør derfor underkastes de samme krav til rensing som i indre fjord, dvs. som et minimum fjerning av flytestoffer og partikulært materiale foruten reduksjon i vannets fosforinnhold ved kjemisk rensing. Ved planleggingen av avløpsnett og renseanlegg bør mulighetene for ytterligere rensetekniske tiltak holdes åpen.

#### 4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

- I De hydrografiske forhold i Drøbaksundet er preget av sesongmessige variasjoner og til dels skiftene strømforhold, med estuarin sirkulasjon, tidevann og spesielt vind som de avgjørende faktorer. Nylige strømmålinger (VHL/NIVA 1973) viser imidlertid at det sannsynligvis er en nordgående reststrøm i overflatelaget på østsiden, med en strøm i motsatt retning på vestsiden av sundet. Tykkelsen av det brakke overflatelaget varierer med bl.a. ferskvannstilførsel og vind, men ligger stort sett mellom 10 og 25 m. Ofte er det ikke noe egentlig sprangsjikt mellom overflatevannet og dyp-laget. Dette er særlig tilfellet i vinterhalvåret, mens lagdelingen stort sett er mer markert om sommeren.
- II Dypvannet i Drøbaksundet har forholdsvis god forbindelse med vannmassene i ytre fjord og Skagerrak. Det er således ikke registrert vesentlig oksygensvinn i bunnvannet, derimot sporadiske oksygenminima (3-4 ml O/1) i nedre del av brakkvannslaget.

- III Vannet har et relativt høyt innhold av plantenæringsstoffene nitrogen og fosfor, men konsentrasjonene varierer betydelig med tid og dyp. Forsøk med algekulturer har vist at mengden av tilgjengelige nærings-salter er høyere enn i ytre fjord, men markert lavere enn i hardest belastede i indre bassenger. I vegetasjonsperioden er det sannsynligvis fosforforbindelser som virker primært begrensende på algeproduksjonen.
- IV Med hensyn til organismesamfunnenes sammensetning utgjør Drøbaksundet en overgangssone mellom indre fjord og mer åpne farvann. Samfunnene likner mer på de som fins i ytre fjord enn i høyt belastede områder innenfor.
- V Mange lokaliteter i sundet er blant de best kjente i landet, med observasjoner fra lang tid tilbake. Disse biotopene, deriblant Skiphellebukta, er verneverdige både ut fra naturvitenskapelige og undervisningsmessige hensyn. Vesentlige rekreasjonsinteresser er knyttet til området.
- VI Ved utslipp til Drøbaksundet bør det generelt sett være et minimumskrav at avløpsvannets innhold av flytestoffer, partikler og fosforforbindelser reduseres i størst mulig utstrekning. Planleggingen av avløpssystemet bør ta hensyn til at det senere kan bli ønskelig med ytterligere rens tiltak. Utslipp i Skiphellebukta må plasseres i et slikt dyp og så langt ut at man er sikret effektiv innblanding i sundets hovedvann-masser.

5. REFERANSER

BEYER, F. (1968):

Zooplankton, zoobenthos and bottom sediments as related to pollution and water exchange in the Oslofjord.  
Helgoländer wiss. Meeresunters. 17:496 - 509.

GADE, H.G. (1963):

Some hydrographic observations of the inner Oslofjord during 1959.  
Hvalrådets skrifter. No. 46. Oslo.

GADE, H.G. (1970):

Hydrographic investigations in the Oslofjord, a study of water circulation and exchange processes.  
Rep. 24, Geofysisk inst., avd. A. Bergen.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING:

0-201, Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. I. Undersøkelsen 1962-65. Delrapport 8. Vurdering av næringsaltene kjemi (av E. Føyn). Mars 1967.

Delrapport 9: Undersøkelser over benthosalgevegetasjonen i indre Oslofjord 1962-65 (av N. Klavestad).  
Stensilert, 119 s + kartfigurer. Januar 1967.

Delrapport 11: Totaltilførsler av forurensningskomponenter via elver, bekker og kloakkledninger til indre Oslofjord (av S. Stene Johansen). Juni 1967.

Delrapport 19: Strømundersøkelser i Drøbaksundet mai-juni 1963 (av O.M. Johannessen). September 1965.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1972):

B-5/71. Gjenvækst og suksesjon i littorale algesamfunn. (Saksbehandler: Jan Rueness.) Stensilert, 28s + figurer. Mai 1972.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING/VASSDRAGS- OG HAVNELABORATORIET (1973):

O-177/70. Kjernekraftverk i Oslofjorden. Byggestedsområdene  
Brenntangen, Vardeåsen og Hurum. Resipientvurderinger.  
Januar 1967.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1973 b):

O-177/70. Vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk.  
Foreløpig rapport for undersøkelser i 1973. (Saksbehandler:  
Jon Knutzen og Olav Skulberg.) Stensilert, 16s + figurer.  
Desember 1973.

SKULBERG, O.M. (1970):

The importance of algal cultures for the assessment of the  
eutrophication of the Oslofjord.  
Helgoländer wiss. Meeresunters. 20(1-4): 111-125.

SUNDENE, O. (1953):

The algal vegetation of Oslofjord. Skr. norske Vidensk. Akad. I.  
Mat.-Nat. Kl. 1953(2): 1-245.

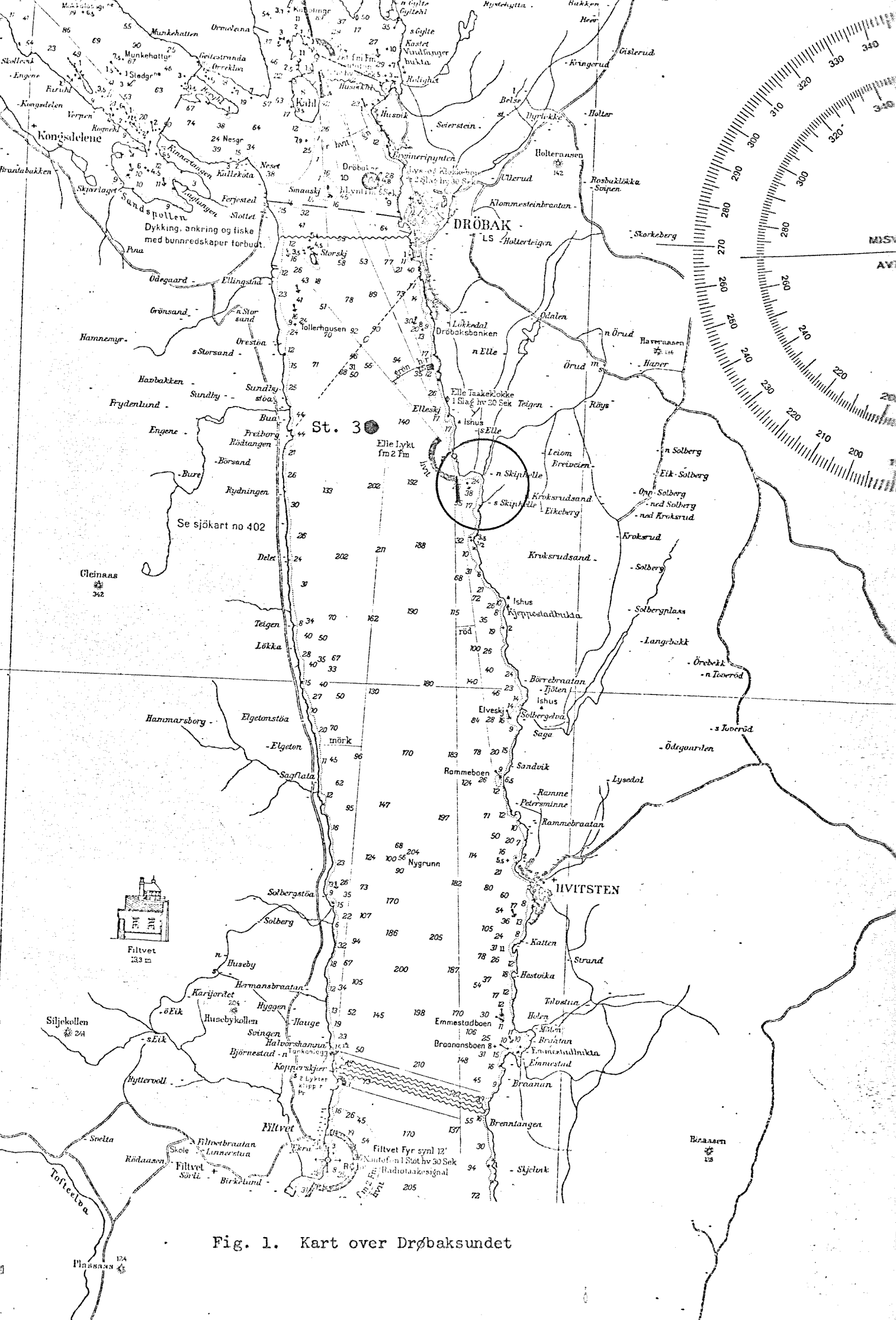


Fig. 1. Kart over Drøbakundet

Fig. 2 Kart over indre og midtre Oslofjord

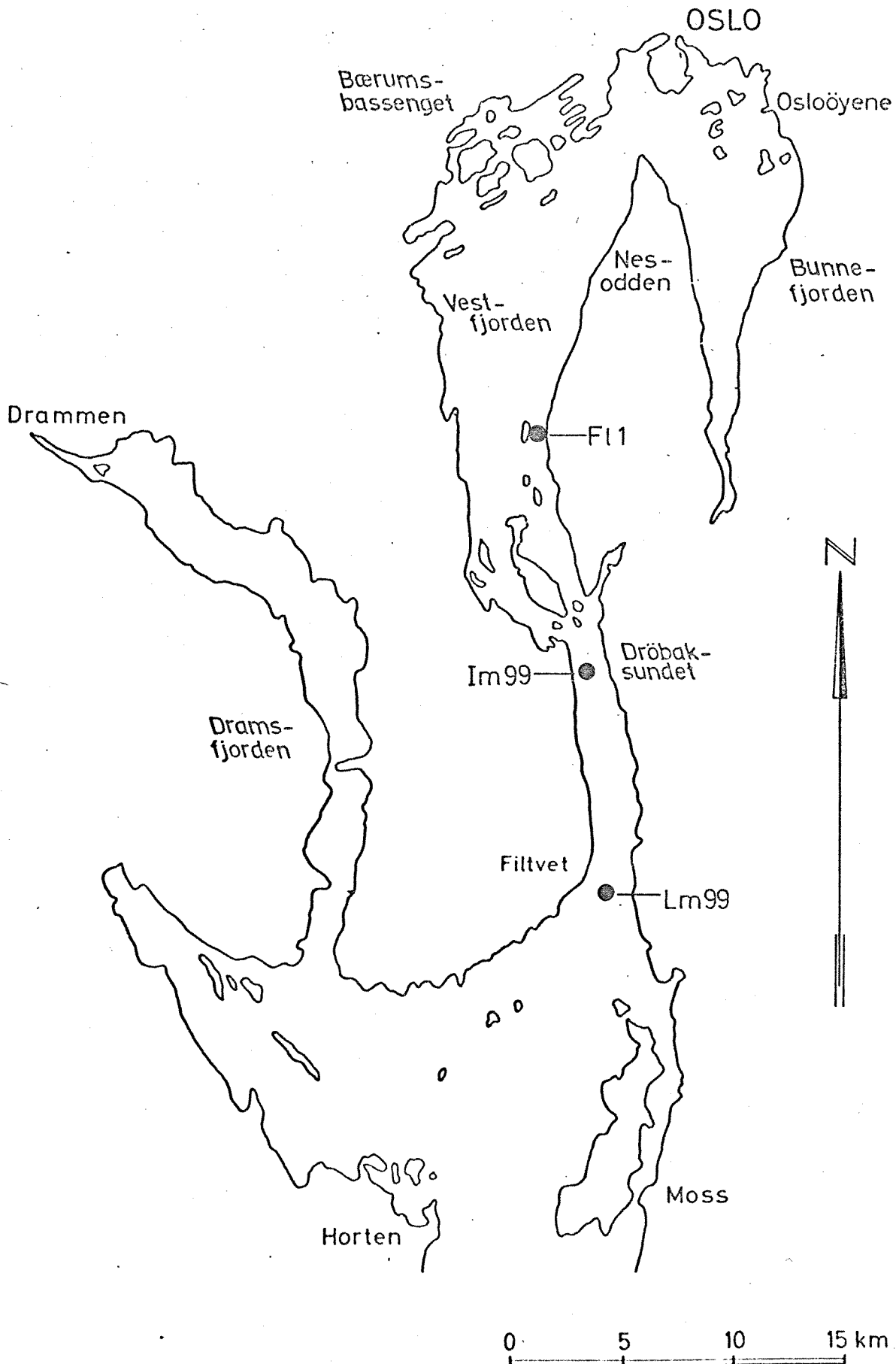
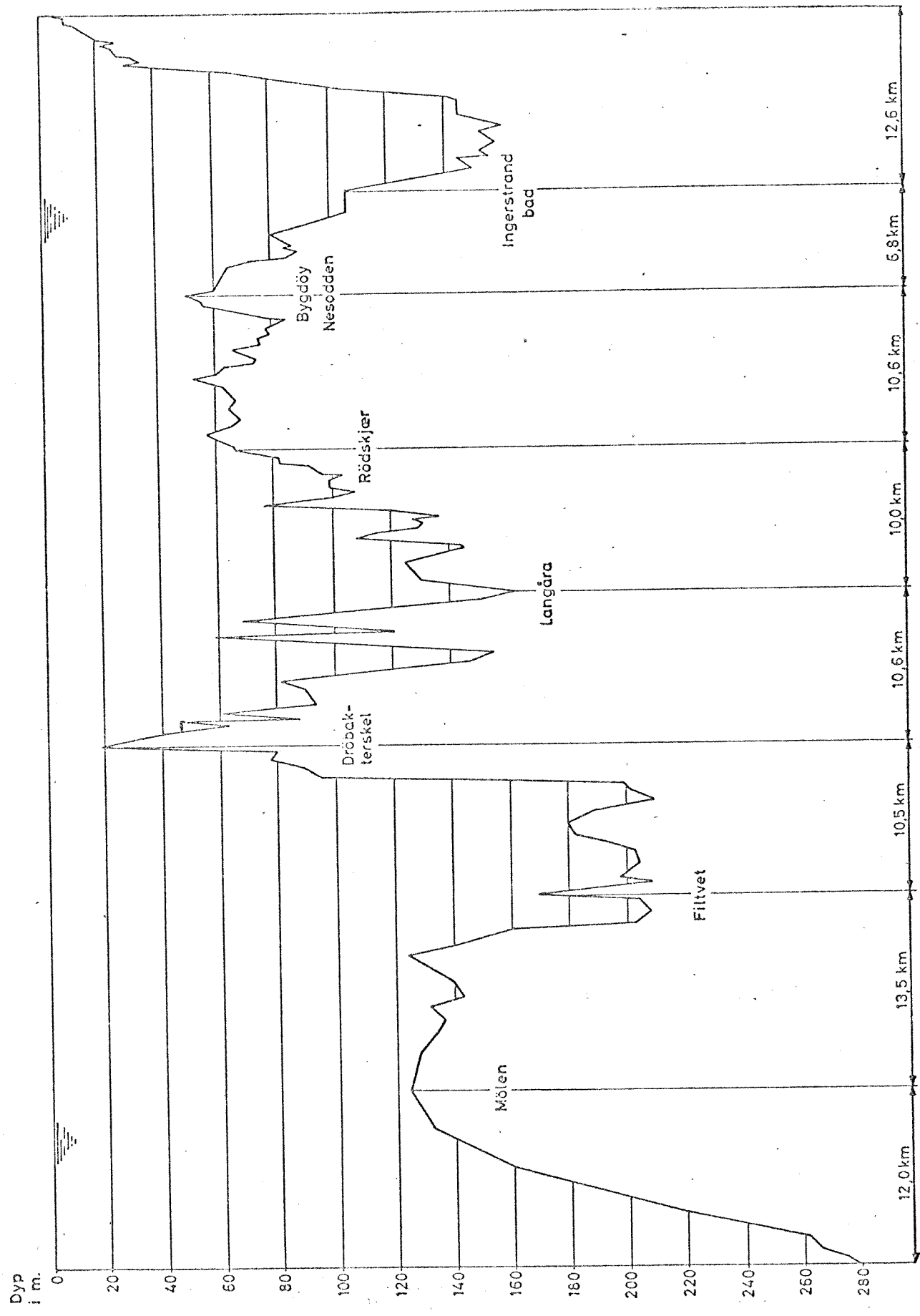




Fig 3 Bunnprofil av Oslofjorden.



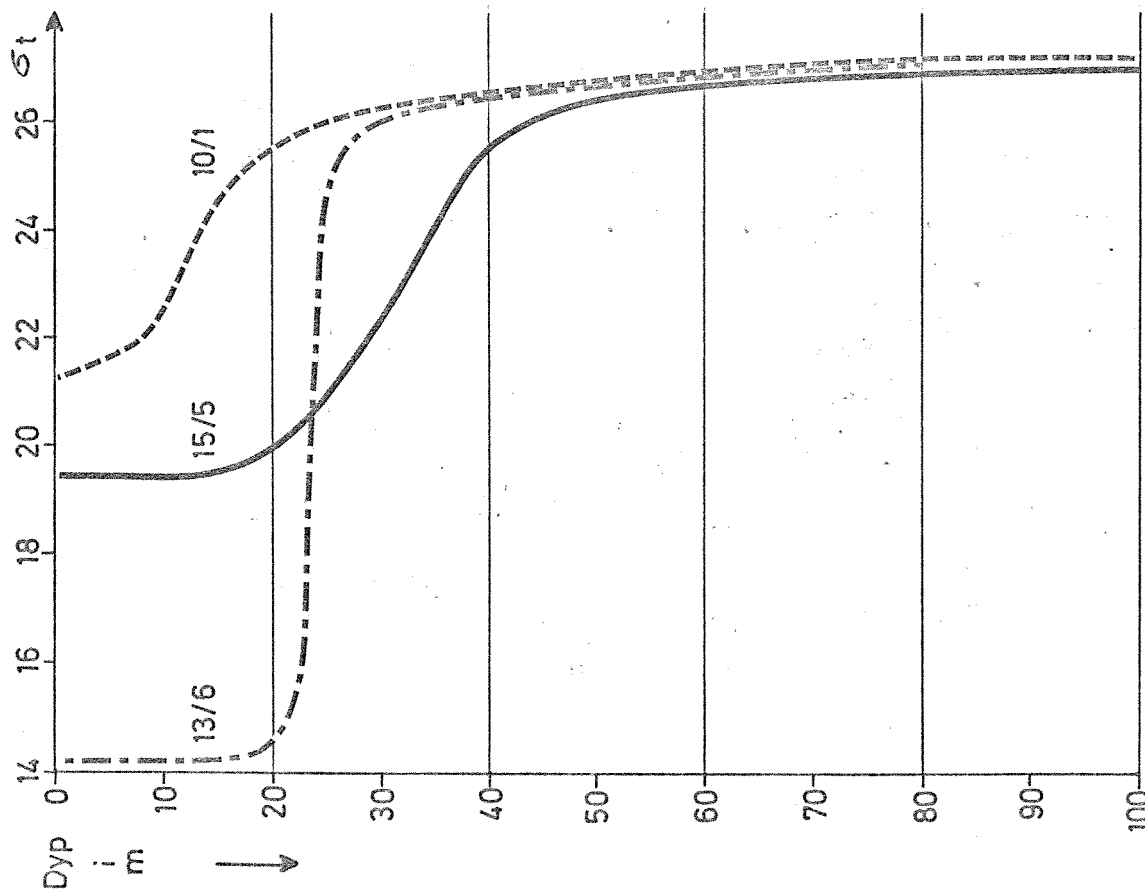
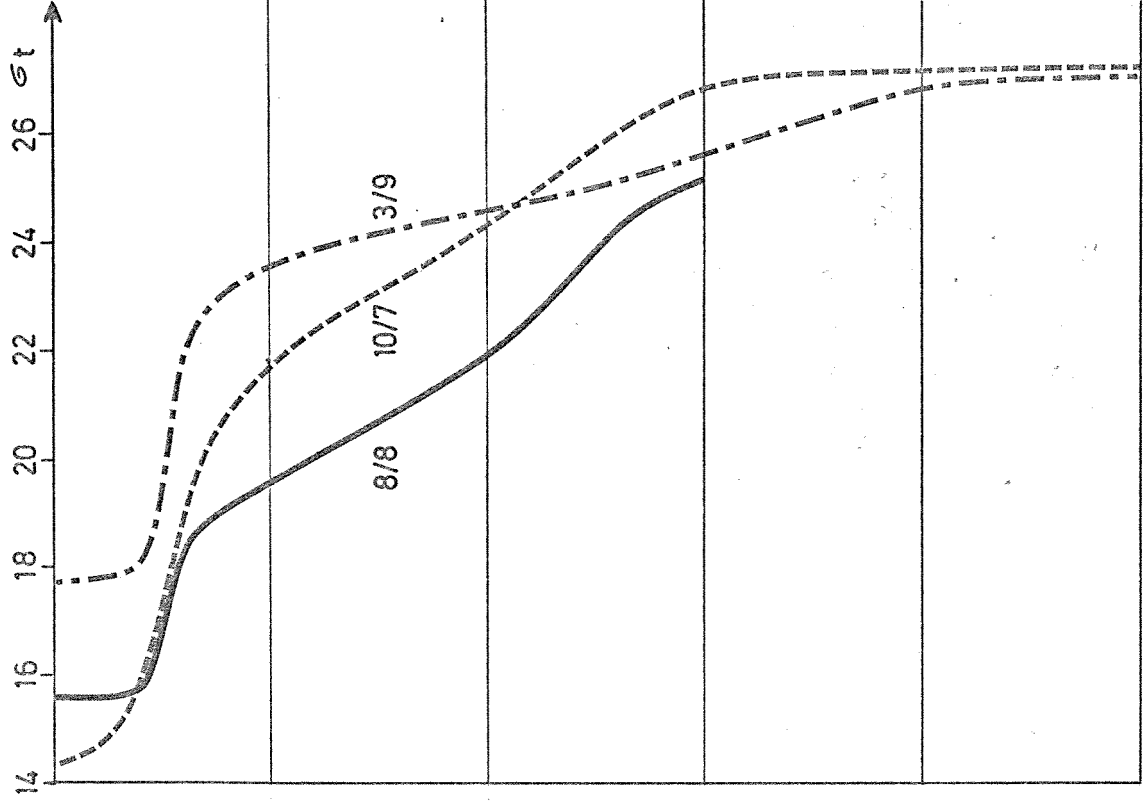
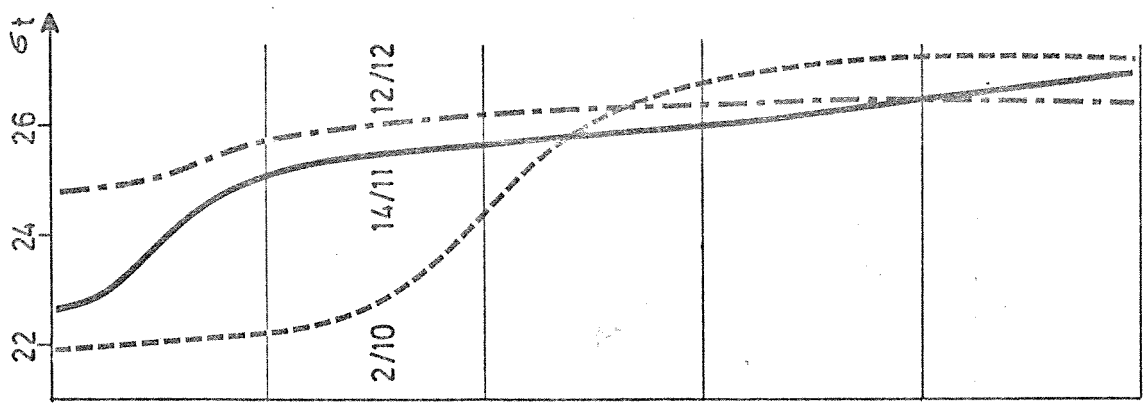


Fig. 4 Dröbaksundet 1973 Vertikale tetthetsprofiler

Fig. 5 Saltholdighetsfordeling etter tre dager med nordlig frisk bris til liten kuling

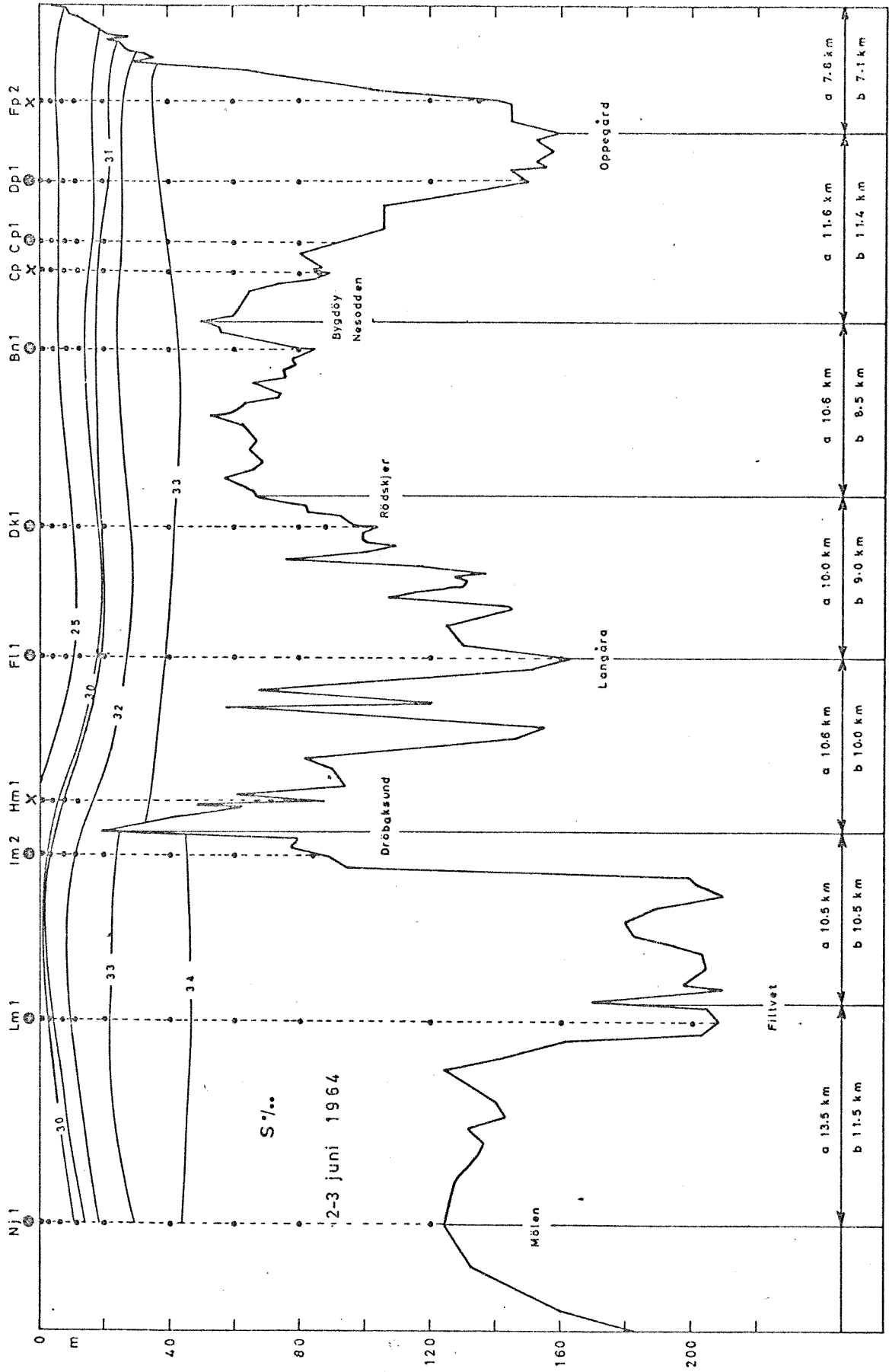
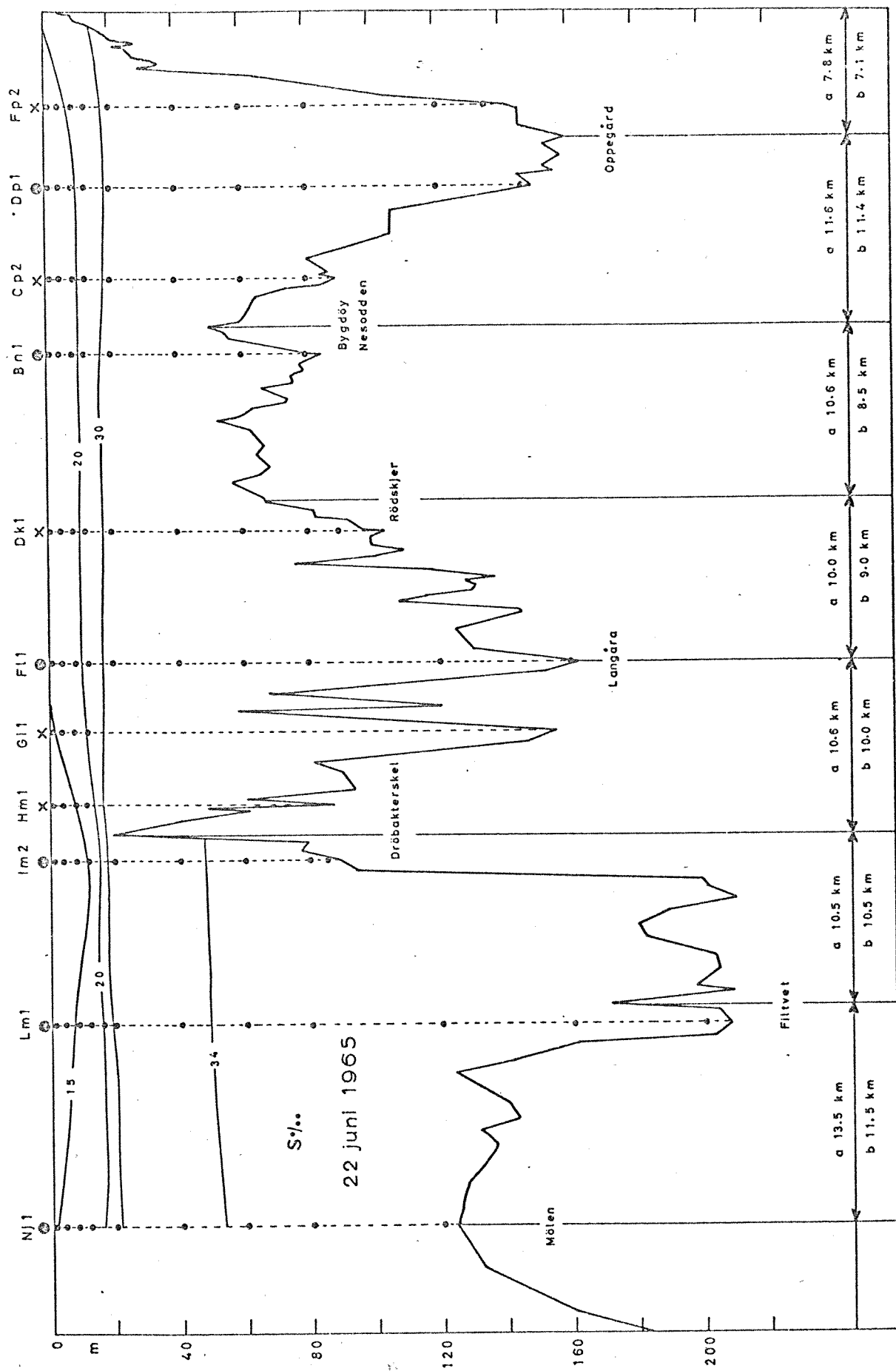


Fig. 6 Saltholdighetsfordeling etter tre dager med sørlig frisk bris



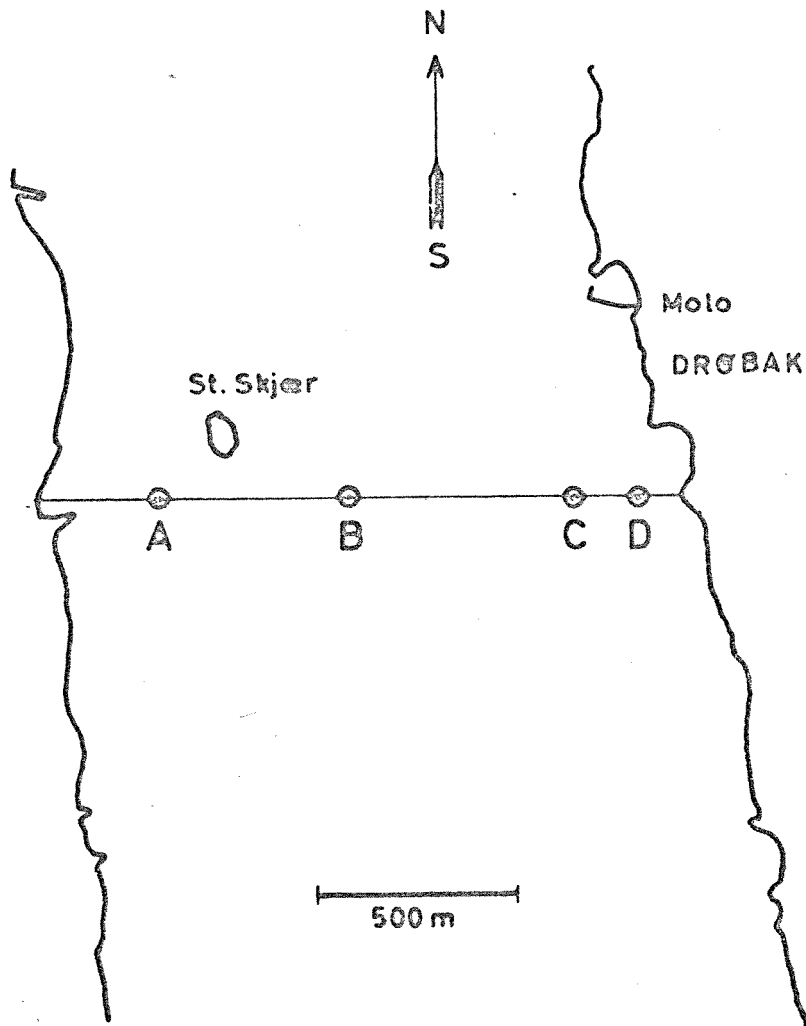


Fig. 7. Drøbaksundet mai-juni 1963. Strømmålingstasjoner



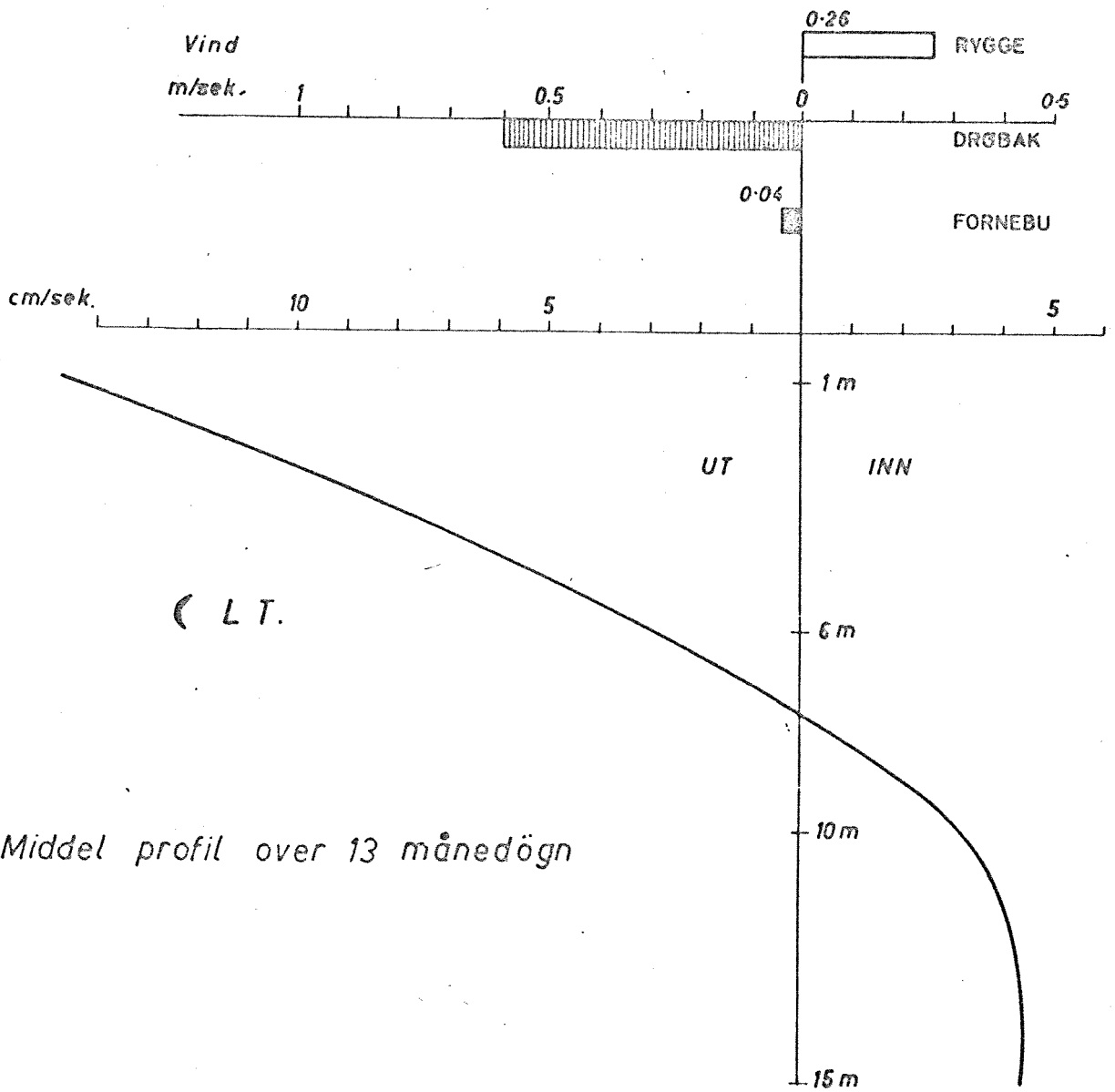


Fig. 9

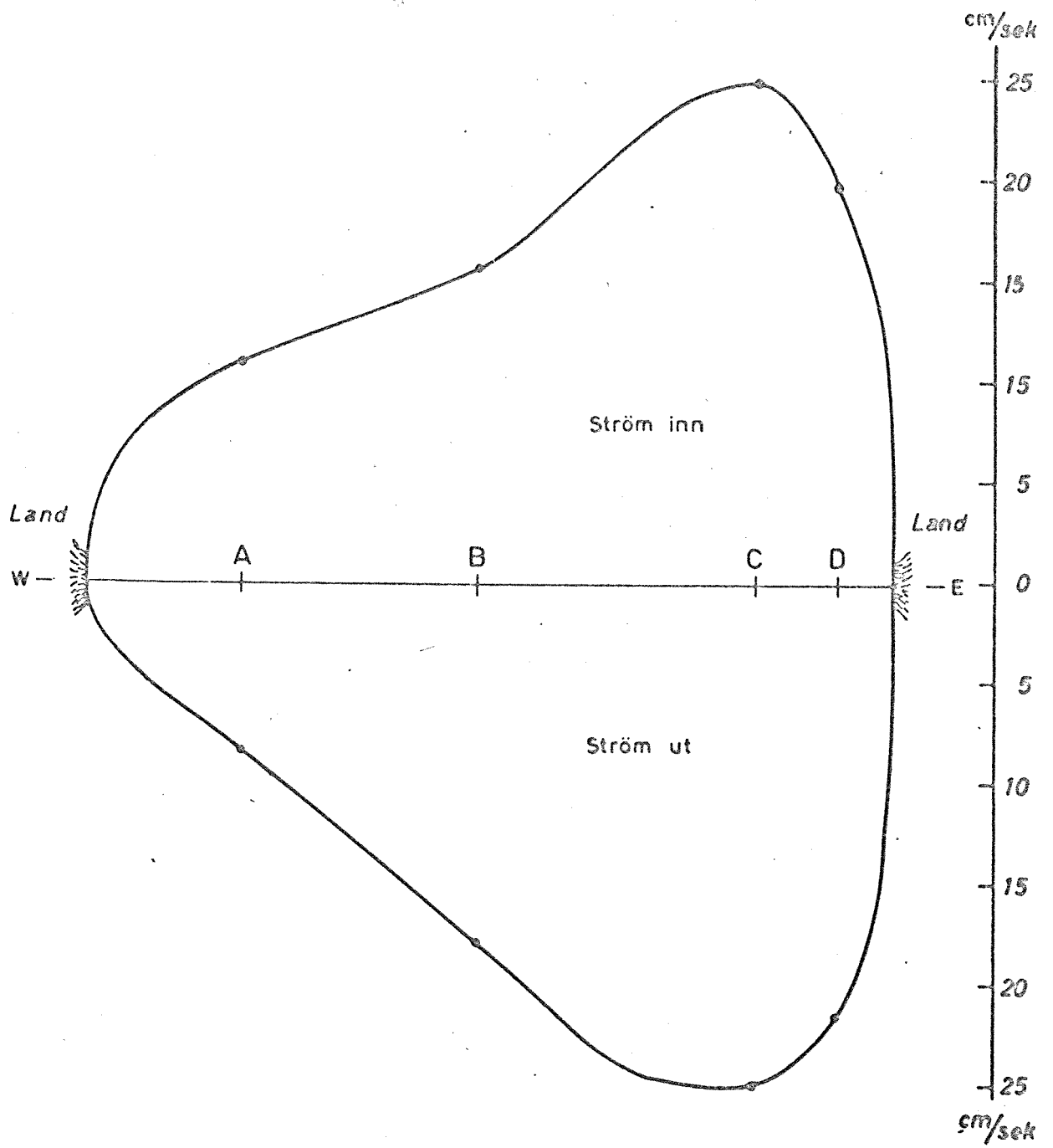


Fig. 10. Teoretisk beregnet midlere strømprofil



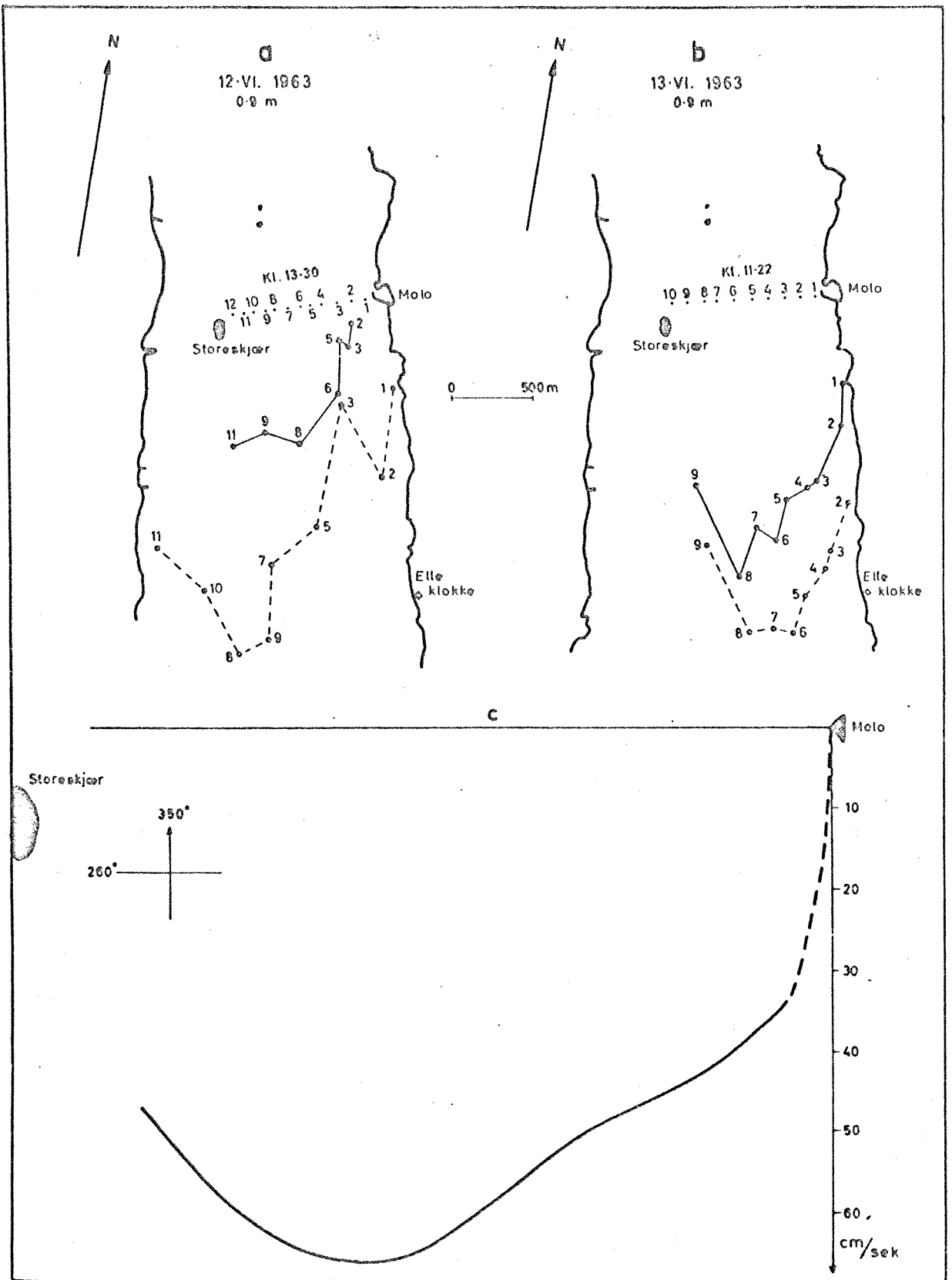
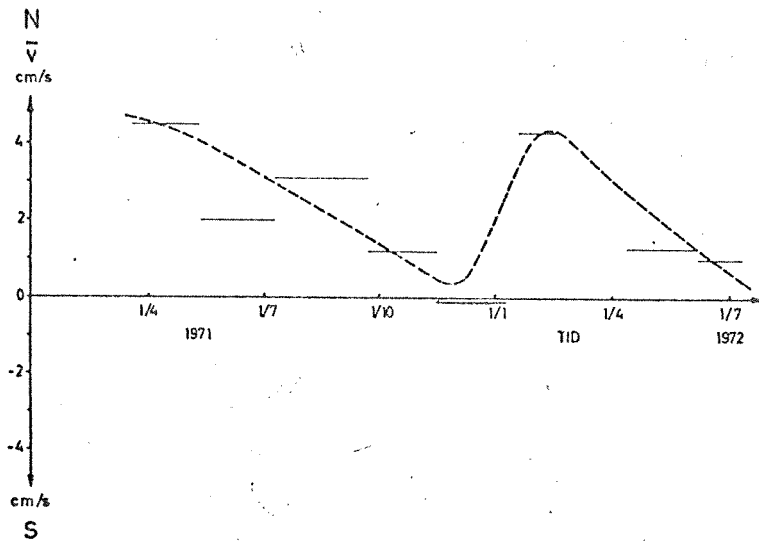
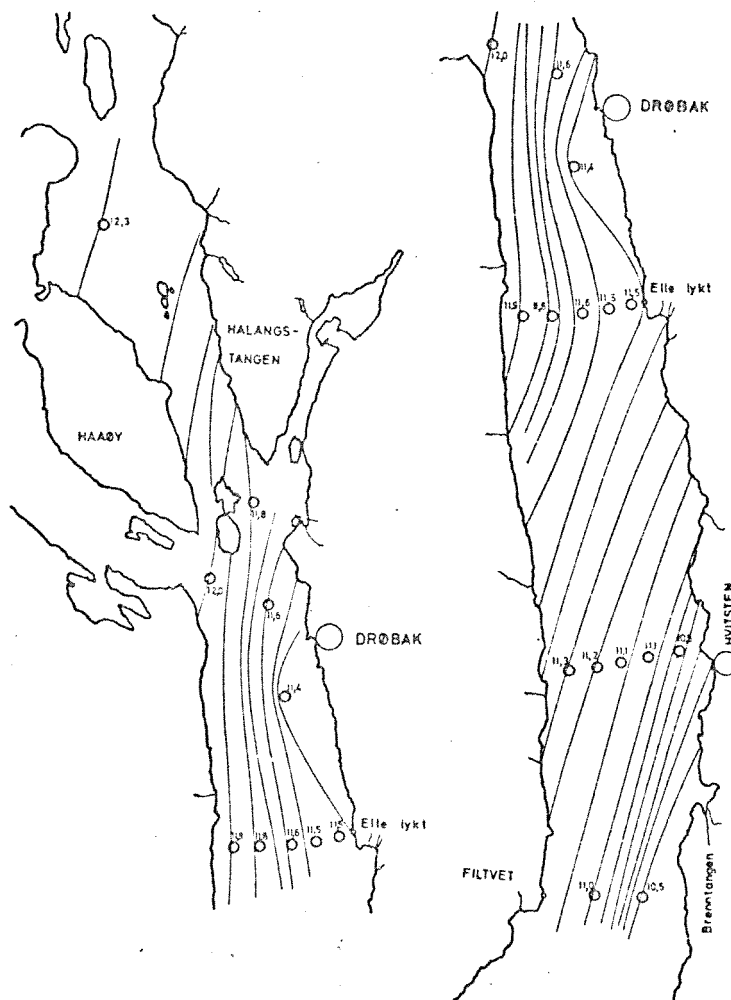


Fig. 11 a-c. Strømkorsmålinger juni 1963. Midlere strømprofil



Figur 12 Midlere reststrøm ved Brenntangen fra 0 - 20 m.



Figur 13 Midlere tetthet  $\sigma_t$  i 1 m i Drøbaksundet for juni/juli 1972.

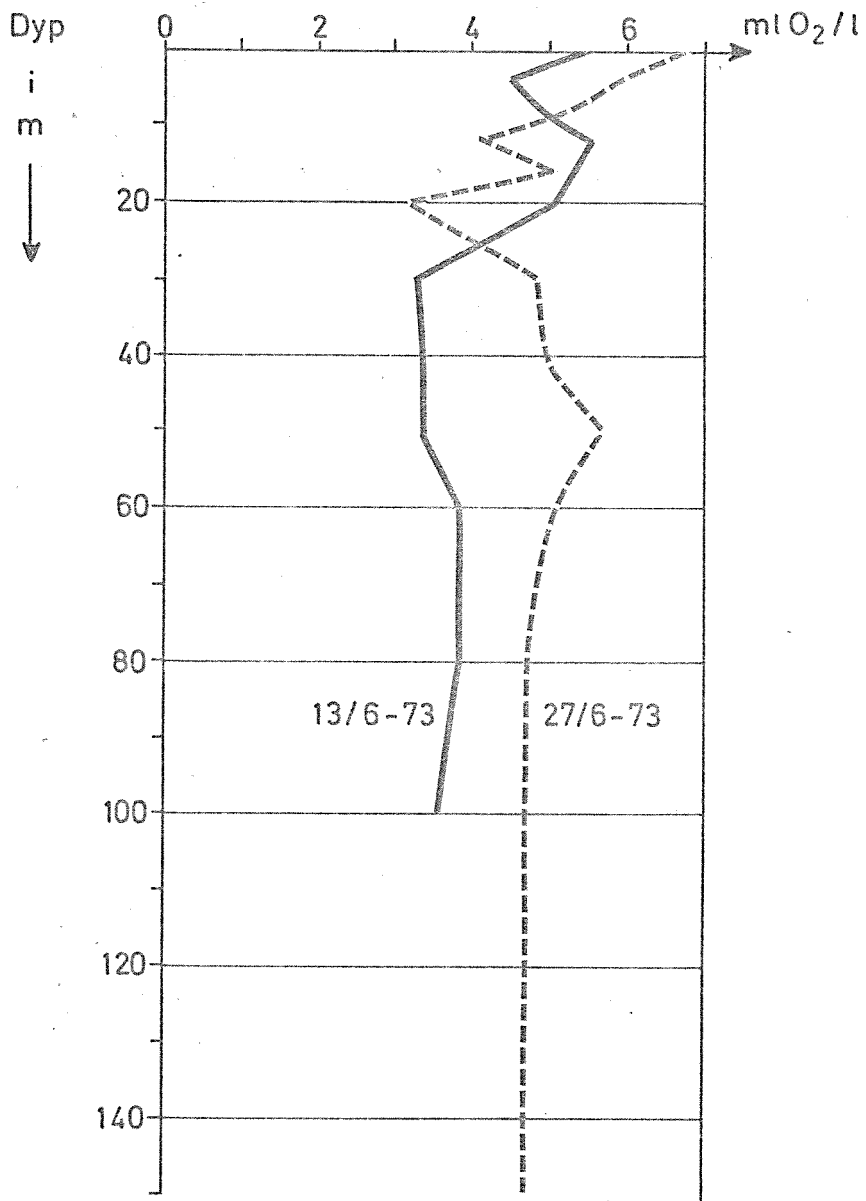


Fig.14 St. 3 Vertikal oksygenfordeling, juni 1973