

SS

dubl

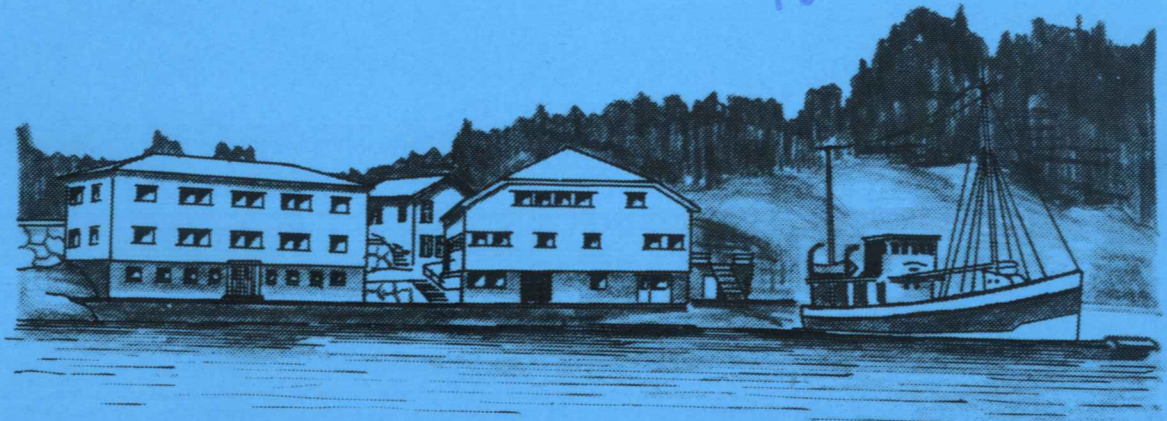
FLØDEVIGEN

MELDINGER

Nr.5-1986

Fiskeridirektoratet
biblioteket

13 MAI 1986



RESIPIENTUNDERSØKELSER I ARENDA SOMRÅDET
I PERIODEN 1975-1979

F. E. DAHL OG D. S. DANIELSSEN

FISKERIDIREKTORATETS HAVFORSKNINGSINSTITUTT
STATENS BIOLOGISKE STASJON FLØDEVIGEN
N-4800 ARENDAL, NORWAY

ISSN 0800 - 7667

Flødevigen Meldinger

Nr. 5 - 1986

ISSN 0800-7667

RESIPIENTUNDERSØKELSER I ARENDALSOMRÅDET
I PERIODEN 1975-1979

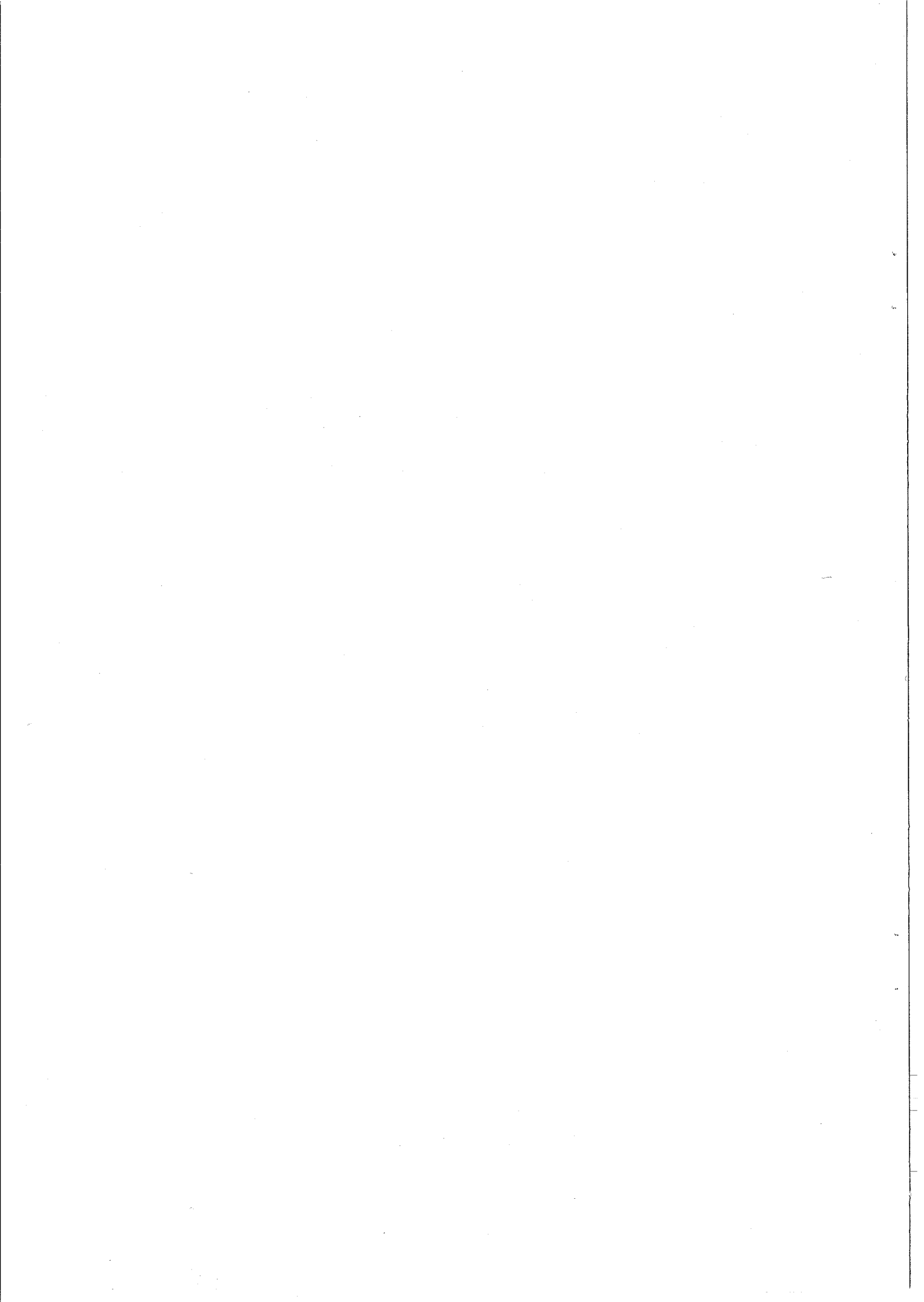
av

F.E. Dahl¹⁾ og D.S. Danielssen²⁾

1) Det Norske Veritas, Postboks 300, 1322 Høvik

2) Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, 4800 Arendal

Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt
Statens Biologiske Stasjon Flødevigen
4800 ARENDAL



INNHALDSFORTEGNELSE

| | Side |
|---|------|
| INNLEDNING | 3 |
| STASJONSNETT OG MATERIALINNSAMLING | 3 |
| OMRÅDETS GENERELLE HYDROGRAFI | 6 |
| Ferskvannsavrenning | 6 |
| Skagerrak | 8 |
| Generelt om sirkulasjon i Skagerrak | 8 |
| RESULTATER OG DISKUSJON | 10 |
| Kystområdet | 10 |
| Temperaturforhold på stasjon 16 Hesnesøy III | 11 |
| Tetthetsforhold på stasjon 16 Hesnesøy III | 14 |
| Oksygenforhold på stasjon 16 Hesnesøy III | 16 |
| Ortofosfat på Hesnessnittet | 16 |
| Totalt oppløst fosfor på Hesnessnittet | 18 |
| Nitrat på Hesnessnittet | 18 |
| Nitritt på Hesnessnittet | 20 |
| Ammonium på Hesnessnittet | 20 |
| Totalt oppløst nitrogen på Hesnessnittet | 22 |
| Skjærgården | 22 |
| Hydrografi i skjærgården | 22 |
| Hydrografi i Ærøydypet | 22 |
| Temperaturforhold på stasjon 11 Ærøydypet | 23 |
| Tetthetsforhold på stasjon 11 Ærøydypet | 24 |
| Oksygenforhold på stasjon 11 Ærøydypet | 26 |
| Hydrografi ved Skjellbergholmen | 26 |
| Temperaturforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen .. | 26 |
| Tetthetsforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen | 27 |
| Oksygenforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen | 27 |
| Hydrografi i Sømskilen | 28 |
| Temperaturforhold på stasjon 9 Sømskilen | 28 |
| Tetthetsforhold på stasjon 9 Sømskilen | 29 |
| Oksygenforhold på stasjon 9 Sømskilen | 30 |
| Næringssalter i Skjærgården | 30 |
| Ortofosfat | 30 |
| Totalt oppløst fosfor | 32 |
| Nitrat | 33 |
| Nitritt | 35 |
| Ammonium | 35 |
| Totalt oppløst nitrogen | 37 |
| Tromøysund - Galtesund | 38 |
| Hydrografi i Tromøysund - Galtesund | 38 |
| Hydrografi på stasjon 7 Galtesund | 38 |
| Temperaturforhold på stasjon 7 Galtesund | 38 |
| Tetthetsforhold på stasjon 7 Galtesund | 40 |
| Oksygenforhold på stasjon 7 Galtesund | 41 |
| Hydrografi på stasjon 6 Arendal havn | 41 |
| Temperaturforhold på stasjon 6 Arendal havn | 42 |
| Tetthetsforhold på stasjon 6 Arendal havn | 43 |
| Oksygenforhold på stasjon 6 Arendal havn | 43 |
| Hydrografi på stasjon 4 Trollnes | 43 |
| Temperaturforhold på stasjon 4 Trollnes | 44 |
| Tetthetsforhold på stasjon 4 Trollnes | 46 |
| Oksygenforhold på stasjon 4 Trollnes | 48 |
| Næringssalter i Tromøysund - Galtesund | 52 |

| | |
|--|----|
| Ortofosfat | 52 |
| Totalt oppløst fosfor | 54 |
| Nitrat | 54 |
| Nitritt | 56 |
| Ammonium | 57 |
| Totalt oppløst nitrogen | 57 |
| Sammenligning av hydrografiske forhold og oksygenutvikling i Tromøysund - Galtesund | 59 |
| KONKLUSJON | 64 |
| REFERANSER | 66 |

INNLEDNING

Resipientundersøkelsene i Arendalsområdet i perioden 1975-1979 er utført av Statens Biologiske Stasjon Flødevigen (SBSF) etter oppdrag fra Interkommunalt selskap for teknisk anlegg i Arendal/Grimstad-området (ITA). Det er tidligere utgitt følgende rapporter fra undersøkelsene: Danielssen og Iversen (1976, 1978), Sand (1978), Dahl (1978) og Sand (1979). I tillegg til disse rapportene er det blitt presentert en rapport til Det Internasjonale Råd for Havforskning (ICES) angående variasjonene i kyststrømmen utenfor Arendal som baserer seg på dette materialet (Dahl 1977), og en hovedfagsoppgave i botanikk ved Universitetet i Oslo fra Arendalsområdet, hvor også en del av materialet har vært av betydning for vurderingene (Andersen 1980). Den foreliggende rapport er sluttrapport for hele perioden og tar for seg hele materialet.

STASJONSNETT OG MATERIALINNSAMLING

Det undersøkte området består av en indre del (skjærgården) (Fig. 1), og en ytre del (kystområdet) (Fig. 2). Stasjonenes beliggenhet og nøyaktige posisjon fremgår av Tabell 1. Avstanden mellom snittene i kystområdet er ca 15 n.m., og stasjonenes avstand til kysten er 0, 1, 5, 10 og 15 n.m. på begge snittene. Da resultatene fra de to snittene var ganske like, ble det fra og med 1978 besluttet bare å beholde det vestre snittet (Hessnessnittet), og det er dette snittet som derfor er behandlet i denne rapporten.

Ved behandlingen av den hydrografiske utviklingen på enkeltstasjoner har vi gitt en kort beskrivelse av stasjonenes beliggenhet. Følgende parametre er blitt målt: temperatur, saltholdighet, oppløst oksygen, ortofosfat, totalt oppløst fosfor, nitrat, nitritt, ammonium og totalt oppløst nitrogen. Alle næringsalter er tatt fra filtrerte prøver. For nærmere beskrivelse av metodikken se Sand (1979).

I denne rapporten er sjøvannets tetthet definert som σ_t hvor

$$\sigma_t = (\text{tetthet} - 1) \cdot 1000$$

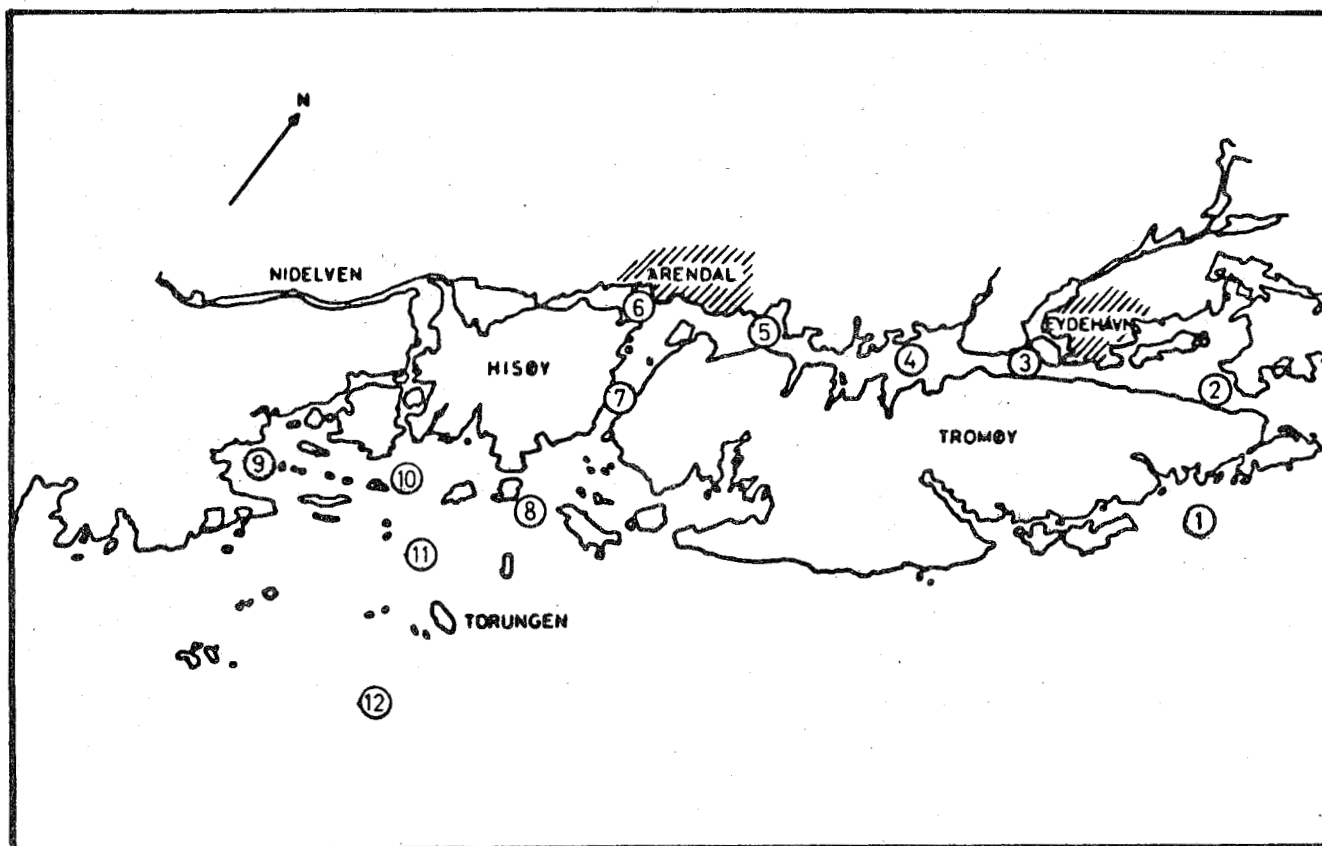


Fig. 1. Kart med stasjonsnett i skjærgården.

Tettheten i sjøvannet er en funksjon av temperatur, saltholdighet og dybde. Generelt er sammenhengen slik at tettheten øker når saltholdigheten øker; når temperaturen synker og når dypet øker. I det måleområdet hvor vi har data fra, er bidraget fra saltholdigheten omlag 5-8 ganger større enn fra temperaturen.

Vi har valgt å bruke σ_t som mål for tettheten. Det er den tettheten som sjøvannet med saltholdighet og temperatur ville ha, dersom det var i overflaten, d.v.s. at vi ser bort fra effekten av trykket.

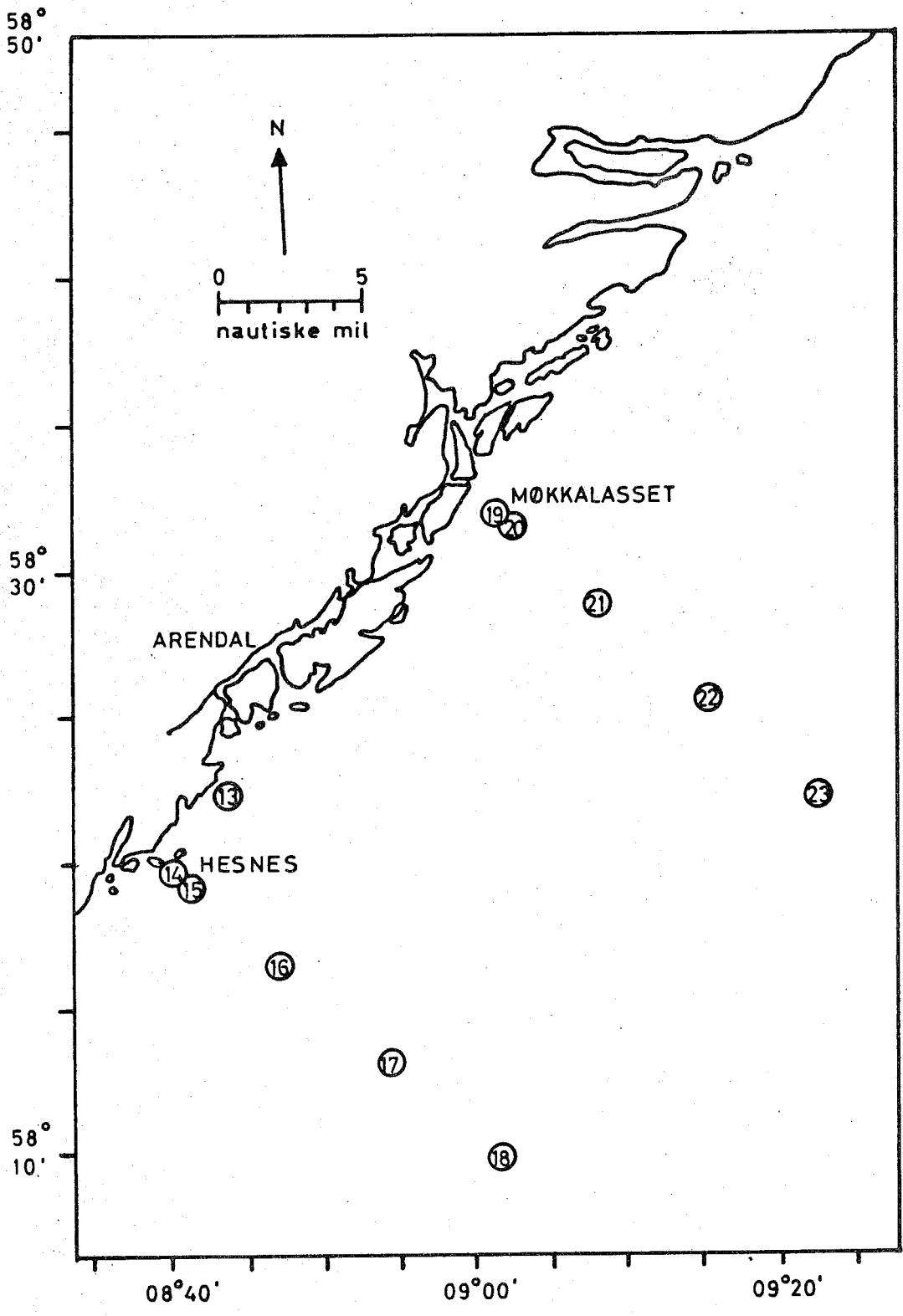


Fig. 2. Kart med stasjonsnett i kystområdet.

Tabell 1

Stasjonsnett for resipientundersøkelsen i Arendalsområdet

| Stasjon nr. | Lokalitet | Bredde | Lengde |
|--------------------------|------------------|-----------|----------|
| 1 | Tromøy øst | 58°29,3'N | 8°56,8'E |
| 2 | Hastensund | 58°30,3'N | 8°55,3'E |
| 3 | Frisøy | 58°29,4'N | 8°52,5'E |
| 4 | Trollnes | 58°28,7'N | 8°50,9'E |
| 5 | Songekilen | 58°27,9'N | 8°48,5'E |
| 6 | Arendal havn | 58°27,4'N | 8°46,7'E |
| 7 | Galtesund | 58°26,5'N | 8°47,5'E |
| 8 | Lille Torungen | 58°25,1'N | 8°47,7'E |
| 9 | Sømskilen | 58°23,8'N | 8°43,3'E |
| 10 | Skjellbergholmen | 58°24,6'N | 8°45,6'E |
| 11 | Ærøydypet | 58°24,2'N | 8°46,7'E |
| 12 | Syd av Torungen | 58°22,8'N | 8°47,8'E |
| 13 | Ruaker | 58°22,4'N | 8°43,5'E |
| Snitt Hesnesøy SE I-V | | | |
| 14 | Hesnesøy I | 58°19,8'N | 8°40,0'E |
| 15 | Hesnesøy II | 58°19,0'N | 8°42,0'E |
| 16 | Hesnesøy III | 58°16,4'N | 8°48,1'E |
| 17 | Hesnesøy IV | 58°13,1'N | 8°55,6'E |
| 18 | Hesnesøy V | 58°10,0'N | 9°02,9'E |
| Snitt Møkkalasset SE I-V | | | |
| 19 | Møkkalasset I | 58°32,3'N | 9°01,3'E |
| 20 | Møkkalasset II | 58°31,7'N | 9°02,8'E |
| 21 | Møkkalasset III | 58°29,0'N | 9°08,8'E |
| 22 | Møkkalasset IV | 58°25,7'N | 9°16,2'E |
| 23 | Møkkalasset V | 58°22,3'N | 9°23,0'E |

OMRÅDETS GENERELLE HYDROGRAFI

Ferskvannsavrenning

Fig. 3 viser ferskvannsavrenningen fra Nidelven målt ved Lunde Mølle gjennom måleperioden 1975-1979. Figuren viser at årlige flomtopper ligger mellom 250-500 m³/s og forekommer til forskjellige tider av året.

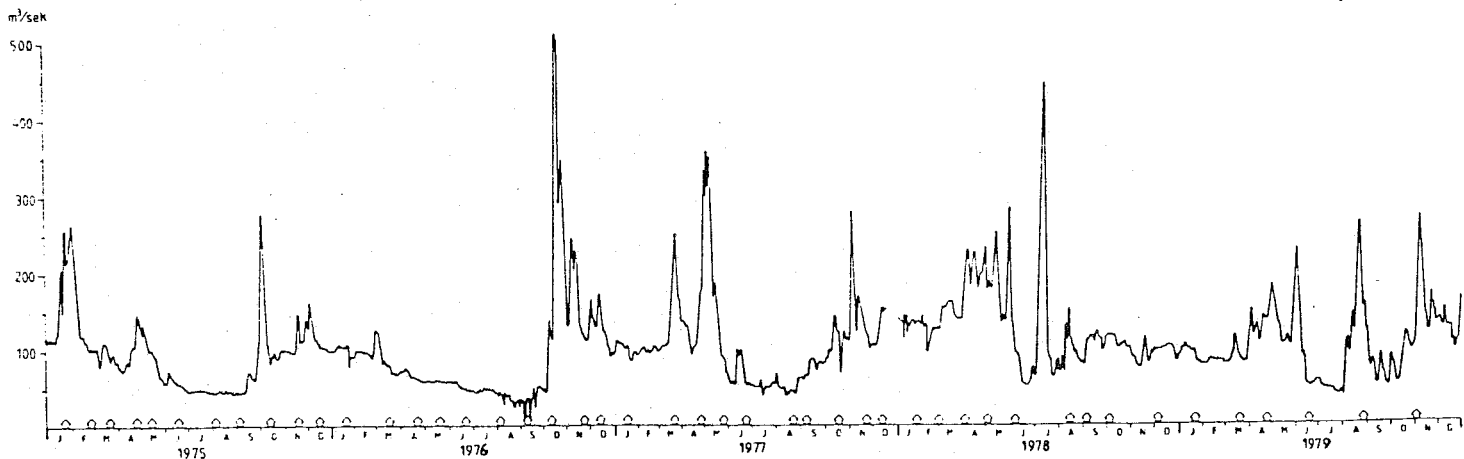


Fig. 3. Avrenning i Nidelva gitt ved vannføring pr døgn ved Lunde Mølle 1/1 1975 - 31/12 1979. Data fra Arendals Vasdrags Brugseierforening.

I Tabell 2 har vi satt opp maksimal vannføring gjennom hver enkelt flom i perioden. (Flom er her definert som en hendelse hvor ferskvannsavrenningen øker vesentlig).

Som tabellen viser, finner de største ferskvannsavrenningene sted om sommeren og høsten, og da i forbindelse med store nedbørmengder. Avrenning fra snøsmelting gir ikke så store flommengder p.g.a. regulering i vassdraget.

Tabell 2

Flomvannføringen i Nidelven. Data fra Arendals Vasdrags Brugs-eierforening.

| År | Flommåned | Maksimal vannføring m ³ / s |
|------|-----------|---|
| 1975 | Februar | 265 |
| | Mai | 150 |
| | Oktober | 290 |
| 1976 | Oktober | 500 |
| 1977 | Mars | 240 |
| | Mai | 350 |
| | November | 275 |
| 1978 | Mars-mai | 215-275 |
| | Juli | 430 |
| 1979 | Juni | 220 |
| | August | 250 |
| | November | 260 |

Nidelven er regulert med midlere vannføring om sommeren på 40-50 m³/s, og om vinteren ca 120 m³/s. Målinger viser at ca 50% av elvevannet renner ut ved Utnes og ca 20-30% til Arendal havnebasseng, men også at fordelingen av elvevannet er avhengig av vannføringens størrelse (Magnusson 1976). Ifølge Dannevig (1969), vil mesteparten av elvevannet som tilføres Arendal havnebasseng strømme ut gjennom Galtesund.

Skagerrak

I tidligere hydrografiske undersøkelser utført ved SBSF (Dahl 1982), ble det påvist nær sammenheng mellom de storstilte hydrografiske forhold i Skagerrak og den hydrografiske utvikling i dypet i Frierfjorden og Oslofjorden. I det arbeidet ble det demonstrert hvordan det er de storstilte sirkulasjons- og utskiftningsprosesser i Skagerrak, tildels sammen med lokale meteorologiske forhold, som styrer den storstilte sirkulasjonen i fjordene.

For å lette gjennomgangen av den hydrografiske utviklingen i skjærgården og det indre området (Tromøysund, Arendal havn), har vi derfor valgt å gi en kort innføring i de viktigste sirkulasjonsmekanismene i Skagerrak.

Generelt om sirkulasjon i Skagerrak

De hydrografiske forhold i Skagerrak er styrt av følgende forhold:

1. Tilførsel av vann med høy saltholdighet fra Nordsjøområdet som strømmer inn i overflatelaget langs kysten av Jylland. Denne transporten er satt sammen av vannmasser som:
 - a) strømmer direkte inn i Nordsjøområdet fra nord og vest langs vestskråningen av Norskerenna,
 - b) strømmer nordover langs Jyllandkysten fra de midtre og sydlige deler av Nordsjøen.

Den sistnevnte transporten har som regel en lavere saltholdighet enn vannmasser som kommer inn fra nord langs vestskråningen

av Norskerenna, fordi den er blitt blandet opp med ferskvann fra de store elvene som renner ut i Nordsjøen (Elben, Rhinen). Typiske saltholdigheter på sydsiden av Skagerrak er 32-34,5 o/oo i overflatelaget, med noe høyere verdier i de dypere lag.

2. I de dypere lag av Skagerrak skjer innstrømning og utskiftning med uregelmessig hyppighet. Svansson og Ljøen (1972) har behandlet dette ut fra lange historiske serier av data. Generelt skjer slik utskiftning med 3-5 års mellomrom, og fører da til en løfting av de "gamle" dypvannmasser. Disse utskiftingene kan føre til at "gammelt" bunnvann blandes med vannmasser fra intermediære lag (100-300 m) løftes opp og transporteres inn i fjordene på nordsiden av Skagerrak.

3. Fra Østersjøen, og elvene som drenerer til den svenske og norske Skagerrakkysten, transporteres det betydelige mengder ferskvann og brakkvann til Skagerrak. Fra området øst for Skagen og videre nord- og vestover blandes disse ferskvannmassene med de saltere vannmasser fra Nordsjøområdet. Denne samlede strøm kalles ofte for "Den Norske Kyststrøm" eller "Den Baltiske Strøm". I området utenfor Arendal er denne strømmen typisk av størrelsesorden 1 mill.m³/s (1 Sverdrup) (Dahl 1977).

Tradisjonelt deler vi vannmassene i Skagerrak utenfor Sørlandskysten inn i 3 typiske lag:

1. Overflatelaget er vanligvis 30-50 m dypt. Under og etter perioder med mye vind kan det bli noe dypere, og da særlig om vinteren når de vertikale tetthetsgradienter er små. Om sommeren og høsten er ferskvanntilrenningen til Skagerrak så stor at det dannes en kraftig vertikal tetthetsgradient i overflatelaget, slik at selv kraftig vindblanding bare øker dybden av dette laget lite om sommeren og høsten.

2. Mellom overflatelaget og det stagnerende dypvannslaget ligger det intermediære lag. Overflatelaget kan nedad defineres ved $\sigma_t = 26$, mens grensen mot dypvannslaget ikke kan defineres ved en fastlåst tetthet. For denne undersøkelsen velger vi å sette øvre grense for dypvannslaget til $\sigma_t = 27,5$. Ut fra denne definisjonen vil dermed tykkelsen av det intermediære lag variere stort gjennom året. Hva vi kaller det intermediære lag, er de vannmasser som strømmer fritt inn i Skagerrak over terskeldypet vest av Haugesund (ca 270 m), men som ikke blir direkte

påvirket av ferskvannstilførselen til overflatelaget, enten direkte eller gjennom vindblanding.

3. Dypvannet i Skagerrak har vi i denne forbindelse definert som vann med $\sigma_t > 27,5$. Dette er vann som oppholder seg i Skagerrak i lengre tid (omlag 3-5 år), og som bare påvirkes gjennom storstilte utskiftninger. Vi velger her å se bort fra såkalte turbulente diffusive prosesser, som fører til at tettheten reduseres gjennom vertikale turbulente blandingsprosesser

Bare dersom de storstilte utskiftingsprosesser fører til at dypvannet blir løftet høyere enn terskeldypet inn til de indre områdene, vil disse områdene kunne bli påvirket av dypvannmassene fra Skagerrak. Som regel vil også dypvannmassene gjennom denne hevingen bli blandet med nytt innstrømmende dyp- og intermediært vann, slik at det gamle dypvannet bare i liten utstrekning vil kunne påvirke de indre områdene.

RESULTATER OG DISKUSJON

Vi har nedenfor gitt en vurdering av de hydrografiske forholdene på enkelte nøkkelstasjoner for å vurdere sirkulasjonsforholdene i de enkelte områdene.

Kystområdet

For å beskrive forholdene i Skagerrak har vi valgt å konsentrere oss om utviklingen på stasjon 16 i Hesnessnittet. Gjennomgangen av de hydrografiske data sammen med data fra hydrografiske snitt Torungen-Hirtshals (Anon. 1975, 1976, 1977, 1978, 1979) viser at alle de storstilte prosesser som i perioden 1975-1979 fant sted i Skagerrak (upubl. data, Statens Biolgoske Stasjon Flødevigen) og som har betydning for dette arbeidet, finnes igjen i det hydrografiske materialet fra denne stasjonen.

Temperaturforhold på stasjon 16 Hesnesøy III

Fig. 4 viser tidsisopleter for temperatur på stasjon Hesnesøy III. Figuren viser at maksimumstemperatur ($> 15^{\circ}\text{C}$) i overflaten hvert år inntreffer i tidsrommet juli-august, mens minimum inntreffer i februar-mars. Laveste årlige minimumstemperatur er som regel 1°C eller lavere. Som Fig. 4 viser, forplanter disse ekstremene seg nedover, dog slik at ekstremet reduseres og tidspunktet for når ekstremet inntreffer blir mer forskjøvet, jo dypere en kommer. Dette fører til at de årlige temperaturvariasjoner er størst i overflaten, hvor den totale variasjon kan bli mer enn 20°C , mens årlig variasjon i 200 m vanligvis ikke overstiger 3°C .

Fra Fig. 4 ser en også at temperaturmaksimum i 200 m vanligvis inntreffer 4-5 måneder senere enn i overflaten, mens temperaturminimum inntreffer samtidig, eller med høyst 1-2 måneders forsinkelse. Dette kan forklares på følgende måte:

Oppvarming av overflaten ved direkte solstråling og varmeovergang fra atmosfæren skjer på en tid av året hvor det vanligvis er utviklet en sterk tetthetsgradient i overflatelaget. Denne gradienten forsterkes ved oppvarmingen, og den vertikale blanding mellom overflatevannet og underliggende vannmasser blir dermed hindret. Således vil oppvarmingen bli begrenset til overflatelaget, og den vertikale innblanding av det varme overflatelaget vil ta relativt lang tid.

Utover sensommeren når ferskvannstilførselen fra elvene avtar, samtidig som lufttemperaturen synker, vil de vertikale tetthetsgradienter bli redusert, og dermed vil den vertikale varmetransporten kunne økes.

Imidlertid er temperaturforholdene på et sted ikke bare avhengige av de prosesser som finner sted på stedet alene, men også av temperaturfordelingen i de vannmasser som transporteres inn til dette stedet. Fig. 4 viser at på hvert eneste dyp under overflaten og grunnere enn 200 m, skjer avkjølingen i vinterhalvåret raskere enn oppvarmingen i sommerhalvåret (uttrykt som $^{\circ}\text{C}/\text{tid}$). F.eks. ser en i 1976 i 100 m dyp at temperaturen stiger fra 6°C til 8°C i løpet av 6 måneder, mens det bare tok 1-2 måneder for temperaturen å synke fra 8°C til 5°C .

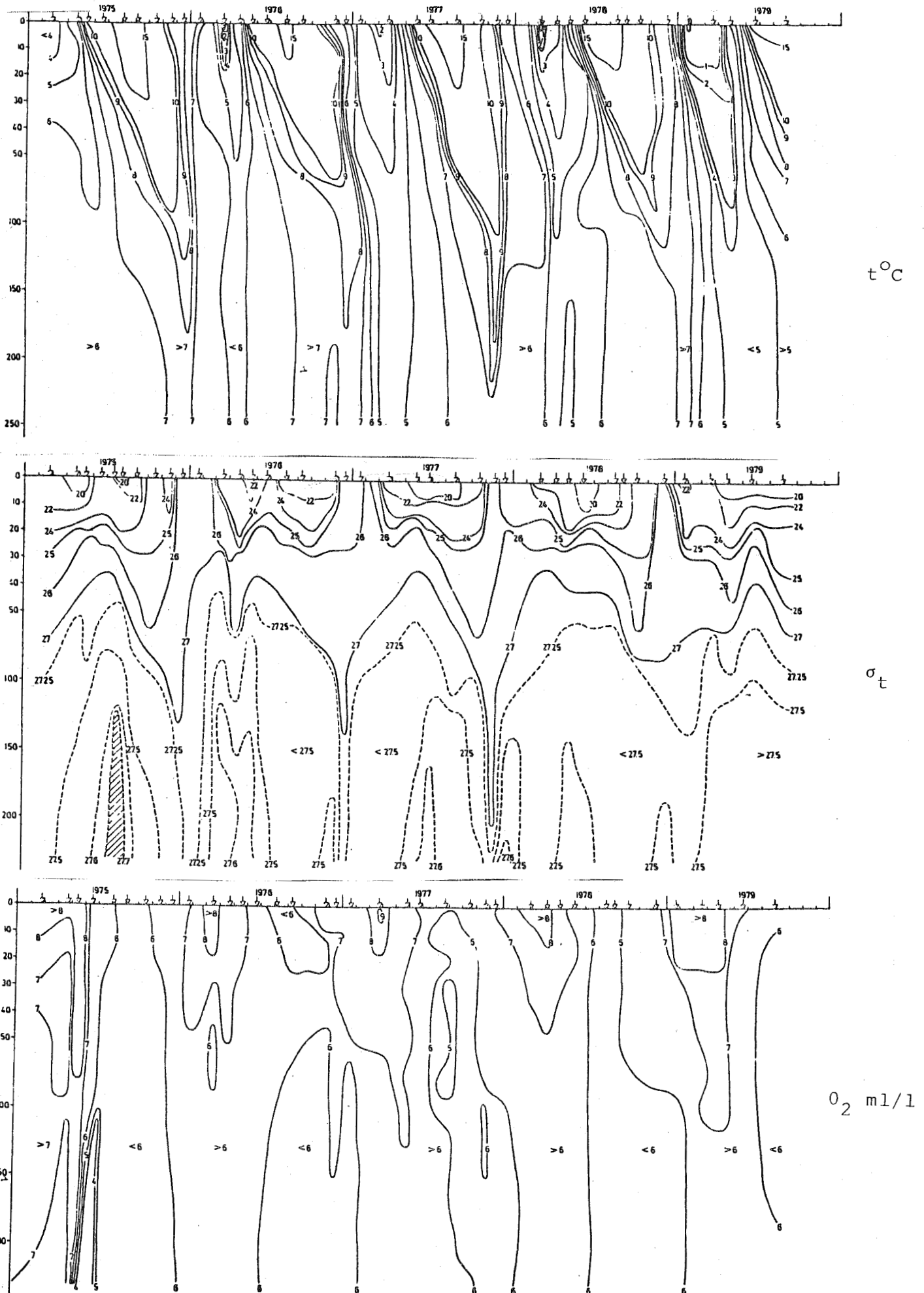


Fig. 4. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. Hesnes III, 5 n.m. av land. Pilene angir tidspunkt for prøvetakingen.

At temperaturen synker raskere enn den stiger under overflatelaget, skyldes ikke bare at den vertikale varmetransporten øker når de vertikale tetthetsgradientene blir mindre p.g.a. synkende temperaturgradienter, men også at temperaturforholdene endres fordi det transporteres (horisontaladveksjon) inn vannmasser som har andre egenskaper enn de som fantes tidligere. Store endringer over kort tid i de hydrografiske forhold er derfor et uttrykk for utskiftning.

Det mønsteret som er omtalt, er stort sett ubrutt i alle dyp mellom overflaten og ca 200 m. Under 200 m dukker det i to år, 1976 og 1978, opp ekstremer som tydeligvis ikke har noe å gjøre med den sesongmessige temperaturvariasjon.

1. Ekstremet i november/desember 1976 skyldes vann med temperatur lavere enn 7°C . Som det går frem av Fig. 4 finnes det ikke så kaldt vann noen andre steder i vannsøylen på dette tidspunkt. Tidsutviklingen viser også at det er minst 2-3 måneder siden vann med slik temperatur fantes på stasjonen. Det må derfor ha foregått en adveksjon på stasjonen. Tetthetsfordelingen i Fig. 4 viser at det samtidig opptrer et kortvarig maksimum med tetthet høyere enn 27,5.

Det kalde vannet skyldes dermed tilførsel av tungt vann som da har dannet bunnvann på denne stasjonen. Imidlertid kan vi på dette grunnlag ikke slutte om det tunge vannet stammer fra de dypere lag i Skagerrak, eller om det har blitt advektert horisontalt inn i området.

2. Ekstremet i april/mai 1978 viser vannmasser med temperatur lavere enn 5°C under 150 m. Dette lokale ekstremet er ikke den laveste temperatur som ble observert i dyplagene i Skagerrak under hele måleperioden, og heller ikke er det en ekstrem temperatur for Skagerrak over et lengre tidsrom. Fig. 4 viser at det i perioden 1977-1979 hvert år ble observert dypvann med temperatur lavere enn 5°C , og at dette i 1977 og 1979 intr traff samtidig med temperaturminimum i hele vannsøylen.

Videre viser sammenligning med Fig. 4 at den lave temperaturen i dyplagene faller sammen med tilførsel av tyngre vann. For ekstremet i 1978 viser Fig. 4 at det samtidig fant sted en innstrømming av tyngre vann (med tetthet større enn 27,5), slik at dette temperaturekstremet sannsynligvis skyldes en utskiftning, og ikke en heving av gammelt dypvann fra Skagerrak.

På dette grunnlaget synes det rimelig å slutte at de lave temperaturer som årlig opptrer i dyplagene over 200 m i Skagerrak ikke bare skyldes lokal avkjøling, men tilførsel av tungt vann ved horisontal adveksjon. Derimot er det trolig at de høyere temperaturene som opptrer sterkt tidsforsinket fra temperaturmaksimumet i overflaten, skyldes en kombinasjon av vertikal turbulent diffusjon i Skagerrak/Nordsjøen, og adveksjon.

Tetthetsforhold på stasjon 16 Hesnesøy III

I Fig. 4 har vi vist vertikal tetthetsfordeling for hele måleperioden 1975-1979 for stasjon Hesnesøy III.

Fig. 4 viser at den nedre grense for $\sigma_t = 26,0$, som vi har definert som nedre grense for overflatelaget i Skagerrak, om våren og sommeren stort sett er over 30 m, mens den synker ned til 50-60 m hver høst, bortsett fra i 1976. Det må her bemerkes at det i 1976 var sparsomt med målinger om høsten, slik at det kan ha foregått en slik fordypning av overflatelaget også i dette året, uten at det er blitt observert.

Typisk for overflatelaget er også de årlige sterke tetthetsminima som opptrer hver sommer. Disse skyldes stor ferskvannstilførsel fra de store elvene og lokal avrenning, samt at sjøvannet i overflaten oppvarmes.

I perioden november-januar skal en også legge merke til at det er meget små vertikale tetthetsgradienter i overflatelaget. Dette skyldes lav ferskvannstilførsel og avkjøling av overflaten. Begge disse forhold fører til at tettheten i overflaten stiger.

Som det fremgår av Fig. 4, varierer nedre grense for det intermediære laget fra mer enn 200 m tidlig på våren, til ca 100 m om sommeren og høsten. Gjennom alle årene er dette en typisk variasjon for denne nedre grensen. I februar/mars stiger 27,5 isopyknen sterkt, slik at den i mai/juni når sin øvre grense i 80-100 m, for deretter å synke igjen. Denne stigning av relativt tungt vann er av vesentlig betydning for utskifting av vannet i det indre området, som vi senere skal komme tilbake til.

For områdene i skjærgården og innenfor er det særlig vann-

massene som finnes i Skagerrak i terskeldypnivå til de indre områdene som er av interesse. Opplodninger som er gjort, og data fra foreliggende sjøkart, viser at terskeldypet til de vestre områdene av Tromøysund er omlag 30 m. Ut fra Fig. 4 kan man se årlig forekomst av tungt vann i 30 m dyp i følgende måneder på stasjon Hesnesøy III (Tabell 3):

Tabell 3

Forekomst av tungt vann i 30 m på stasjon Hesnesøy III

| År | Måned |
|------|------------------|
| 1975 | juni/juli |
| 1976 | mars og mai/juni |
| 1977 | mai/juni |
| 1978 | mars |
| 1979 | juni/juli |

Ut fra disse betraktningene og Tabell 3, er det altså om våren og tidlig på sommeren at vi med størst sannsynlighet kan vente innstrømning til de indre områdene.

Imidlertid vil lokale meteorologiske forhold kunne endre dette bildet raskt. I perioder med sterk og/eller vedvarende fralandsvind, vil overflatevannet i fjordene drives ut fra fjordene til Skagerrak, og det vil kunne skapes en horisontal trykkforskjell som fører til innstrømning i dypet. Videre vil en sterk og/eller vedvarende sydvestlig vind langs kysten, og i enda sterkere grad nordvestlig vind, kunne føre til en transport av overflatevannet vekk fra kysten. Dette vil da bli erstattet med oppstrømning av tyngre vann nedenfra, som så vil kunne renne over terskeldypet og inn i fjordene.

Disse fenomenene skjer som regel i løpet av dager, og vil vanskelig kunne fanges opp av de målinger som er utført, hvor det som regel har vært minst en måned mellom hvert tokt. Etter en periode med fralandsvind eller oppstrømning vil som regel de hydrografiske forholdene raskt falle tilbake til hva de var før hendelsen inntraff, og vil derfor vanskelig kunne spores i de

månedlige hydrografiske målingene. Bare mer omfattende innstrømninger eller utskiftninger, eventuelt vindblandinger i overflatelaget, vil kunne spores gjennom hydrografiske målinger.

Oksygenforhold på stasjon 16 Hesnesøy III

Tidsutviklingen for oksygen er vist i Fig. 4 Generelt viser denne utviklingen et årlig tilbakevendende maksimum i overflatelaget i februar-april, hvor det i de øverste 10-15 m som regel er mer enn 8 ml/l. I 1977 observerte en mer enn 9 ml/l i overflatelaget.

Disse høye oksygenverdiene faller sammen i tid med temperaturminimum i overflaten, og høy primærproduksjon. (Dahl og Danielssen 1981).

Bortsett fra disse årstidsbetingede variasjonene i overflatelaget, er det bare små variasjoner i oksygeninnholdet gjennom hele måleperioden og gjennom hele vannsøylen. I tiden august 1975 - september 1979 varierte oksygeninnholdet stort sett mellom 5,5 ml/l og 6,5 ml/l under overflatelaget.

Et viktig unntak finnes for perioden juni/juli 1975, da målingene viste at oksygeninnholdet i vannlag dypere enn 100 m falt til mindre enn 4 ml/l. Disse verdiene er uforklarlig lave, og kan muligens skyldes analyse og/eller prøvetagingsfeil.

Ortofosfat på Hesnessnittet

På de ytre stasjonene (Fig. 5 og 6) er alltid ortofosfatverdiene relativt høye (mellom 0,5 og 1,0 $\mu\text{g}/\text{l}$) i dypet, d.v.s. under ca 75 m dyp. Det eneste unntaket var i mars 1976 hvor reduksjonen gikk dypere ned enn det som ble registrert i de andre årene. I de øvre vannmassene er det en tydelig sesongmessig variasjon med høye verdier om vinteren og med en kraftig reduksjon i mars måned ned til 20-30 m dyp p.g.a. primærproduksjonen. Denne reduksjonen går etterhvert noe lenger ned utover mot sommeren (30-50 m dyp). Senhøstes bygger konsentrasjonene seg opp igjen mot en ny vintersituasjon. Det samme forhold sees på de indre stasjonene (se Fig. 7 Hesnesøy II), men her synes reduksjonen å gå noe dypere ned utover mot sommeren for så

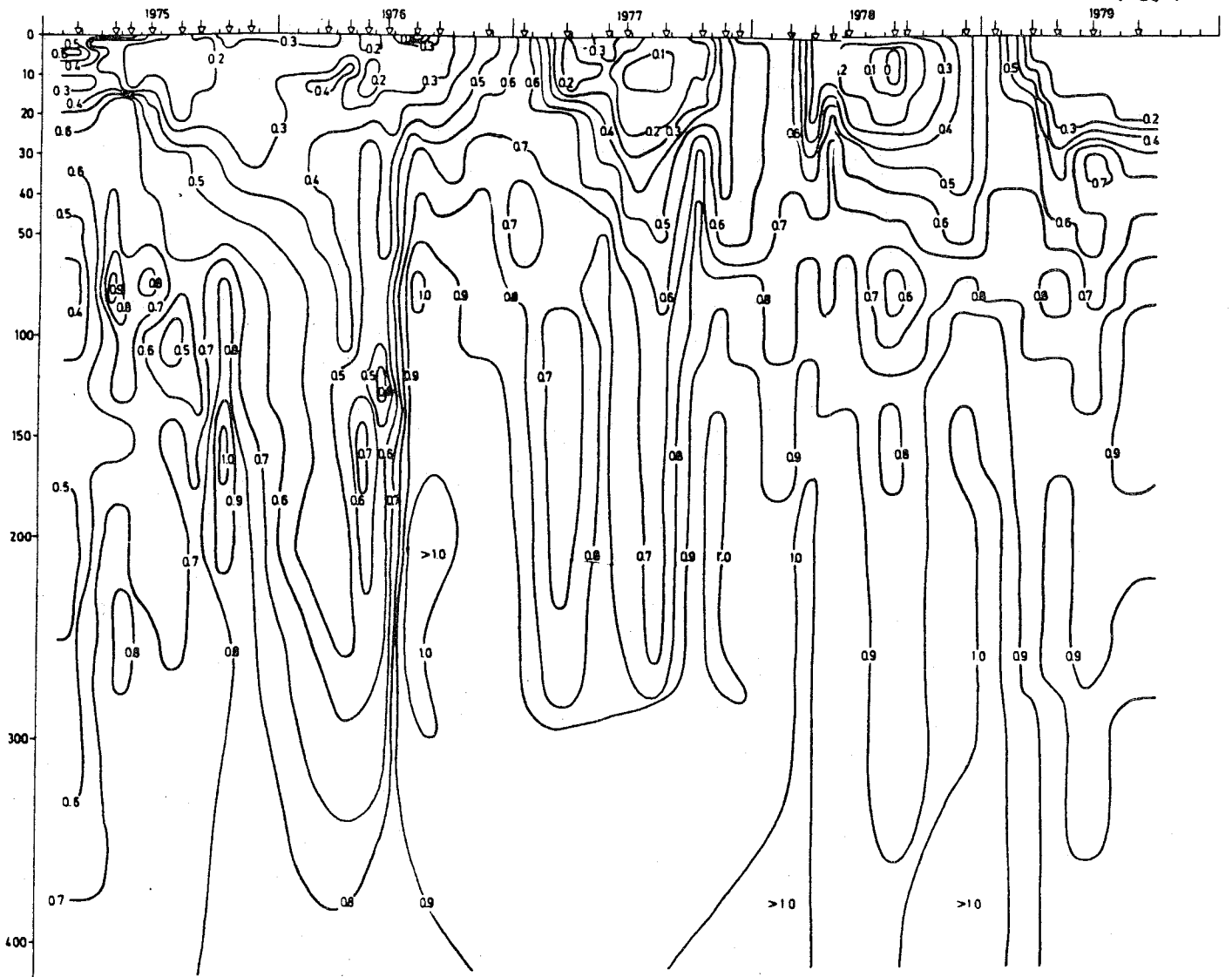


Fig. 5. Ortofosfatisoplet på st. Hesnesøy V, 15 n.m. av land.

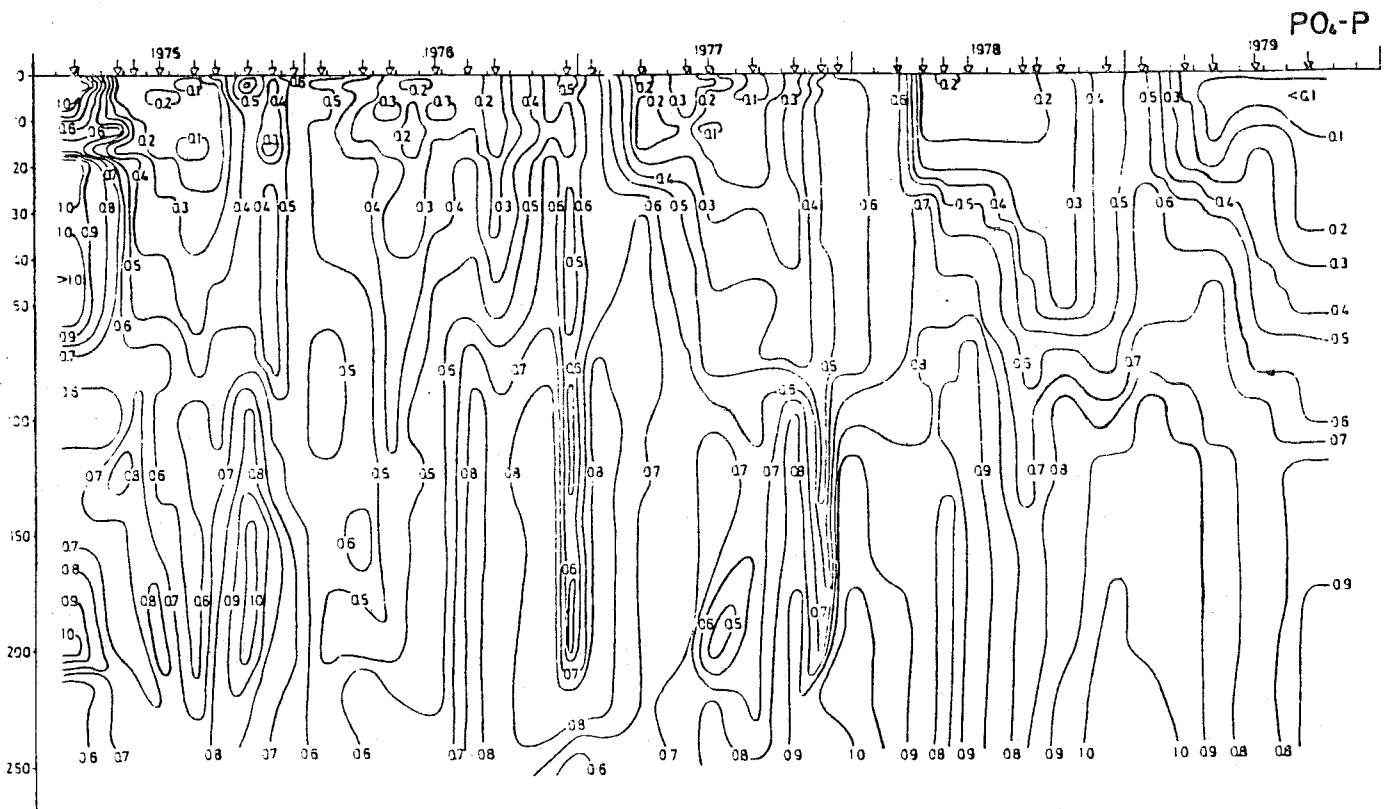


Fig. 6. Ortofosfatisoplet på st. Hesnesøy III, 5 n.m. av land.

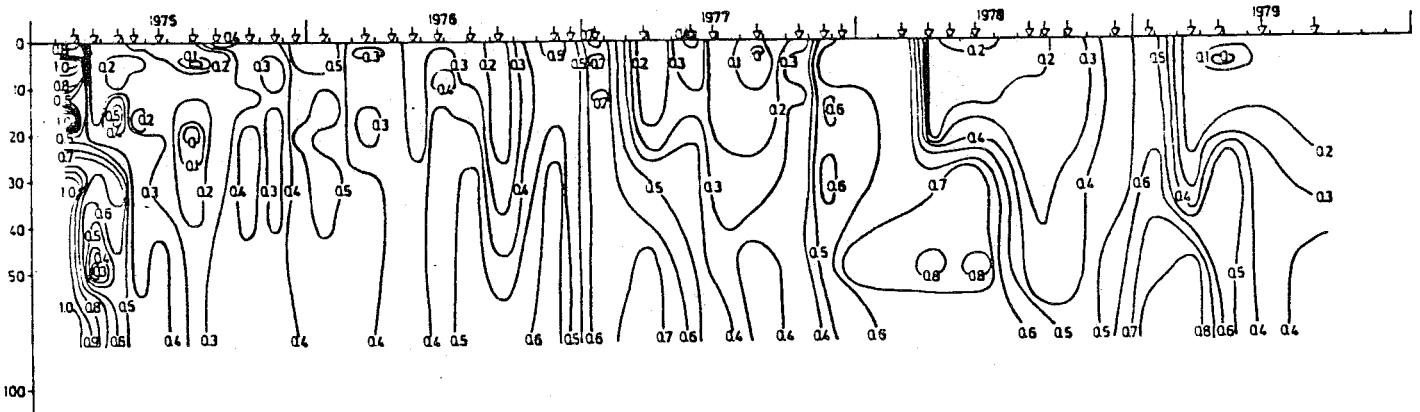


Fig. 7. Ortofosfat på st. Hesnesøy II, 1 n.m. av land.

igjen å øke utover høsten. Mengdene i overflaten vinterstid synes ikke å bli noe særlig høyere enn 0,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ uavhengig av om det er nær land eller lenger ute. Lokal upwelling synes å opptre av og til som f.eks. i april 1979 på stasjon 15, men den syntes da ikke å komme helt opp i overflaten.

Totalt oppløst fosfor på Hesnessnittet

Totalt oppløst fosfor fra de titrerte prøvene gir bare en liten økning i fosfatkonsentrasjonen, sjelden mer enn 0,1 $\mu\text{g}/\text{l}$. Den varierer også på samme måte som ortofosfatverdiene på alle stasjonene.

Nitrat på Hesnessnittet

Nitratkonsentrasjonene i de midlere og dypere vannlag (Fig. 8) er stort sett høye gjennom hele året, men endel variasjoner forekommer uten at det synes å ha med årsvariasjoner å gjøre. Grunnere enn 30-50 m dyp opptrer sesongvariasjoner med de høyeste verdier om vinteren frem til planteplanktonproduksjonen

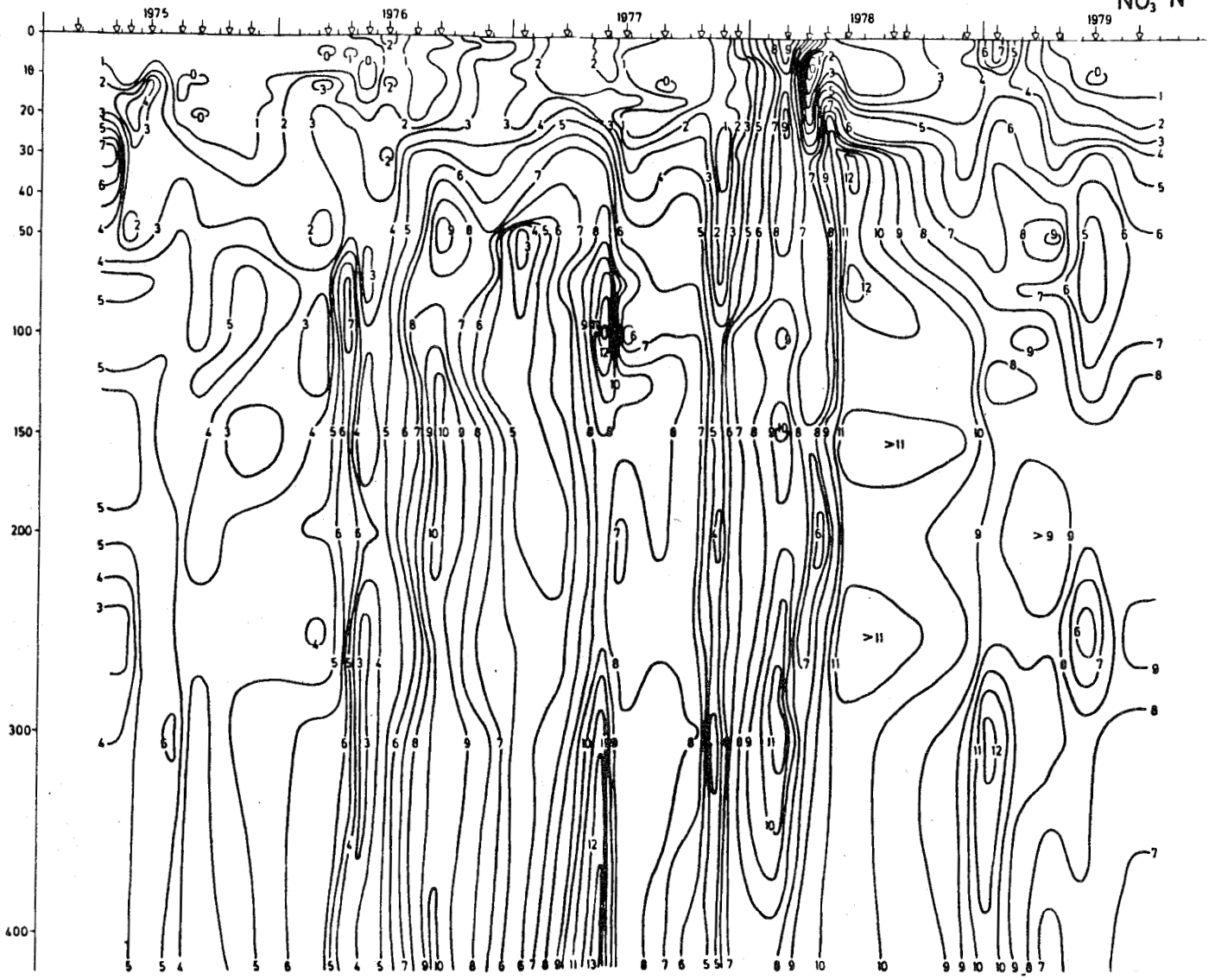


Fig. 8. Nitratisoplet på st. Hesnesøy V, 15 n.m. av land.

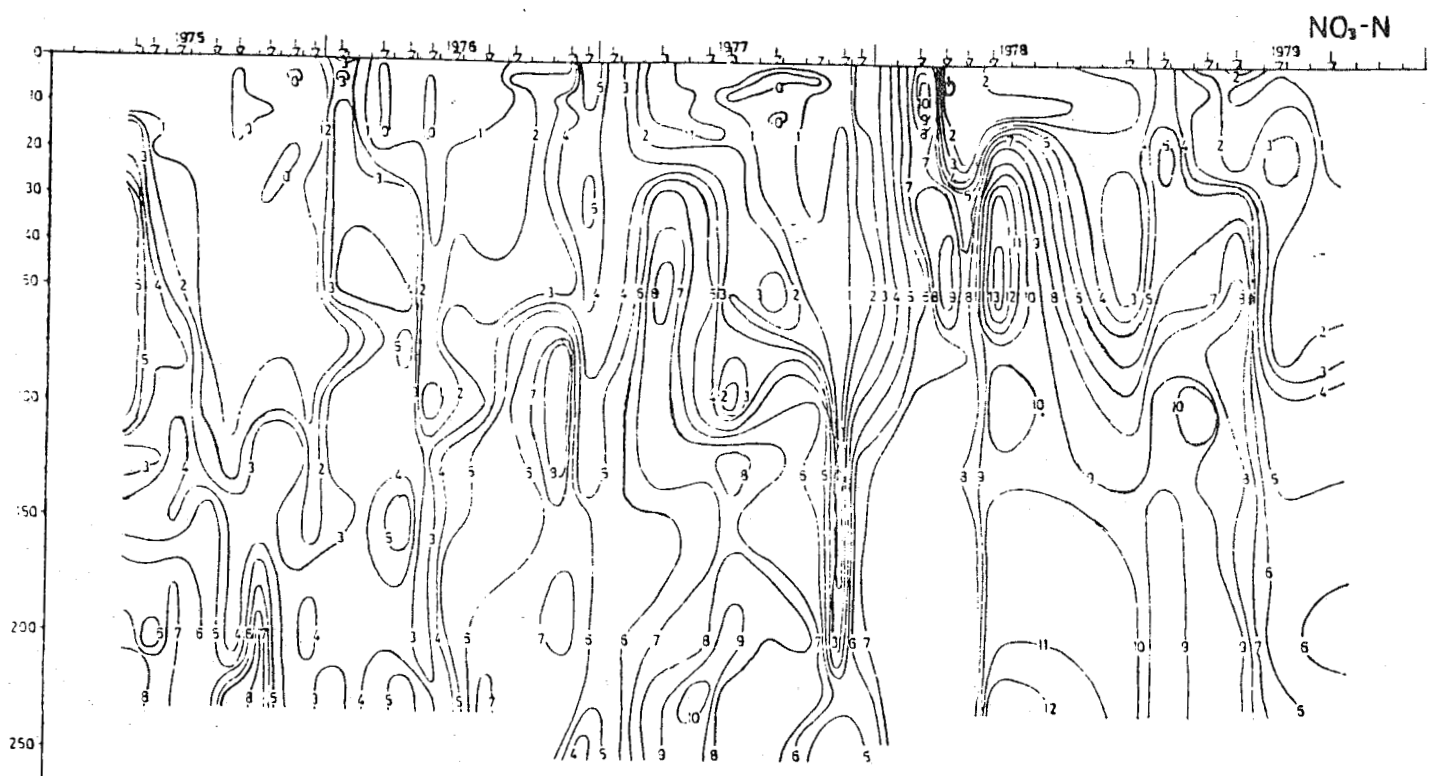


Fig. 9. Nitratisoplet på st. Hesnesøy III, 5 n.m. av land.

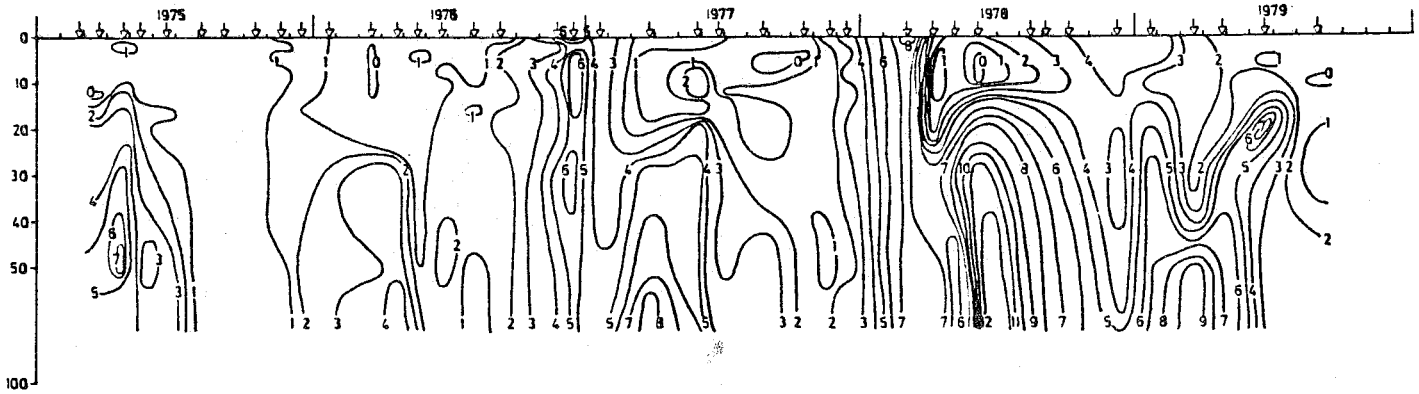


Fig. 10 . Nitratkonsentrasjonen på st. Hesnesøy II, 1 n.m. av land.

begynner i mars måned. Reduksjonen går dypere ned utover sommeren og høsten. De samme forhold gjør seg også gjeldende nærmere kysten (Fig. 9 og 10), men her går reduksjonen betydelig dypere ned, til 100 m og enda dypere (st. 16).

Nitritt på Hesnessnittet

Variasjonene i nitrittkonsentrasjonene synes hverken å ha sammenheng med dyp eller sesong. Det synes heller ikke å være noen forandring fra ytterste stasjon til nærmere kysten.

Ammonium på Hesnessnittet

Mengden av ammonium varierer relativt lite i de dypere vannmasser, og er enkelte ganger lik null på den ytterste stasjon (Fig. 11) (nov./des. 77 og nov./des. 78). Nullverdiene finnes også til dels igjen på 5 n.m. (Fig. 12) på samme tid og delvis også på 1 n.m. (Fig. 13). Det er vanskelig å se noen spesiell grunn til dette. De høyeste verdier (1-2 µgat/l) ble funnet i ca 30 m dyp i sommersesongen. Lenger inn mot kysten på 5 n.m. (Fig. 12) er verdiene enda høyere (3-4 µgat/l), og da i en noe mer varierende dybde (20-75 m dyp). De opptrer dog til samme tid på både 5 n.m. og 1 n.m. (mai/juni 77, 78 og 79). Helt i overflaten er verdiene høyere nær land. Noen særlig sesongmessig variasjon er det ikke, men det er tydelig noe mer ammonium nær land enn lenger ute fra kysten.

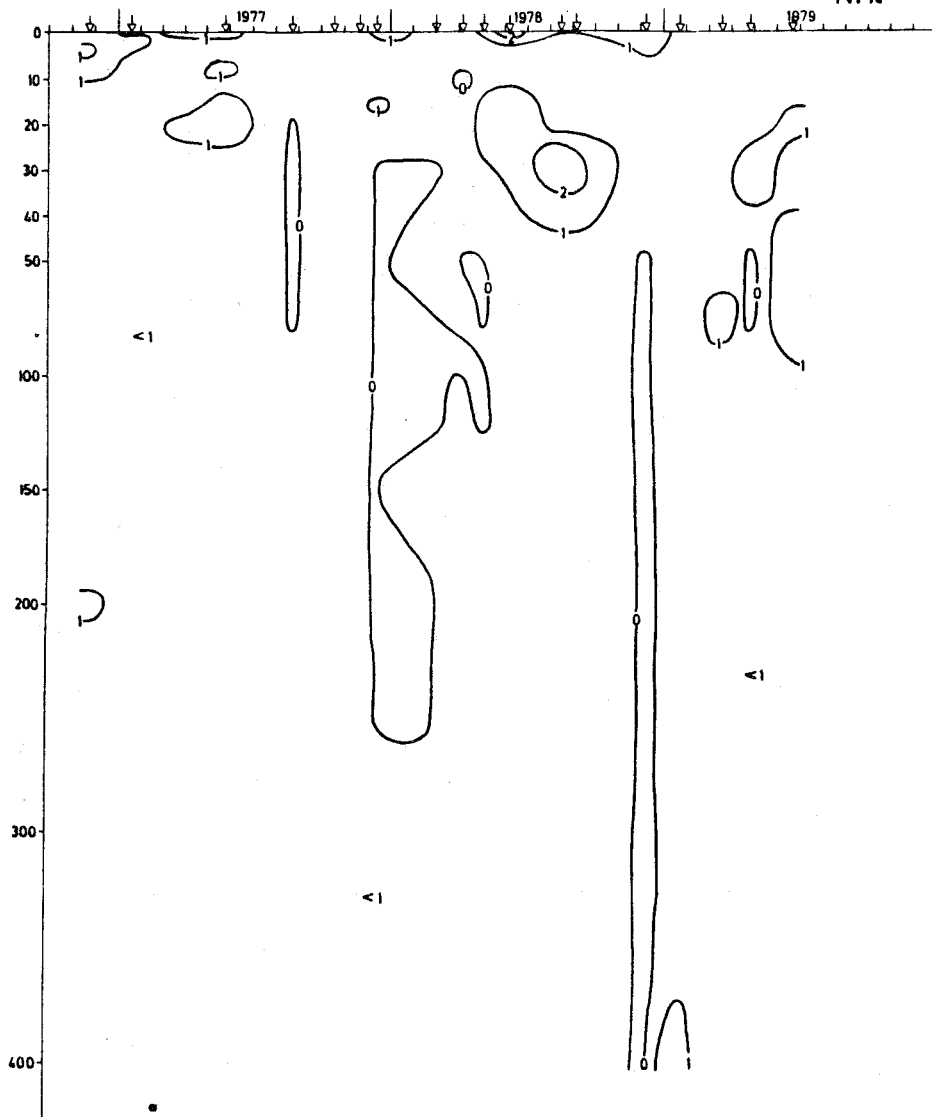


Fig. 11. Ammoniumisoplet på st. Hesnesøy V, 15 n.m. av land.

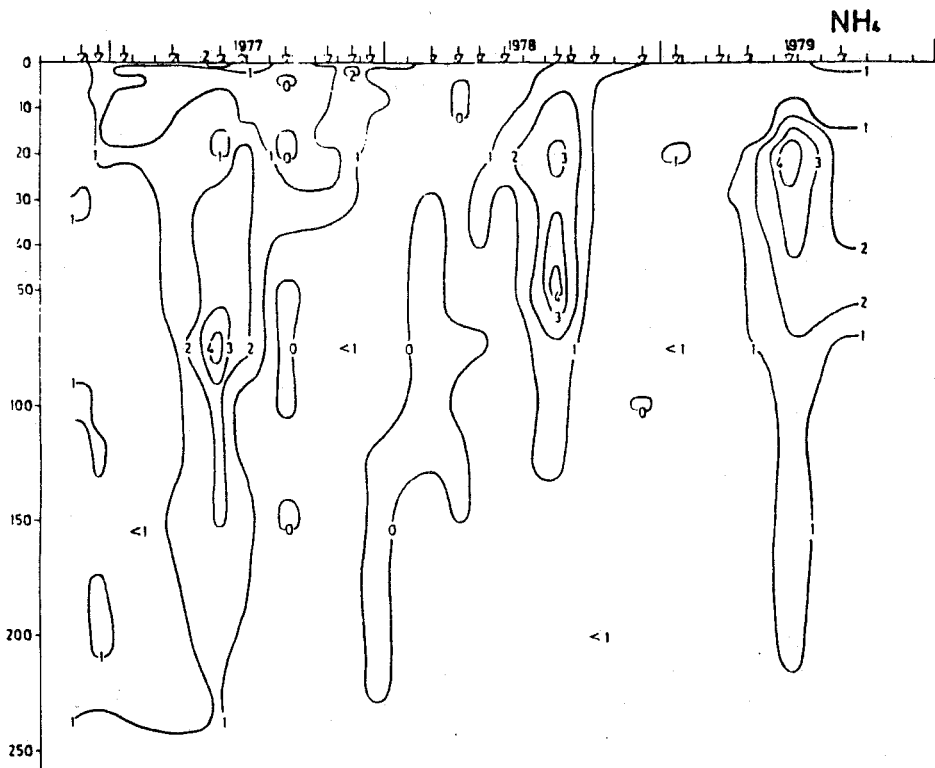


Fig. 12. Ammoniumisoplet på st. Hesnesøy III, 5 n.m. av land.

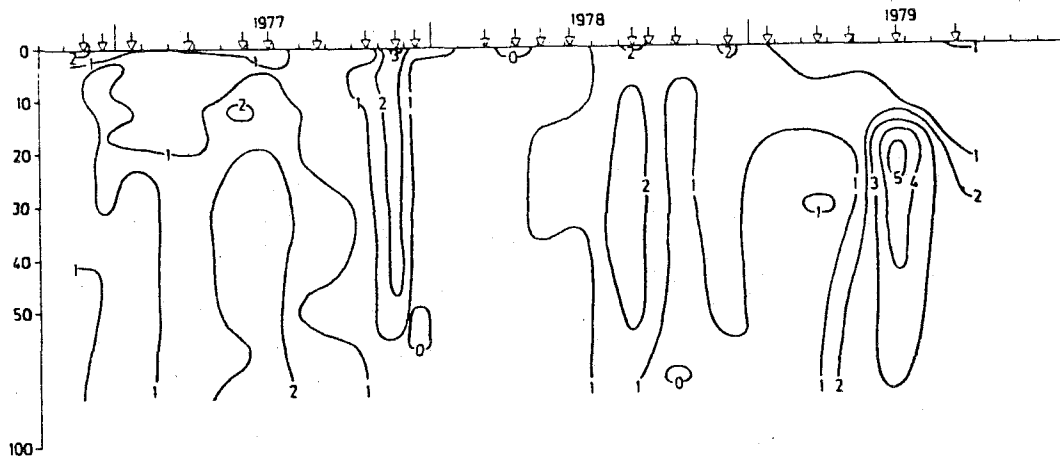


Fig. 13. Ammoniumisopleth på st. Hesnesøy II, 1 n.m. av land.

Totalt oppløst nitrogen på Hesnessnittet

I dypet under ca 75 m er det stort sett alltid mengder av totalt oppløst nitrogen over 10 $\mu\text{gat/l}$. Det varierer stort sett mellom 10 og 15 $\mu\text{gat/l}$. Det synes å være en sammenheng mellom høye og lave verdier på 15,5 og 1 n.m. både i de dypere vannmasser og ved overflaten. De høyeste verdiene i overflaten finnes innerst ved land, men synes ikke å ha noen sammenheng med ferskvannsavrenningen fra Nidelven. Det er noe lavere verdier i sommerhalvåret i de øvre vannmasser (over 50-75 m).

Skjærgården

Det indre kystområdet, eller skjærgården, er grenseområdet mellom det åpne Skagerrak og de mer lukkede fjordene innenfor. Topografien i skjærgården er preget av åpne bukter og mer lukkede bassenger mellom øyene. For best mulig å kunne beskrive de hydrografiske forhold i det indre kystområdet, har vi derfor valgt å beskrive utviklingen på fire typiske stasjoner: stasjon 11 Ærøydypet, stasjon 9 Sømskilen, stasjon 10 Skjellbergholmen og stasjon 7 Galtesund.

Hydrografi i skjærgården

Hydrografiske forhold i Ærøydypet

Stasjon 11 ligger i et delvis åpent basseng på innsiden av Store Torungen, hvor største dyp i bassenget er omlag 110 m. Største dyp som det vanligvis er tatt prøver i er 100 m.

Temperaturforhold på stasjon 11 Ærøydypet

Fig. 14 viser temperaturutviklingen gjennom perioden 1975-1979 i Ærøydypet. Figuren viser at maksimumstemperaturen gjennom sommermånedene i overflatelaget hvert eneste år er høyere enn 15°C . I 1975 synker 15°C -isotermen dypere enn 30 m, mens vi senere vanligvis finner største dyp for denne isotermen i omlag 15-20 m. Om vinteren faller temperaturen i overflate-

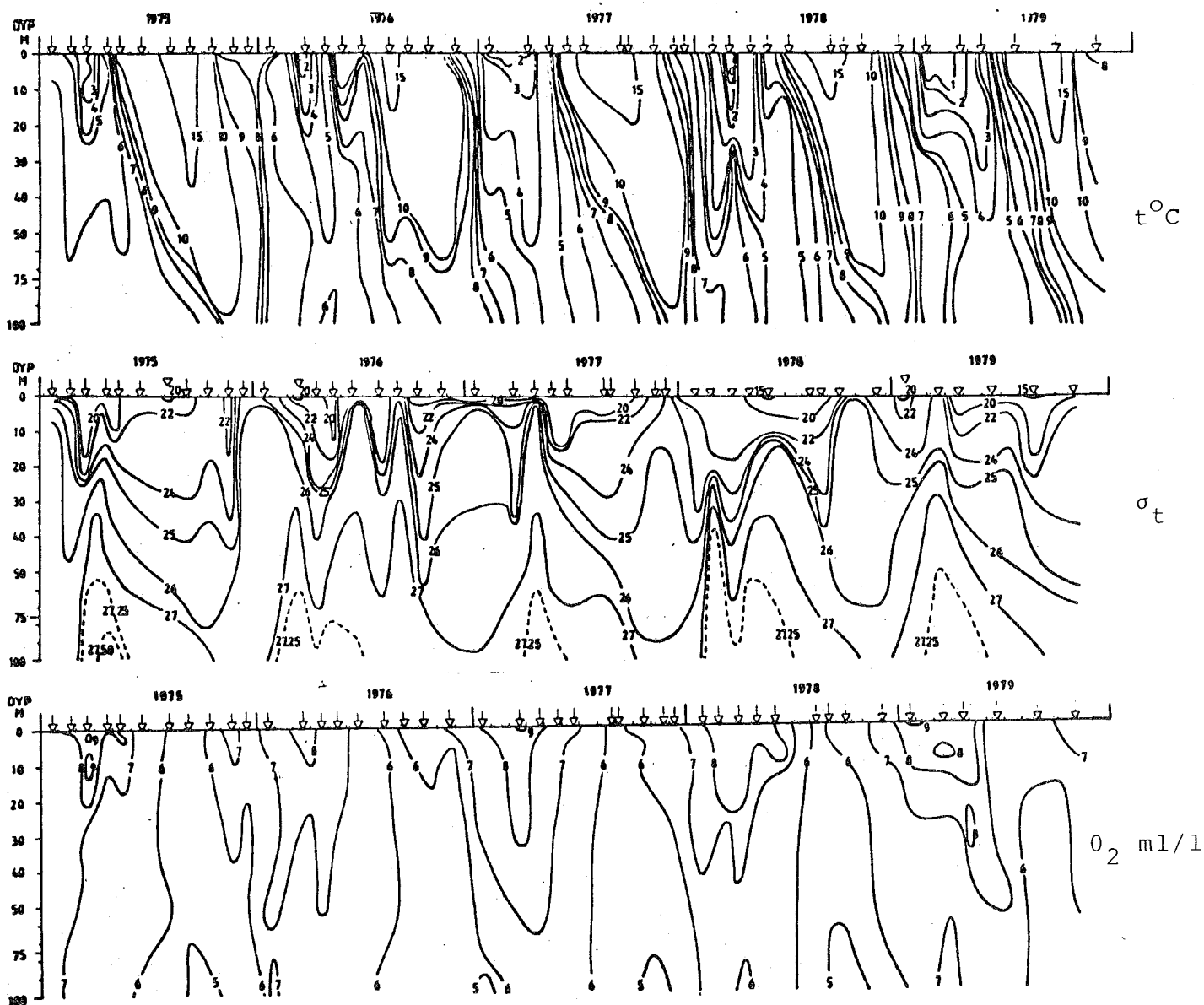


Fig. 14. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. 11 (Ærøydypet).

laget, og gjennom alle årene fant vi minimumstemperatur i overflaten lavere enn 3°C . I 1978 var laveste temperatur i overflaten lavere enn 0°C .

Temperaturfordelingen er preget av store skiftninger. Således er tidsforsinkelsen mellom årets maksimumstemperatur i overflaten og ved bunnen 2,5-3 måneder, mens tidsforsinkelsen mellom overflate og 100 m for minimumstemperatur er 1-3 måneder. For de åpne områdene i Skagerrak fant vi at tidsforsinkelsene mellom overflaten og 100 m var h.h.v. 2-3 og 1-2 måneder. Dette tyder på at vertikalendringene i temperatur i Ærøydypet er mindre påvirket av horisontal adveksjon enn i de åpne områder, d.v.s. at oppholdstiden for vannet i Ærøydypet er lenger.

Enkelte år finner en også mer uregelmessige endringer i temperaturen, og da særlig om vinteren. F.eks. finner en vinteren 1978 en kortvarig økning av temperaturen under ca 30 m. Dette har sammenheng med storstilet innstrømning av varmere vann fra Skagerrak.

Tetthetsforhold på stasjon 11 Ærøydypet

Fig. 14 viser tetthetsutviklingen på stasjonen. Også her er tetthet vist som σ_t . I de dypere lagene (dypere enn 50 m) viser figuren at det strømmer inn relativt tungt vann ($\sigma_t > 27.25$) årlig. Innstrømningen starter som regel i januar-februar og varer i 1-2 måneder.

I to av årene, 1976 og 1978, fant dypvannsinnstrømning sted i to adskilte perioder. Begge årene hadde det innstrømmende vannet stort sett samme tetthet under begge periodene. Dette indikerer at den første del av innstrømningen ble avbrudt av lokale forhold. F.eks. finner vi i 1976 at tettheten gjennom hele vannsøylen sank dramatisk like etter at den første del av innstrømningen var avsluttet. I overflaten dukket det opp vann med $\sigma_t < 20,0$, mens 26,0-isopyknen sank fra 5 m tidlig på vinteren til nærmere 40 m senere på vinteren. Dette kan vanskelig skyldes lokale forhold, men må ha sin årsak i oppstuvning av lettere vann mot kysten og inn i skjærgården.

Imidlertid, etter at dette lette vannet forsvant fra over-

flaten, steg tettheten relativt raskt i alle dyp, og den andre del av innstrømningen av tungt vann til bunnelagene satte inn igjen.

Tilsvarende finner vi for situasjonen vinteren 1978, hvor det ikke dukket opp lettere vann i overflatelaget, men hvor dypet for 22,0-isopyknene sank fra 5 m til 15 m. Også i alle andre dyp sank tettheten. Dette tyder igjen på oppstuvning av lettere vann mot kysten i overflatelaget, slik at det underliggende vannet presses ned og ut. Oppstuvning av vann vil skyldes vestlige vinder (Aure og Sætre 1981), og når vindstresset forsvinner, strømmer det tyngre vann inn mot bassenget langs bunnen av Skagerrak, slik at tettheten i alle dyp stiger gjennom heving av "gammelt" vann.

Det er også to andre forhold i tetthetsfordelingen som bør omtales.

1. Data fra alle årene viser at det foregår en heving av isopyknene mellom overflaten og ca 50 m sent på høsten. Særlig kommer dette klart frem ved at 25-isopyknene heves, mens 26-isopyknene fortsetter å synke (bortsett fra i 1976). Dette fenomenet skyldes innstrømning fra Skagerrak av vann fra lag under overflatelaget og kalles intermediær innstrømning.

2. Det andre forholdet er også en følge av intermediær innstrømning. I perioden sent på høsten finner en også de minste vertikale temperatur- og tetthetsgradientene, nettopp fordi den intermediære innstrømningen fører til at mellomlagene blir fylt opp med homogent vann. Etter at den intermediære innstrømningen har pågått en stund, blir de vertikale gradientene redusert.

Det innstrømmende vannet hever det lettere overliggende som det fortrenger, samtidig som det p.g.a. sin mindre tetthetsforskjell med bunnvannet enn det "gamle" intermediære vannet enklere kan blande seg med bunnvannet. Resultatet av denne prosessen er vertikal homogenisering av vannmassene. F.eks. finner en i tiden rett forut for dypvannsinnstrømningen høsten/vinteren 75/76 at alt vann mellom 5 m og 100 m har tetthet σ_t mellom 26,0 og 27,0. Tilsvarende forhold finner en også for november/desember 1979.

Sammenlikner en temperatur og tetthetsfordeling i overflatelaget sent på vinteren eller tidlig på våren gjennom hele peri-

oden, ser en at minimumstemperatur ofte faller sammen med et minimum i tettheten. Etter sjøvannets tilstandslikning, fører synkende temperatur til økende tetthet, dersom saltholdigheten holdes konstant. Den lavere tettheten må derfor skyldes tilførsel av vann med lavere saltholdighet, og er dermed uttrykk for enten tilførsel av lettere vann fra kyststrømmen og/eller oppblanding ved avrenning av ferskvann fra land.

Oksygenforhold på stasjon 11 Ærøydypet

Fig. 14 viser oksygenfordelingen for stasjonen. Figuren viser at de høyeste oksygenverdiene inntreffer i overflatelaget under våroppblomstringen da primærproduksjonen er høy samtidig med lav temperatur og tetthet.

I dyplagene finner en de høyeste oksygenverdiene samtidig med innstrømning av dypvann, og samtidig med de laveste temperaturene. Oksygeninnholdet i vannmassene synker ikke noen gang lavere enn hva en har funnet for de åpne områdene i Skagerrak. Dette tyder på at oksygenforbruket i Ærøydypet ikke skyldes lokale tilførsler av organisk materiale, men storstilte prosesser som finner sted i hele Skagerrak og dets åpne randområde.

Hydrografi ved Skjellbergholmen

Stasjonen ligger i et åpent basseng syd av Hisøy, hvor dypet er omlag 35 m. Sadeldypet mot Ærøydypet er ifølge Magnusson (1976) ca 15 m.

Temperaturforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen

Fig. 15 viser temperaturutviklingen på stasjonen. Sammenlikner en temperaturutviklingen på de to stasjonene, Skjellbergholmene og Ærøydypet, viser dette at denne er nær identisk. Vi finner igjen alle de storstilte årstidsvariasjonene, og også mindre detaljer, som et minimum i 4-6 m i mars 1975 hvor temperaturen sank under 3°C.

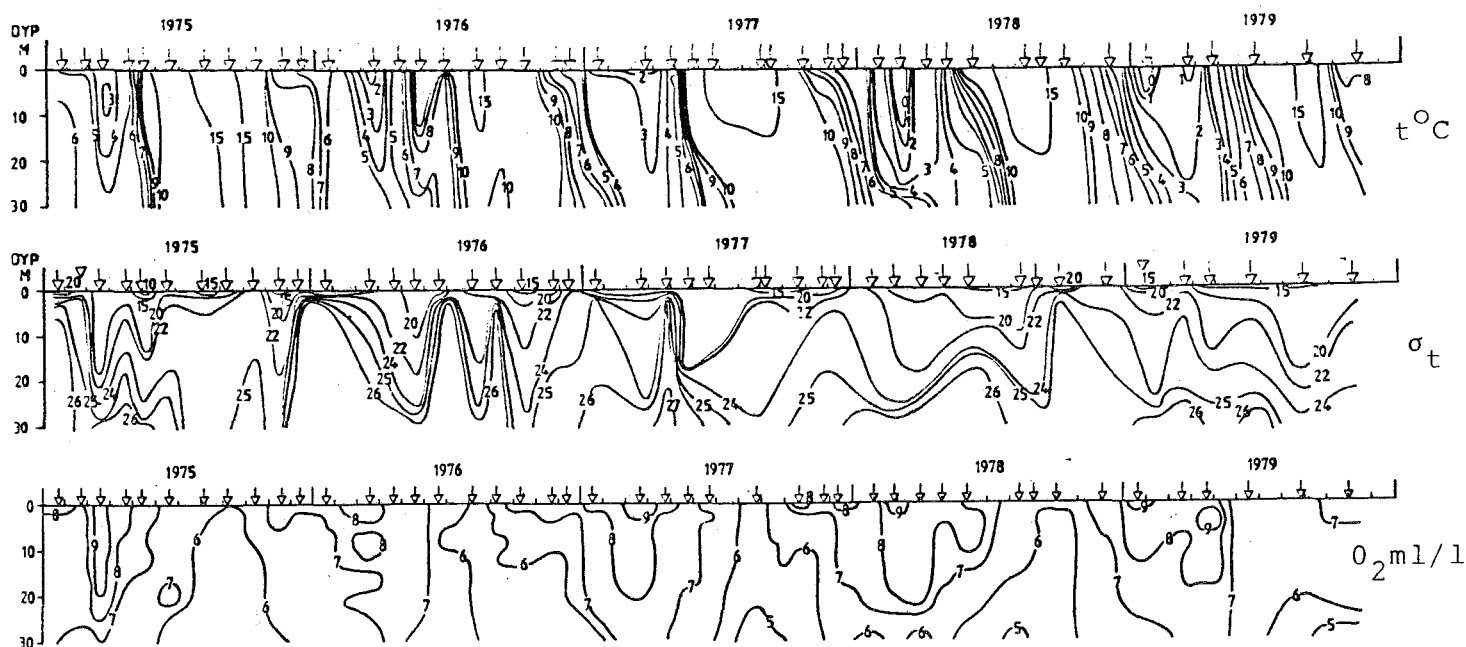


Fig. 15. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. 10 (Skjellbergholmen).

Tetthetsforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen

Fig. 15 viser tetthetsutviklingen på stasjonen. Under de øverste 5 m er det ingen signifikant forskjell mellom Skjellbergholmen og Ærøydypet. Vi finner således igjen alle de storstilte innstrømninger ved Skjellbergholmen som vi fant i Ærøydypet. I de øverste 5 m er det derimot ved Skjellbergholmen en klar påvirkning av ferskvannstilførsel fra Nidelven. Mens vi i Ærøydypet bare fant to korte perioder i 1977 og 1978 hvor tettheten sank under 15, finner vi ved Skjellbergholmen at tettheten i overflaten gjennom lengre perioder synker under 15, og laveste tetthet (i 1975) er mindre enn 10.

Oksygenforhold på stasjon 10 Skjellbergholmen

Fig. 15 viser oksygenutviklingen på stasjonen. Figuren viser at det høsten 1977, 1978 og 1979 finnes vannmasser nær bunnen hvor oksygeninnholdet synker under 5 ml/l. Dette inntreffer i perioder like før massive utskiftninger av vannet i dyplaget. Da dette ikke finnes samtidig i Ærøydypet, tyder det på at de relativt lave verdiene er resultat av lokalt forbruk.

I overflatelaget er det hver senvinter/vår høye verdier (mer enn 8 ml/l), som indikerer høy organisk primærproduksjon. Den generelle oksygenutvikling er meget lik hva vi fant i Ærøydypet, hvilket indikerer at det er god horisontal adveksjon i overflatelaget i det indre kystområdet.

Hydrografi i Sømskilen

Stasjonen ligger beskyttet i utløpet av vestre løp av Nidelven, og dypet er omlag 12 m. Størst dyp som det er tatt prøver fra er 10 m. Forholdene på stasjonen er sterkt påvirket av den store ferskvannstilførselen fra Nidelven. P.g.a. det lille vanddyppet og den nære kommunikasjonen med Skagerrak, har ikke vannmassene på stasjonen lang oppholdstid.

Temperaturforhold på stasjon 9 Sømskilen

Fig. 16 viser temperaturutviklingen på stasjonen. Figuren viser at temperaturutviklingen stort sett er sammenfallende med hva som ble funnet i Ærøydypet. Imidlertid er minimumstemperaturen i overflaten om vinteren generelt en grad lavere i Sømskilen enn i Ærøydypet. Temperaturendringene under overflaten er

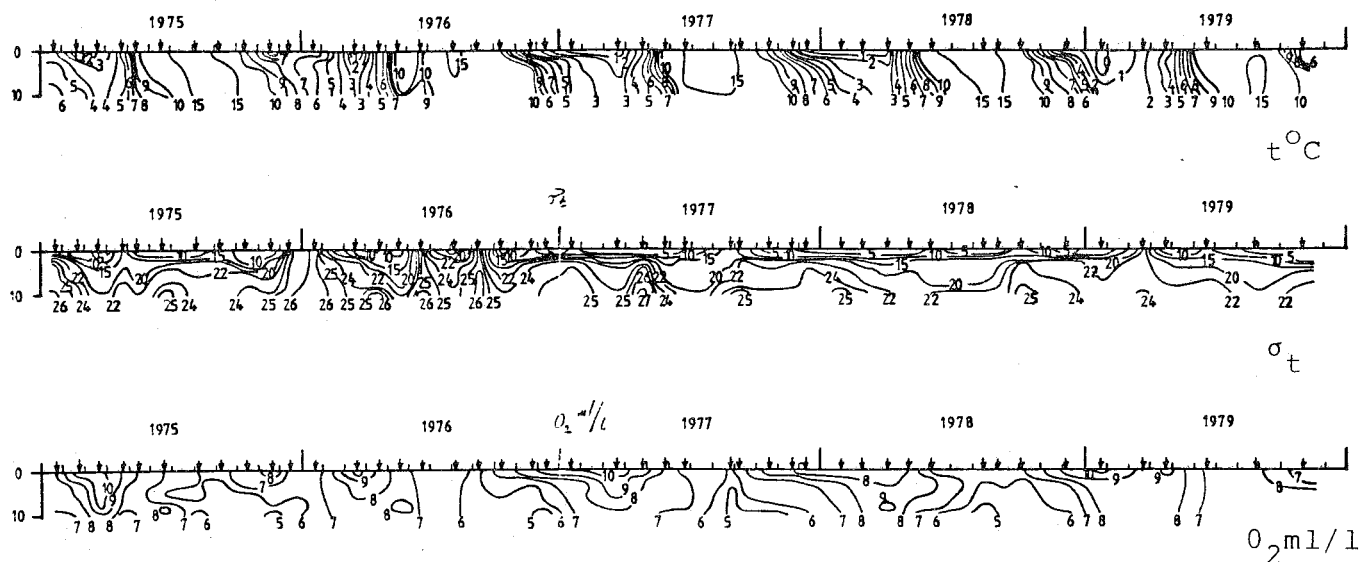


Fig. 16. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. 9 (Sømskilen).

preget av horisontal adveksjon, og således i liten grad resultat av lokal vertikal transport. Særlig kommer dette til uttrykk om høsten i 1976, 1977 og 1978, hvor isotermene i 2-4 m dyp er horisontale. Dette tyder på at det foregår lite utveksling mellom vannmassene i de øverste 2-4 m og de underliggende vannmassene.

Tetthetsforhold på stasjon 9 Sømskilen

Fig. 16 viser tetthetsutviklingen på stasjonen. Figuren viser ved sammenlikning med forholdene i Ærøydypet at forholdene i overflaten er meget forskjellige. Mens vi i Ærøydypet kun fant en kort periode i 1978 hvor tettheten var lavere enn 15, finner vi i Sømskilen at tettheten store deler av hele måleperioden er mindre enn 10. Videre finner vi i Sømskilen at det gjennom det meste av måleperioden er et utpreget sprangsjikt i de øverste 2-4 m. Dette vil dermed redusere den vertikale turbulens (og blanding), og vil dermed føre til isolasjon mellom vannmassene i overflatelaget og de som ligger under. Dette forklarer også hvorfor temperaturutviklingen i overflaten ikke er sterkt bundet til utviklingen i underliggende lag.

Årsaken til den lave tettheten og sprangsjiktet er den store ferskvannstilførselen fra Nidelven, som fører til at ferskvannet legger seg i perioder som et teppe over indre deler av Sømskilen.

I de "dypere" lag, d.v.s. under 4 m, finner vi igjen de storstilte utskiftningshendelser som vi fant i Ærøydypet. Her skal kort bare nevnes hendelsene i desember 75/januar 76, juni/juli 76, januar 77, april 77, oktober 78 og mars 79.

Hendelsen i 75/76 førte til en total utskiftning av vannmassene i Sømskilen, hvor vann med tetthet større enn 26 fylte opp hele kilen. Dette er vann som har strømmet inn fra Skagerak, og trolig har skiftet ut vannmassene i hele kystområdet.

I april 1977 finner vi den eneste gang med tilstedeværelse av vann med tetthet større enn 27 i Sømskilen. Sammenlikner vi med målingene fra Ærøydypet, ser vi at minste dyp for vann med denne tettheten ble målt til omlag 30 m. Dette tyder på at innstrømningen over en kort periode må ha vært mer massiv enn hva vi antok under behandlingen av målingene fra Ærøydypet, slik at

det tunge vannet har kunnet strømme inn i Sømskilen. En annen mulighet er at det tunge vannet er blitt hevet på grunn av topografien.

Oksygenforhold på stasjon 9 Sømskilen

Fig. 16 viser oksygenutviklingen på stasjonen. Figuren viser at det ikke noen gang under måleperioden ble funnet lave oksygenverdier som kunne tyde på stagnasjon. Derimot viser figuren at det i de øverste 2-4 m er meget høye verdier, som faller sammen med perioder med lav vanntemperatur og høy primærproduksjon. Også oksygenmålingene tyder på at det er meget hyppig utskiftning av vannmassene på stasjonen.

Næringssalter i skjærgården

Ortofosfat

I likhet med langs kysten utenfor skjærgården er ortofosfatmengdene innenfor de ytterste skjærene som regel høye i dypet under 100-150 m, d.v.s. at de stort sett ligger på 0,8-1,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Fig. 17) uten noen spesiell sesongvariasjon. I likhet med lenger ute opptrer de høyeste verdiene i overflaten om vinteren og er av samme størrelse som på utsiden. I løpet av mars måned reduseres de drastisk og nærmer seg null ned til ca 20 m dyp. Reduksjonen av ortofosfatinnholdet går her enda noe dypere ned i løpet av sommeren og tidlig på høsten på samme

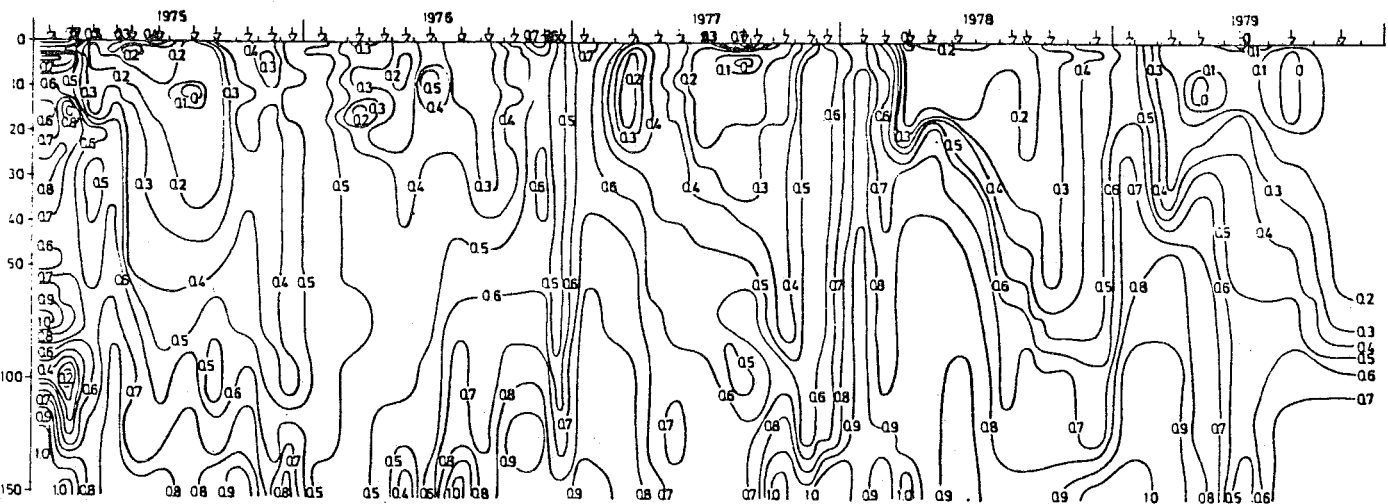


Fig. 17. Ortofosfatisoplet på st. 13 (Ruaker).

måte som utenfor. Stasjonen like syd for Torungen (Fig. 18) gir det samme bilde av ortofosfat, men siden denne stasjon ikke er dypere enn ca 50 m er verdiene om vinteren de samme fra overflaten til bunnen. Samtidig går reduksjonen om våren/sommeren helt til bunnen slik at man på denne stasjonen vil se en sesongmessig variasjon helt til bunnen. I Ærøydypet (Fig. 19) hvor største dyp er det dobbelte, er konsentrasjonene noe større og variasjonene er heller ikke så store som syd av Torungen. I de øvre vannmasser foregår variasjonene på samme måte og kan være betydelige helt ned til ca 50 m. I overflaten i mars 1977 er det relativt høye verdier spesielt i Ærøydypet, og i april ser det ut til å ha kommet opp næringsrikt dypvann. Innstrømning av mer fosfatrikt vann i dypet våren 1978 sees tydelig på både st. 11, 12 og 13 (Fig. 17, 18 og 19). De høye verdiene i overflatelaget om vinteren er alltid noe lavere enn i dypet under 100-150 m.

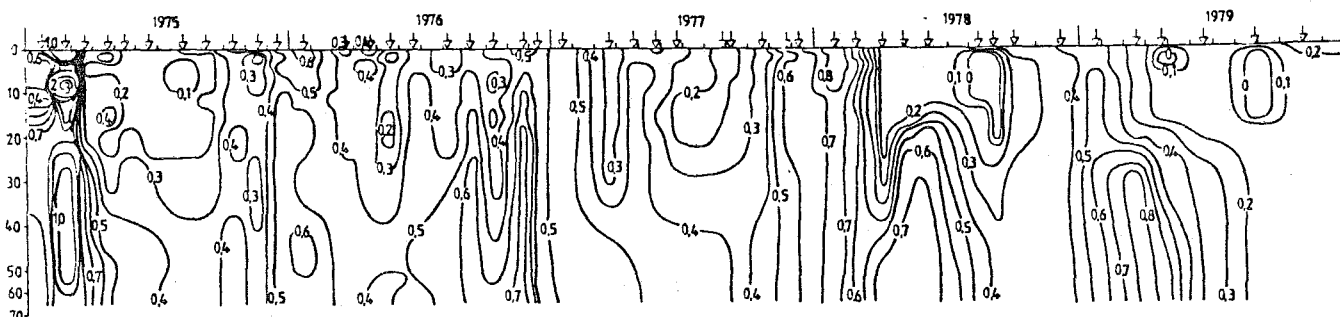


Fig. 18. Ortofosfatisoplet på st. 12 (Syd av Torungen).

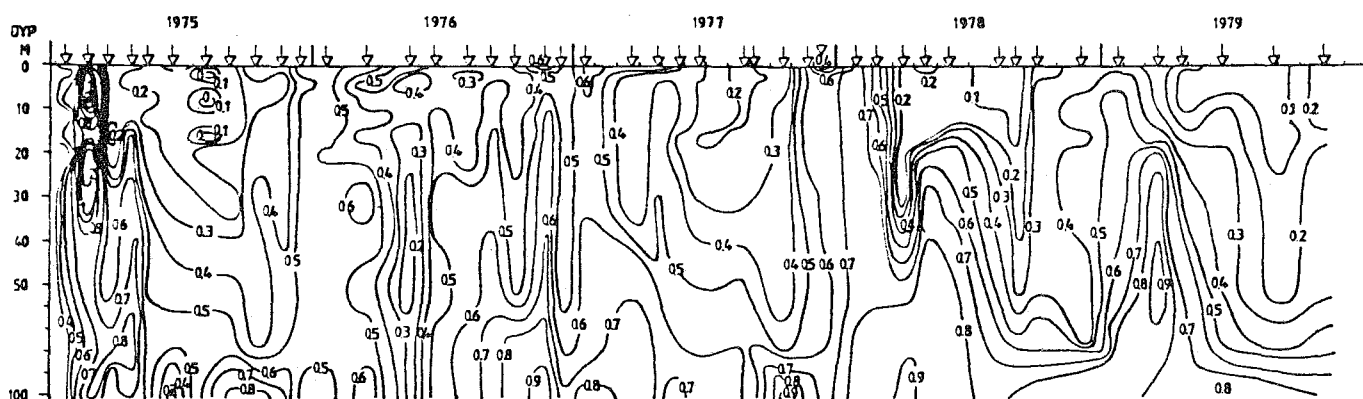


Fig. 19. Ortofosfatisoplet på st. 11 (Ærøydypet).

Ortofosfatkonsentrasjonene viser på stasjonene Sømskilen (Fig. 20) og Skjellbergholmen (Fig. 21) en tydelig årsvariasjon med høye verdier i vintermånedene og meget lave i sommerhalvåret. Enkelte ganger er det så lite tilstede at det ikke er blitt registrert.

I 10-12 m dyp i Sømskilen i motsetning til tilsvarende dyp ved Skjellbergholmen er aldri verdiene helt ned mot 0, noe som sannsynligvis skyldes at dette dypet i Sømskilen er rett over mudderbunnen. Ved sammenligning av stasjonene Skjellbergholmen og Ærøydypet sees at de varierer på samme måte gjennom undersøkelsesperioden og konsentrasjonene er også av samme størrelse.

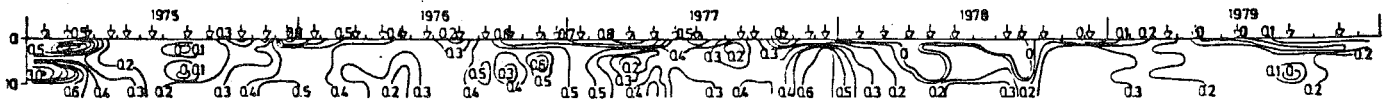


Fig. 20. Ortofosfatisoplet på st. 9 (Sømskilen).

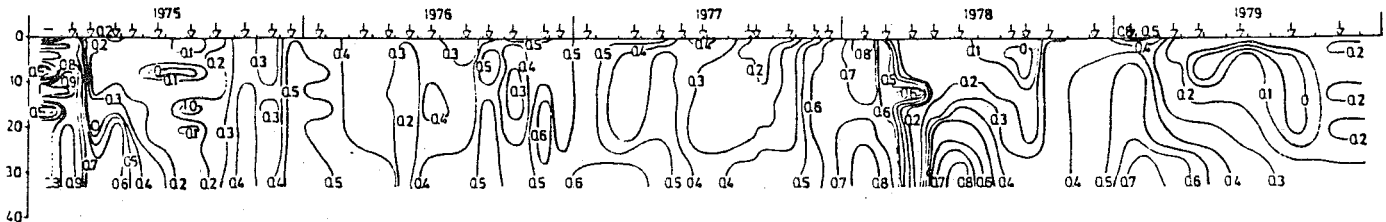


Fig. 21. Ortofosfatisoplet på st. 10 (Skjellbergholmen).

Totalt oppløst fosfor

Mengdene av total fosfor ligger ubetydelig høyere enn ortofosfatverdiene, og viser også det samme bildet gjennom hele vannmassen på stasjonene Ærøydypet, syd av Torungen og Ruaker. Verdiene går imidlertid ikke helt ned mot null under planteplanktonproduksjonen om våren og sommeren slik som ortofosfat.

Total fosfor varierer på samme måte som ortofosfat på stasjonene Sømskilen og Skjellbergholmen gjennom året og mengdene

er også ubetydelig høyere. Variasjonene gjennom undersøkelsesperioden er ganske lik den som ble funnet i blant annet Ærøydypet.

Nitrat

I dypet under ca 100 m er nitratkonsentrasjonene høye gjennom hele året i undersøkelsesperioden (Fig 22). I de øvre vannmasser på stasjonene 11, 12 og 13 varierer mengden derimot med

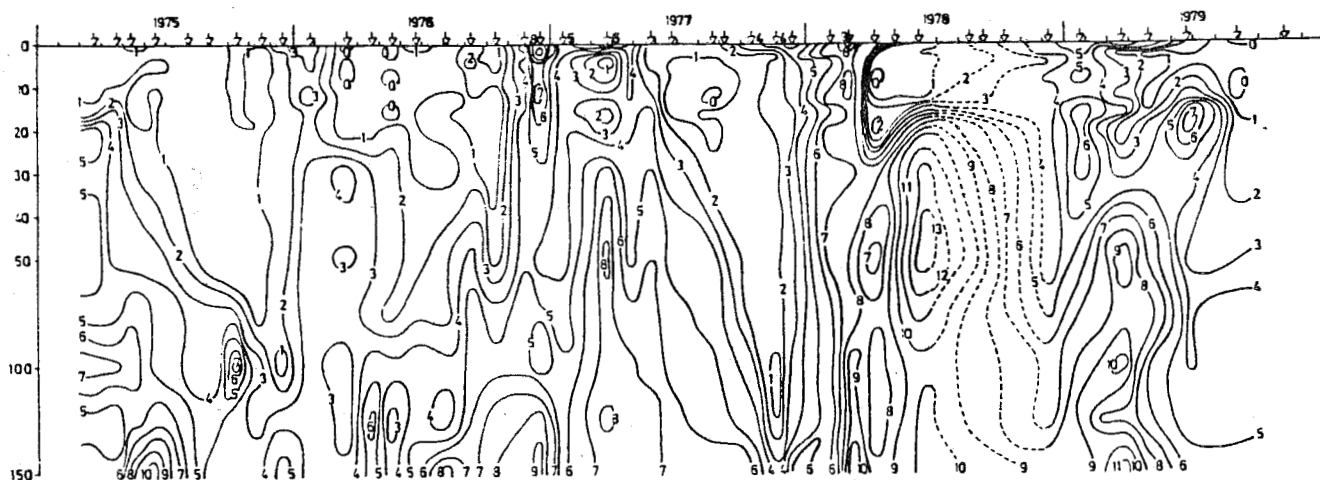


Fig. 22. Nitratisoplet på st. 13 (Ruaker).

årstiden (Fig. 22, 23 og 24). Høye konsentrasjoner opptrer senhøstes og i vintermånedene. Lave konsentrasjoner med verdier ned mot null i de øvre vannmasser finnes derimot i forbindelse med planteplanktonproduksjonen om våren og videre utover sommeren og høsten. Konsentrasjonsreduksjonen går dypest ned utover sommeren og på høsten, og går da ned til ca 50-75 m.

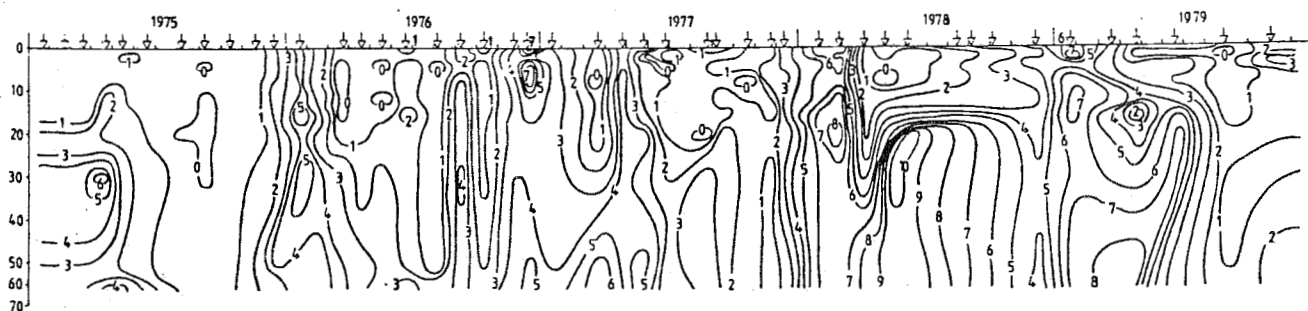


Fig. 23. Nitratisoplet på st. 12 (Syd av Torungen).

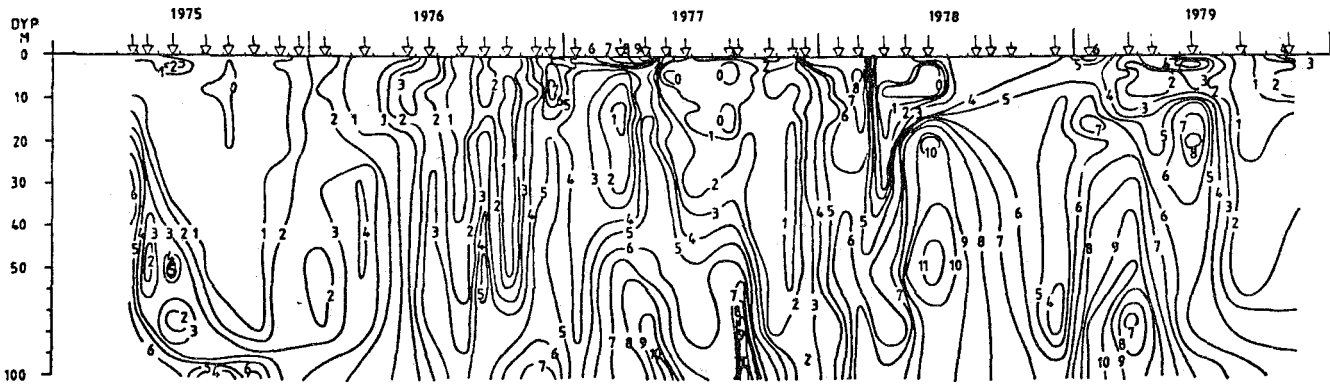


Fig. 24. Nitratisoplet på st. 11 (Ærøydypet).

Deretter kommer det en hurtig konsentrasjonsøkning ved årsskiftet. Utover sommeren og høsten 1978 skulle man imidlertid ikke dypere enn ca 20 m før det var høye konsentrasjoner i vannmassene.

Nitratmengdene varierer på stasjonene Sømskilen (Fig. 25) og Skjellbergholmen (Fig. 26) på samme måte som ortofosfat med høye verdier om vinteren og lave i sommerhalvåret på begge stasjoner. I overflaten i Sømskilen er imidlertid neste alltid verdiene høyere, og i en del tilfelle betydelig høyere enn ved Skjellbergholmen, noe som skyldes den større ferskvannspåvirkningen her fra Nidelven. Stasjonen ved Skjellbergholmen gir også når det gjelder nitrat det samme bilde som ved Ærøydypet, noe som viser at det må være god sammenheng i vannmassene på de to stedene. F. eks. i overflaten med høye verdier i februar 1978 og april 1977 og likeledes i 20 m dyp i juni 1979.



Fig. 25. Nitratisoplet på st. 9 (Sømskilen).

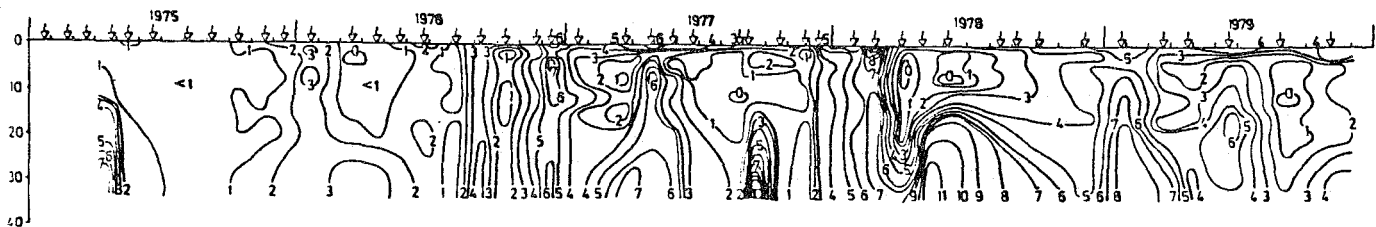


Fig. 26. Nitratisoplet på st. 10 (Skjellbergholmen).

Nitritt

Nitritt gir i likhet med nitrat stort sett det samme bilde på st. 11, 12 og 13, bortsett fra i januar 1979 da det på st. 13, i motsetning til st. 11 og 12, i en del dyp er høye konsentrasjoner av nitritt. Frem til høsten 1976 og fra senhøstes 1978 og ut undersøkelsesperioden er konsentrasjonene lave i hele vannmassen i motsetning til den mellomliggende periode. I likhet med i kystvannet synes det å være liten sesongmessig variasjon av nitritt i vannmassene, og forholdene likner de som ble funnet i kysthavet.

I likhet med nitrat viser også nitritt seg å variere på samme måte på stasjonene Sømskilen (st. 9) og Skjellbergholmen (st. 10) som i Ærøydypet. Her er også verdiene høye fra høsten 1976 til senhøstes 1978 med lave verdier i perioden før og etter. Noen sesongmessig variasjon synes det heller ikke å være her.

Ammonium

Det er god overensstemmelse mellom st. 11, 12 og 13 (Fig. 27, 28 og 29) i undersøkelsesperioden, bortsett fra fire høye enkeltverdier (aug. 1978 st. 11 i 12 m og st. 13 i 30 m, sept. 1978 st. 11 i 0 m og okt. 1978 st. 12 i 0 m). De to ovenfor nevnte prøver i 0 m kan muligens skyldes forurensning av prøven fra fartøyet. De høye konsentrasjonene i 20-30 m dyp i juni 1979 går igjen på alle tre stasjoner. De høyeste verdiene i dypet finnes stort sett midtsommers, mens det i overflatelaget er noe høyere verdier senhøstes. Noen sesongmessig sammenheng med planteplanktonproduksjon gjennom året synes det ikke å være. Derimot viser det generelle bilde stor likhet med stasjonene i kysthavet nærmest land (5 og 1 n.m.) (Fig. 12 og 13). Selv de høye enkeltverdiene i juni 1979 i 20-30 m dyp finnes igjen der.

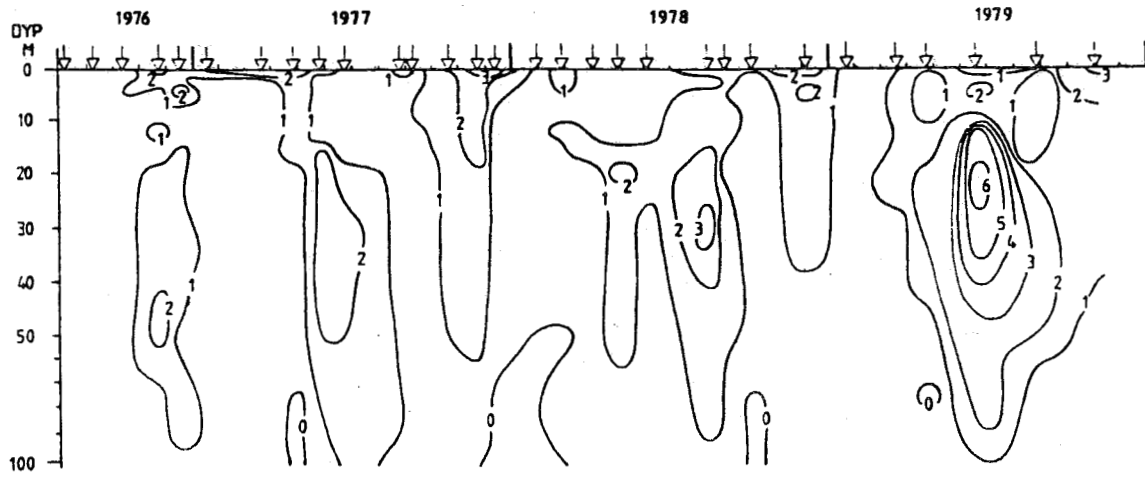


Fig. 27. Ammoniumisopleth på st. 11 (Ærøydypet).

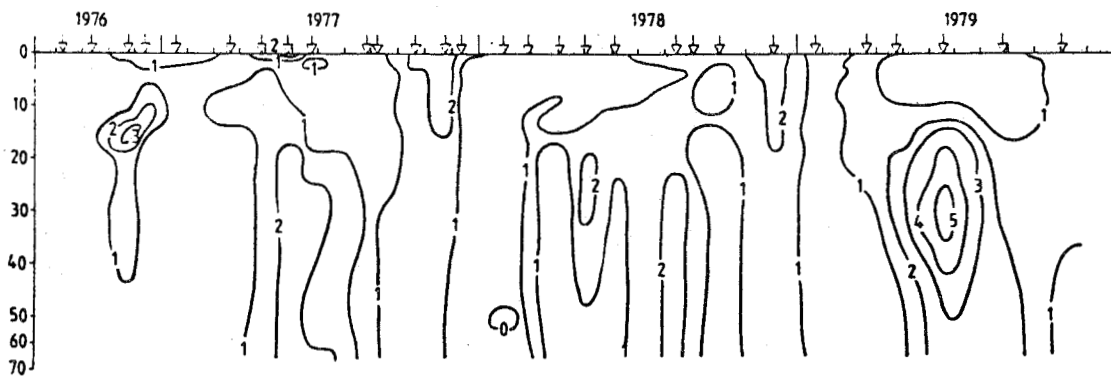


Fig. 28. Ammoniumisopleth på st. 12 (Syd av Torungen).

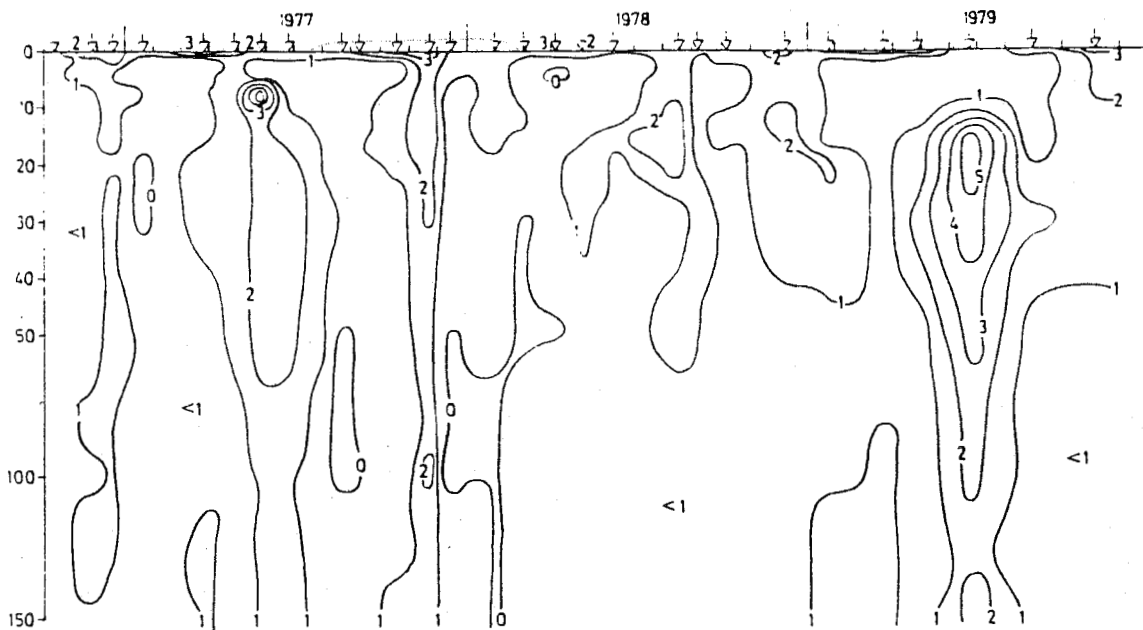


Fig. 29. Ammoniumisopleth på st. 13 (Ruaker).

På stasjonene Sømskilen (Fig. 30) og Skjellbergholmen (Fig. 31) er det høye verdier ved årsskiftet (vinteren) og tidsrommet med høye verdier er lengst i Sømskilen p.g.a. større ferskvannspåvirkning. I Sømskilen er det også noe mer ammonium nær

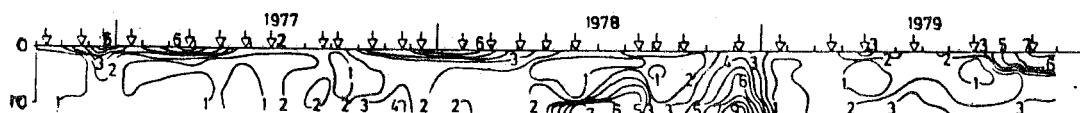


Fig. 30. Ammoniumisopleth på st. 9 (Sømskilen).

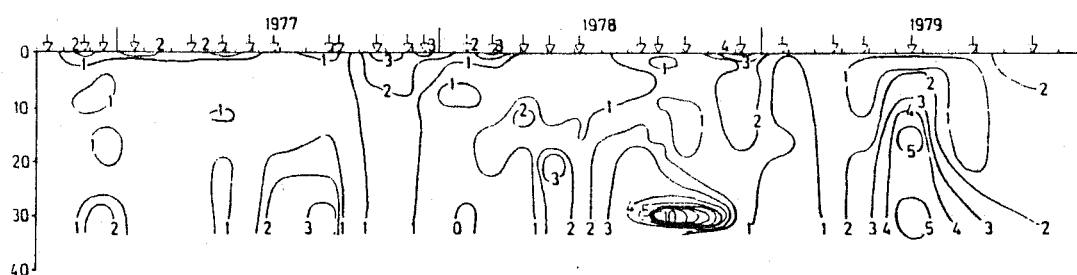


Fig. 31. Ammoniumisopleth på st. 10 (Skjellbergholmen).

bunnen enn i det tilsvarende dyp ved Skjellbergholmen. Variasjonene i undersøkelsesperioden ved Skjellbergholmen gjen speiles på stasjonen ved Ærøya, selv de meget høye verdiene omkring 20 m dyp i juni 1979 finnes igjen ved Ærøya.

Totalt oppløst nitrogen

I dypet under 75-100 m er det jevnt høye konsentrasjoner på stasjonene 11, 12 og 13 gjennom hele året i likhet med i kysthavet. I overflatelaget er det derimot en viss sesongmessig variasjon med lavere konsentrasjoner om våren og sommeren. Helt i overflaten er imidlertid konsentrasjonene enkelte ganger høyere enn dypere nede. Dette går igjen til samme tidspunkt på alle tre stasjoner. Stasjonene viser ellers det samme bilde med hensyn til variasjonene i total nitrogen i den undersøkte perioden, og likner også det som ble funnet ute i kysthavet.

Helt i overflaten er det spesielt i Sømskilen høye verdier og nesten alltid høyere enn dypere nede (tilførsler med fersk-

vannet). Der opptrer forøvrig de høyeste verdiene i vannmassene om vinteren, og de laveste om sommeren og høsten. Liknende forhold er det ned til samme dyp ved Skjellbergholmen, men dypere nede opptrer det om sommeren høye verdier av total nitrogen. Variasjonene i de dypere vannlag ved Skjellbergholmen gjen-speiles også i Ærøydypet.

Tromøysund - Galtesund

Hydrografi i Tromøysund - Galtesund

For å beskrive hydrografi og sirkulasjonsforhold i Tromøy - Galtesund, har vi valgt å beskrive nærmere forholdene på stasjonene Galtesund (st. 7), Arendal havn (st. 6) og Trollnes (st. 4).

Hydrografi på stasjon 7 Galtesund

Stasjon 7 Galtesund ligger i det sydlige utløpet av Tromøysund. Det største dyp det er tatt prøver i er 50 m. Sundet er den ene forbindelsen mellom Tromøysund og fjordarmene som går ut fra Tromøysund mot Skagerrak. Den andre forbindelsen finner vi i den østre del av Tromøysund. P.g.a. sin beliggenhet, vil ikke vannmassene på stasjonen få særlig stor oppholdstid lokalt. De hydrografiske forhold som er målt kan derfor i stor utstrekning brukes som indikator for hva slags vannmasser som strømmer inn i/forlater Tromøysund.

Særlig vil overflatelaget bli påvirket av ferskvannsavrenningen fra Nidelven og av vinddreven/tidevannsdreven transport av overflatevann fra den ytre skjærgård.

Sammenlikner en de hydrografiske forholdene på stasjonene 7 og 11, er det likheten mellom disse stasjonene som er slående. Bortsett fra mindre detaljer i variasjonene, så er forholdene, som vist nedenfor, på stasjon 7 mellom 10 m og 50 m stort sett identiske med forholdene på stasjon 11.

Temperaturforhold på stasjon 7 Galtesund

Fig. 32 viser temperaturutviklingen på stasjonen. Figuren viser at maksimumstemperaturen gjennom perioden 1975-1979 er

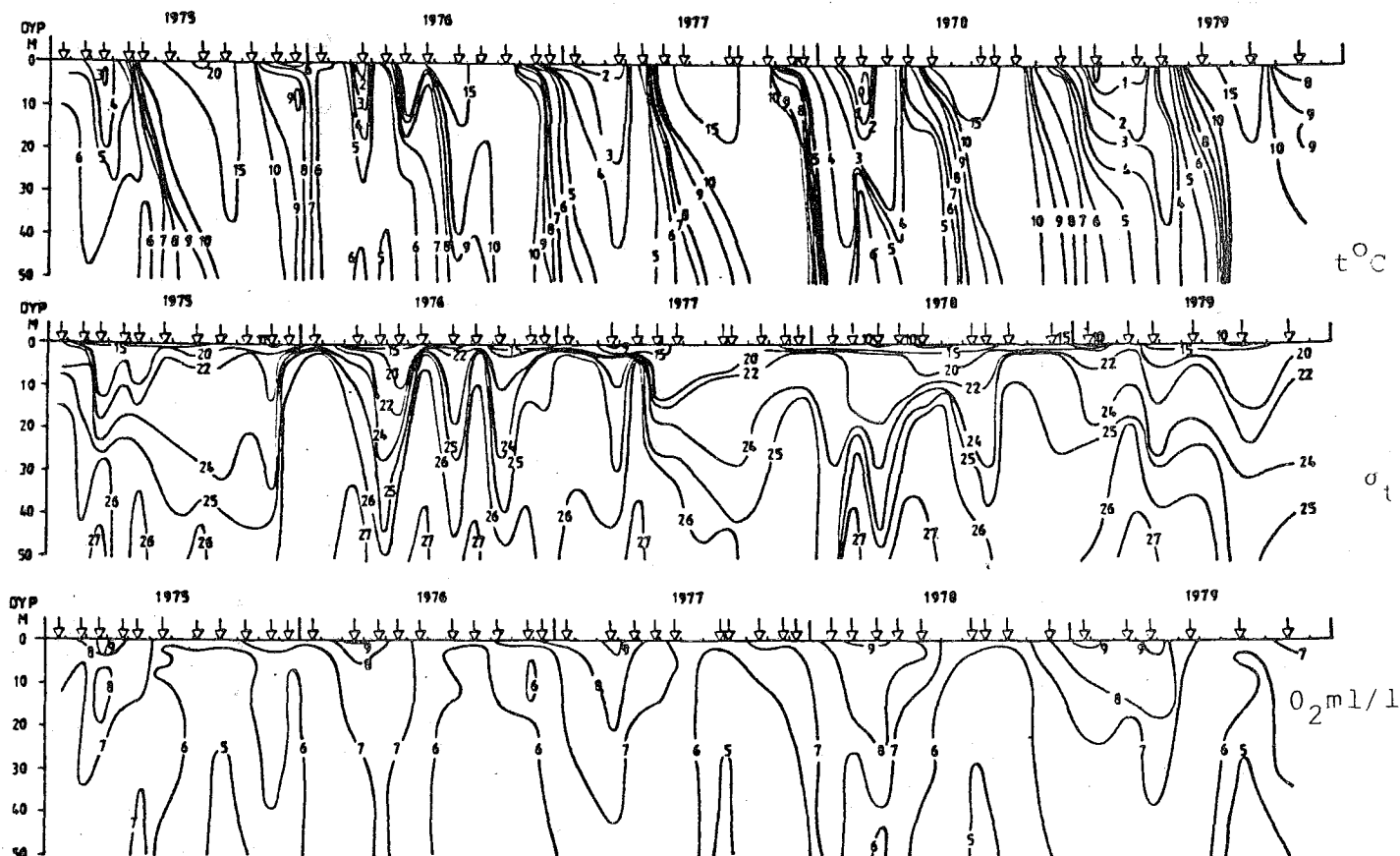


Fig. 32. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. 7 (Galtesund).

høyere enn 20°C . Dette er høyere enn hva vi fant på stasjonene ute i Skagerrak og i den ytre skjærgården, og skyldes trolig flere forhold.

For det første fører ferskvannstilførselen fra Nidelven til at det dannes en kraftig tetthetsgradient i overflaten, slik at effekten av soloppvarming gjennom dagen om sommeren blir begrenset til dette tynne øverste laget. Dermed øker temperaturen tilsvarende i overflaten. At stasjonen ligger mer beskyttet for vind enn de to andre stasjonene fører til at virkningen av vindblanding i overflatelaget blir redusert. Dermed blir ikke varmen i overflaten like effektivt blandet ned i vannmassene.

Fig. 32 viser at, bortsett fra i 1978 og 1979, inntreffer temperaturminimum samtidig i hele vannsøylen. I 1978 skyldtes dette at det fant sted innstrømning av tungt vann med relativt høy temperatur ($> 6^{\circ}\text{C}$) under den kaldeste perioden, mens det i 1979 fant sted en intermediær innstrømning i samme periode. Dette viser at temperaturfordelingen på stasjonen ikke er domi-

netert av de lokale forhold med vertikal varmetransport, men av horisontal adveksjon.

Et typisk eksempel på hvilken betydning horisontal adveksjon har for temperaturfordelingen, ser en i juni 1976. I denne perioden førte massiv innstrømning til at 10°C-isotermen ble hevet fra ca 15 m til ca 5 m. Også i august/september samme år fant det sted en intermediær innstrømning, som hevet 10°C-isotermen fra 40 m til 18 m, mens effekten av vertikal varmeledning gjennom turbulent diffusjon i denne perioden skulle være å senke 10°C-isotermen ytterligere. Etter at innstrømningen stoppet opp, ser en at nettopp dette ble tilfelle ved at 10°C-isotermen raskt sank.

De laveste temperaturene ble funnet i de øverste 5 m i overflatelaget om vinteren. Både i 1977 og i 1978 var minimumstemperaturen under 0°C, men ikke under sjøvannets frysepunkt ved den aktuelle saltholdighet.

Tetthetsforhold på stasjon 7 Galtesund

Tetthetsfordelingen på stasjonen er vist i Fig. 32. Også for tetthetsfordelingen finner en, bortsett fra de aller øverste lagene, at utviklingen stort sett er identisk med hva som ble funnet for Ærøydypet.

I overflatelaget ser en imidlertid klart påvirkningen fra ferskvannsavrenning fra Nidelven. Mens laveste tetthet som ble funnet i overflatelaget ved Ærøydypet var $\sigma_t > 18$, finner en i Galtesund tetthetsverdier så lave som $\sigma_t > 10$. I store deler av perioden finner en tetthet $\sigma_t < 15$, hvilket skyldes lavere saltholdighet, og dermed mer brakkvann.

Fig. 32 viser at det er relativt hyppige endringer i tettheten i dyplagene på stasjonen. I 1975 er det 3 klart definerte maksima i bunnvannstettheten, i 1976 finner en 4 slike maksima, i 1977 3, i 1978 finner vi 2 og i 1979 også 2. Disse maksima skyldes ikke bare massive innstrømninger til dyplagene, men også intermediære innstrømninger fra Skagerrak til områdene utenfor, som "skvulper" inn gjennom skjærgården til terskelområdet ved Galtesund.

Dette viser at også tetthetsfordelingen indikerer at vann-

massene i Galtesund ikke er stagnerende over lengre tidsrom, men er sterkt påvirket av forholdene i skjærgården utenfor. Videre finner vi også for Galtesund, som for Ærøydypet, at intermediære innstrømninger fra Skagerrak fører til vertikal homogenisering. Særlig kommer dette klar frem for periodene i januar 1976, juni/juli 1976, desember 1977 og oktober/november 1978.

De storstilte dypvannsutskiftninger som vi fant i Ærøydypet, finnes også igjen i Galtesund. I 1976 var det to slike innstrømninger, som førte til nær total utskiftning av vannmassene under 5 m. I april/juni 1978 og mars 1978 var det også sammenfallende storstilte utskiftninger.

Oksygenforhold på stasjon 7 Galtesund

Fig. 32 viser oksygenutviklingen på stasjon 7. Figuren viser at høyeste oksygeninnhold i dyplagene finner en like etter at massiv dypvannsutskiftning har funnet sted (sml. tetthetsisopletter), og at laveste verdier finnes etter lengre perioder hvor det ikke har vært slik utskiftning. Dette tyder på at det finner sted forbruk av oksygen gjennom organisk nedbrytning. Imidlertid er utviklingen så lik den som ble funnet for skjærgården (Ærøydypet, Fig. 14), at det neppe kan skyldes lokale effekter, men at det også for denne stasjonen trolig skyldes storstilte prosesser som finner sted i hele Skagerrakområdet.

Også oksygenfordelingen bidrar til opplysninger om sirkulasjonen på stasjonen. Sammenlikner en tetthets- og oksygenfordelingen for februar/mars 1977, ser en at den kraftige reduksjonen i tettheten som fant sted i de øverste 30 m faller sammen med markant reduksjon i temperaturen og økning i oksygeninnholdet til mer enn 8 ml/l O₂. Denne endringen i de øverste 30 m kan derfor ikke skyldes lokal varmetransport, eller lokal oppblanding, men må skyldes horisontal adveksjon av nye vannmasser inn i området.

Hydrografi på stasjon 6 Arendal havn

I det innerste havneområdet i Arendal er det blitt utført målinger på stasjon 6, hvor beliggenheten er vist på Fig. 1. Største dyp på Arendal havn som det er utført målinger i er 25

m. Mellom Galtesund og Arendal havn er det ifølge bunnprofilen ingen store terskler, hvilket medfører at det generelt vil være store likheter mellom den hydrografiske situasjonen på de to stasjonene. Eventuelle ulikheter vil dermed skyldes lokale forhold.

Temperaturforhold på stasjon 6 Arendal havn

I Fig. 33 har vi vist temperaturutviklingen for Arendal havn. Temperaturutviklingen under overflatelaget er nær identisk med hva en fant i Galtesund. Spesielle hendelser i Galtesund som er knyttet til innstrømninger, finner en også i Arendal havn. Således finner en igjen temperaturmaksimum i dyplaget i mai 1975, september 1976 og februar/mars 1978. Den storstilte utvikling av temperaturen i dyplaget ser dermed ut til å følge samme utvikling på Arendal havn som i Galtesund.

I overflatelaget finner en derimot signifikante forskjeller. Oppvarmingen av overflatelaget om sommeren går betydelig dypere i Galtesund (Fig. 32) enn på Arendal havn (Fig. 33). Sammenligner en tidsisoplettene for de to stasjonene, ser en at dette er tilfelle i 1975-1977, mens 15 grader isotermen når tilnærmet samme dyp i 1978 og 1979. I årene 1975-1977 forplanter også temperaturminimumet i vinterhalvåret seg dypere i Galtesund enn Arendal havn.

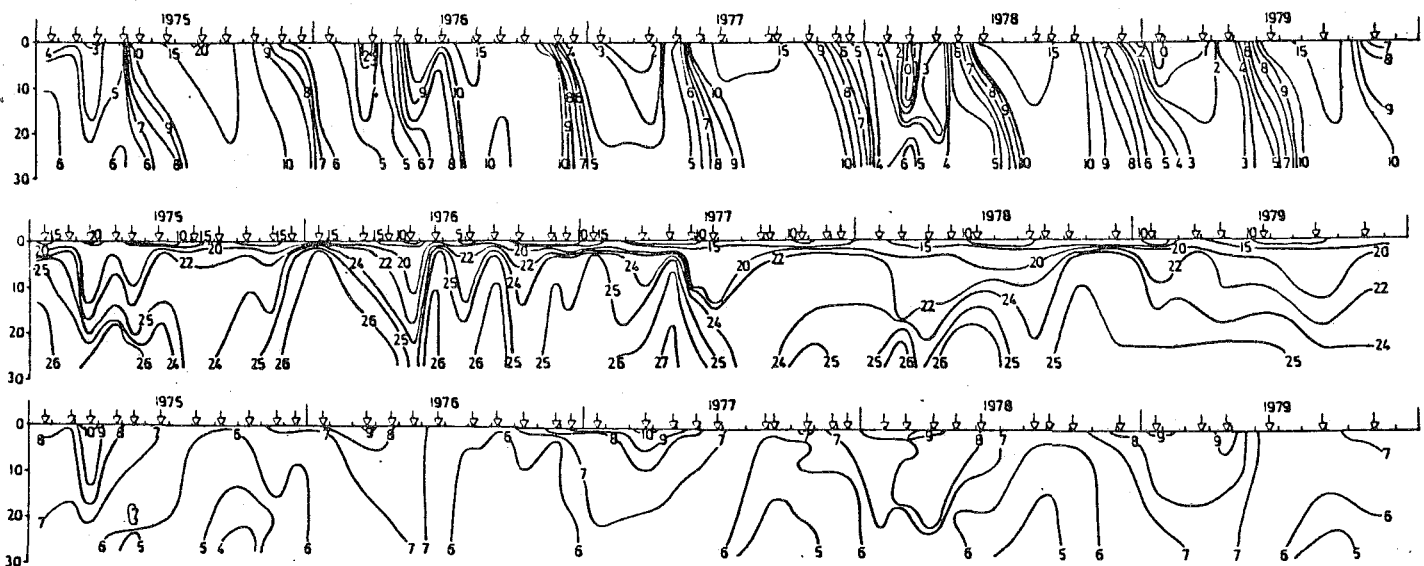


Fig. 33. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på st. 6 (Arendal havn).

Tetthetsforhold på stasjon 6 Arendal havn

Tetthetsutviklingen på Arendal havn er vist i Fig. 33. Sammenligner en med tilsvarende for Galtesund (Fig. 32), viser dette at tetthetsutviklingen i dyplagene på de to stasjonene er nær identiske. Alle variasjoner i tettheten i dyplagene fra Galtesund som indikerer utskiftninger eller stagnasjon, finner en igjen på Arendal havn.

I overflatelaget er forholdene på Arendal havn preget av nærheten til Nidelvens østlige utløp. Tettheten i de aller øverste vannlag er signifikant lavere enn hva en har funnet i Galtesund. Det må derfor foregå en betydelig innblanding av brakkvannet i overflatelaget mellom Arendal havn og Galtesund.

Oksygenforhold på stasjon 6 Arendal havn

Oksygenforholdene på Arendal havn er vist i Fig. 33. Også sammenlikning mellom oksygenforholdene på Galtesund (Fig. 32) og Arendal havn (Fig. 33) viser betydelige likheter. Imidlertid finner en på Arendal havn også forskjeller som kan tolkes som resultat av lokale forhold.

I overflatelaget er det en tendens til at oksygeninnholdet er høyere på Arendal havn enn i Galtesund under perioder om våren med oppblomstring av plankton. Dette kan dermed skyldes høyere primærproduksjon p.g.a. bedre stabilitet.

Nær bunnen finner en ofte lavere oksygeninnhold på Arendal havn enn i Galtesund. Særlig viser dette seg etter lengre perioder hvor det ikke har vært utskiftning. F.eks. fant en høsten 1975 verdier lavere enn 4 ml/l på Arendal havn, mens tilsvarende laveste verdi i Galtesund var høyere enn 4 ml/l. Dette lavere oksygeninnhold kan tolkes som resultat av høyere organisk belastning i dyplaget på Arendal havn enn i Galtesund.

Hydrografi på stasjon 4 Trollnes

For generelt å beskrive de hydrografiske forholdene i Tromøysund, har vi valgt å konsentrere oss om stasjon 4 Trollnes. Stasjonen ligger midt i Tromøysund. Største dyp som det er

blitt tatt prøver fra er 35/40 m. Terskeldypet i begge retnin-
ger gjennom Tromøysund er omlag 25 m. På denne stasjonen bør
det derfor være "optimale" betingelser for å se eventuelle
effekter på hydrografien som skyldes stagnasjon i vannmassene
eller andre lokale forhold.

Temperaturforhold på stasjon 4 Trollnes

Fig. 34 viser temperaturutviklingen på stasjon 4. Figuren
viser at høyeste temperatur i overflaten som ble målt er i

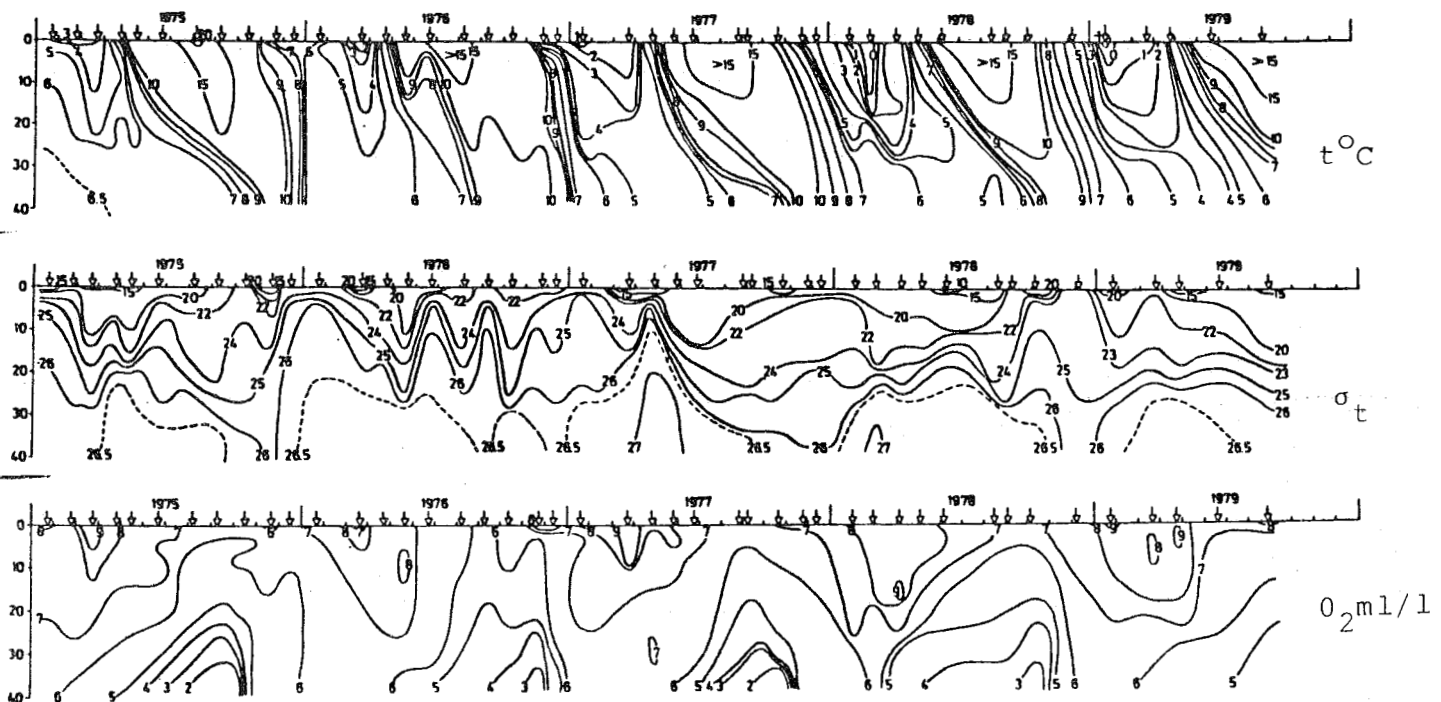


Fig. 34. Temperatur-, tetthet- og oksygenmengdeisoplet på
st. 4 (Trollnes).

overkant av 20°C , mens laveste temperatur var lavere enn
 -1°C . Gjennom alle årene viser temperaturfordelingen at tem-
peraturmaksimumet fra sommeren forplanter seg noe langsommere
med dypet på stasjon 4 enn på stasjon 7 (Galtesund). Forplant-
ningstiden for temperaturmaksima og -minima fra overflaten til
40 m er gjengitt i tabell 4.

Tabell 4

Forplantningstid for temperaturekstremer 0-35/40 m på stasjonene 4 og 7. Forplantningstid gitt i måneder.

| År | Temperaturminimum | | Temperaturmaksimum | |
|-------------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | Stasjon 4 | Stasjon 7 | Stasjon 4 | Stasjon 7 |
| 1975 | 4,5 | 1,5 | 4,0 | 3,5 |
| 1976 | 1,5 | 1,0 | 4,5 | 3,5 |
| 1977 | 5,0 | 2,0 | 4,0 | 3,5 |
| 1978 | 5,5 | 3,0 | 3,5 | 2,5 |
| 1979 | 5,0 | 2,5 | x | x |
| Middelverdi | 4,3 | 2,0 | 4,0 | 3,3 |

x = målinger finnes ikke

Tabellen viser at temperaturminimumet på stasjon 7 forplanter seg med den dobbelte hastighet av temperaturminimumet på stasjon 4 i de øverste 35/40 m. Også for vertikalforplantningen av temperaturmaksimumet finner vi at forplantningshastigheten er høyere på stasjon 7 enn på stasjon 4. Visuelt kan en se dette umiddelbart ved å sammenligne Fig. 32 og 34. Her ser en at isotermene på stasjon 4 skråner mer enn tilsvarende på stasjon 7, d.v.s. langsommere forplantningshastighet.

Fig. 34 viser at det er færre kortvarige endringer i temperaturen på Trollnes enn hva vi fant på stasjonene i Galtesund (Fig. 32) og Ærøydypet (Fig. 14). Dog finner vi bl.a. igjen de intermediære innstrømmingene i juni/juli og september/oktober 1976, som førte til heving av kaldt vann mot overflaten på alle stasjonene. Ellers er temperaturfeltet på stasjon 4 dominert av de årlige temperaturvekslingene, og ikke av kortvarige forstyrrelser som introduseres av horisontal adveksjon, som ved stasjonene utenfor.

Dersom det ikke hadde vært andre kilder til endring av temperaturen i vannmassene enn innstråling og oppvarming i overflaten, ville temperaturendringene i ethvert dyp vært en funksjon av temperaturen i overflaten og den vertikale tetthetsfordeling. Hvis vi antar at overflatetemperaturen kan tilnærmes

med en enkel periodisk funksjon, ville det være den vertikale tetthetsfordeling (vertikale tetthetsgradienter) som ville være avgjørende for eventuelt avvik fra en slik enkel periodisk funksjon for temperaturvariasjonen i alle dyp.

Ser en på Fig. 34 og på Tabell 4, ser en at temperaturmaksimum forplanter seg raskere enn temperaturminimum. Dette er en effekt av horisontal adveksjon. Dersom horisontal adveksjon ikke hadde funnet sted, ville de økende vertikale tetthetsgradienter som følge av oppvarming og redusert saltholdighet i overflatelaget føre til redusert vertikal turbulens, og dermed redusert vertikal transport av varme.

Omvendt vil redusert temperatur og økende saltholdighet i overflaten føre til reduserte vertikale tetthetsgradienter, og dermed økende vertikal turbulens, som igjen fører til økt vertikal varmetransport. Tabellen viser derfor at den horisontale adveksjon er meget viktig for temperaturutviklingen under overflatelaget.

Tetthetsforhold på stasjon 4 Trollnes

Fig. 34 viser tetthetsfordelingen på stasjonen. Tettheten i overflatelaget er gjennomgående høyere på stasjon 4 enn på stasjon 7 (Galtesund), hvilket må skyldes at en mindre del av ferskvannsavrenningen fra Nidelven finner veien inn i Tromøysund enn gjennom Galtesund.

Imidlertid er det sammenheng mellom tetthetsminima på stasjon 4 og 7 i overflaten. F.eks. finner en klare sammenfallende minima i november 1975, mars 1976, mars 1977, juni 1978 og mai 1979. Felles for disse minima er imidlertid at de opptrer under flomsituasjoner i Nidelven.

Mellom overflatelaget (0-5 m) og terskeldypet (25-30 m) er det en nær sammenheng mellom tetthetsutviklingen på Trollnes og i Galtesund. Tabell 5 viser intermediære og dypvannsinnstrømninger som vi finner igjen på stasjon 4 og 7.

Tabell 5

Tidspunkter for innstrømninger/utskiftninger til Galtesund (st. 7) og Trollnes (st. 4).

| Måned/år | Galtesund | | Trollnes | | Kombinasjon |
|----------------|-----------|-------------|----------|-------------|-------------|
| | Dypvann | Intermediær | Dypvann | Intermediær | |
| Mars/april 75 | X | Y | x | | XY/x |
| Mai/juni 75 | X | | | Y | X/y |
| August 75 | X | | | | X/- |
| Oktober 75 | | Y | x | | Y/x |
| Januar 76 | X | Y | x | | XY/x |
| Mars 76 | X | | | | X/- |
| April 76 | | Y | | Y | Y/y |
| Juni 76 | X | | | Y | X/y |
| September 76 | X | | | Y | X/y |
| November 76 | X | | | | X/- |
| Januar 77 | X | | x | | X/x |
| April 77 | X | Y | x | | XY/x |
| Desember 77 | | Y | x | | Y/x |
| Februar 78 | X | | x | | X/x |
| April 78 | | Y | | | Y/- |
| Juni 78 | X | | | Y | X/y |
| Oktober/nov 78 | | Y | x | | Y/x |
| Mars 79 | X | | x | | X/x |
| Juni 79 | | Y | | Y | Y/y |

Sammenligner vi videre hva slags utskiftninger på Trollnes som finner sted etter dypvannseller intermediære innstrømninger til Galtesund, får vi følgende sammenheng (Tabell 6):

Tabell 6

Sammenheng mellom innstrømmingstyper i perioden 1975-1979. Stasjon 4 Trollnes sammenlignet med stasjon 7 Galtesund

| Innstrømmingstype | Innstrømning i Galtesund | Innstrømning til Trollnes | | |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|----------|---------------|
| | | Intermediær | Dypvann | Ikke påvisbar |
| Intermediær | 6 | 1 | 3 | 1 |
| Intermediær/dypvann | 3 | 1 | 3 | 0 |
| Dypvann | 9 | 4 | 3 | 2 |
| Totalt | 18 | 6 | 9 | 3 |

Tabell 6 viser at av totalt 18 innstrømningshendelser som ble registrert i Galtesund, førte 15 til påvisbare innstrømninger til Trollnes. Tabellen viser videre at når innstrømning, enten det er intermidar eller dypvannsinnstrømning, finner sted ved Galtesund, er det større mulighet for dypvannsutskiftning enn for intermediar utskiftning ved Trollnes.

Oksygenforhold på stasjon 4 Trollnes

Fig. 34 viser oksygenutviklingen på stasjon 4. I vannlagene over 20 m finner vi årlige oksygenmaksima som er nært knyttet til temperaturutvikling og primærproduksjon.

I vannmassene under terskeldypet, d.v.s. dypere enn 20 m, er derimot forholdene meget forskjellige fra hva vi tidligere har funnet ved de andre stasjonene. I de 4 årene som vi har målinger fra om høsten, viser målingene at det i løpet av sommeren og høsten danner seg et oksygenminimum i dyplaget, slik at innholdet alle 4 årene synker til under 3 ml/l, og 2 av årene synker under 2 ml/l. Ut fra oksygenmålingene har en beregnet oksygenforbruket i 35/40 m som vist i Tabell 7.

Tabell 7

Oksygenforbruk på stasjon 4 Trollnes, 35/40 m.

| År | Høyeste målte verdi ml/l | Laveste målte verdi ml/l | Midlere forbruk ml/l/dag |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1975 | 6,8 | 1,5 | 0,020 |
| 1976 | 6,9 | 2,3 | 0,015 |
| 1977 | 6,8 | 1,5 | 0,030 |
| 1978 | 6,2 | 2,4 | 0,022 |
| Middelverdi beregnet som midlere forbruk over alle årene lagt sammen | | | 0,021 |

Forbruket er av samme størrelsesorden som tidligere funnet i indre Oslofjord (Føyn 1962), Frierfjorden (Danielssen og Føyn 1973), Tvedestrandsfjorden (Danielssen 1981) og Sandnesfjorden (Danielssen 1981). Det må derfor skyldes nedbrytning av orga-

nisk materiale under stagnerende forhold. Under forutsetning av konstant forbrukshastighet, er det mulig å beregne antall dager fra høyeste målte verdi, og til anoksiske forhold ville ha inntruffet hvert år, dersom det ikke hadde funnet sted en utskifting. Dette er vist i Tabell 8.

Tabell 8

Beregnet årlig inntreden av anoksiske forhold på stasjon 4 (Trollnes) dersom det ikke hadde funnet sted noen innstrømning i 35/40 m.

| År | Innstrømning avsluttet Observervert dato | Anoksiske forhold Beregnet dato | Ny innstrømning Observervert dato |
|------|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1975 | 22. jan | 1. jan 1976 | 20. nov 1975 |
| 1976 | 21. jan | 26. apr 1977 | 13. des 1976 |
| 1977 | 26. apr | 8. des 1977 | 24. nov 1977 |
| 1978 | 28. feb | 21. jan 1979 | 5. des 1978 |

Som det går frem av resultatene i Tabell 8, er disse beregningene beheftet med stor usikkerhet. Den største usikkerheten skyldes at avstanden i tid mellom toktene er 30-60 døgn. Den totale usikkerheten i beregningen av oksygenforbruket blir dermed $\pm 50\%$. Tar vi hensyn til dette i Tabell 7, blir det midlere oksygenforbruket 0,01-0,03 ml/l/dag.

Oksygenmålingene har sammen med målinger av temperatur og saltholdighet avslørt et fenomen som en vanligvis ikke finner i norske fjorder. I alle årene som vi har målinger fra, har vi funnet at utskifting av dypvannet som fører til økning i oksygeninnholdet, kan skje uten at det finner sted noen økning av tettheten i dypvannet. Dog er tilsvarende tidligere påvist i Oslofjorden (Beyer 1971) og Frierfjorden (Dahl 1982, s. 54). Dette er imidlertid resultater som har fremkommet etter meget omfattende målinger og dataanalyser.

Tradisjonell teori om utskifting av dypvann i fjorder forutsetter økning i tettheten for å kunne konstatere utskifting. På stasjon 4 finner vi derimot fortsatt reduksjon i tettheten under og etter at utskifting har funnet sted. Tabell 9 viser temperatur, saltholdighet og oksygeninnhold i 35 m før og etter at oksygenminimumet i dyplaget er skiftet ut.

Tabell 9

Hydrografiske forhold før og etter utskiftning har startet.
Stasjon 4.

| År | | Temperatur °C | Saltholdighet o/oo | Tetthet | Oksygeninnhold ml/l |
|------|-------|------------------|-----------------------|---------|------------------------|
| 1975 | Før | 8,02 | 33,619 | 26,208 | 1,5 |
| | Etter | 11,21 | 33,839 | 25,854 | 5,3 |
| 1976 | Før | 9,48 | 34,306 | 26,517 | 2,3 |
| | Etter | 10,18 | 34,043 | 26,194 | 4,6 |
| 1978 | Før | 6,95 | 33,970 | 26,636 | 2,4 |
| | Etter | 9,85 | 33,639 | 25,936 | 6,0 |

1977 er sløffet fordi en i dette året bare har data fra 30 m like før og etter utskiftning.

Bortsett fra i 1977, hvor vi ikke har tilstrekkelig data, viser målingene at utskiftning av det oksygenfattige vannet er resultat av en prosess hvor:

- temperaturen øker
- tettheten avtar

i dypvannet.

For å vise i mer detalj hvordan dette foregår, har vi i Fig. 35 vist tidsutviklingen for O_2 , temperatur og tetthet i 35 m dyp på stasjon 4 i april-desember 1975. Figuren viser flere forhold som ikke er umiddelbart åpenbare.

Fra august til september stiger tettheten uten endret trend i temperatur og O_2 . Tetthetsøkningen skyldes økning i saltholdigheten, og indikerer dermed at det har skjedd en tilførsel av vann fra en av nabo-bassengene, hvor temperaturøkning og oksygenforbruk er noenlunde tilsvarende hva en finner på Trollnes, og hvor reduksjonen i oksygeninnholdet ikke viser noen endret trend. Tilførselen kan imidlertid ikke ha kommet lokalt fra stasjon 3 eller 5, for på disse stasjonene fantes det ikke vann med høy saltholdighet i denne perioden. En gjenstående mulighet er dermed intermediær innstrømning fra

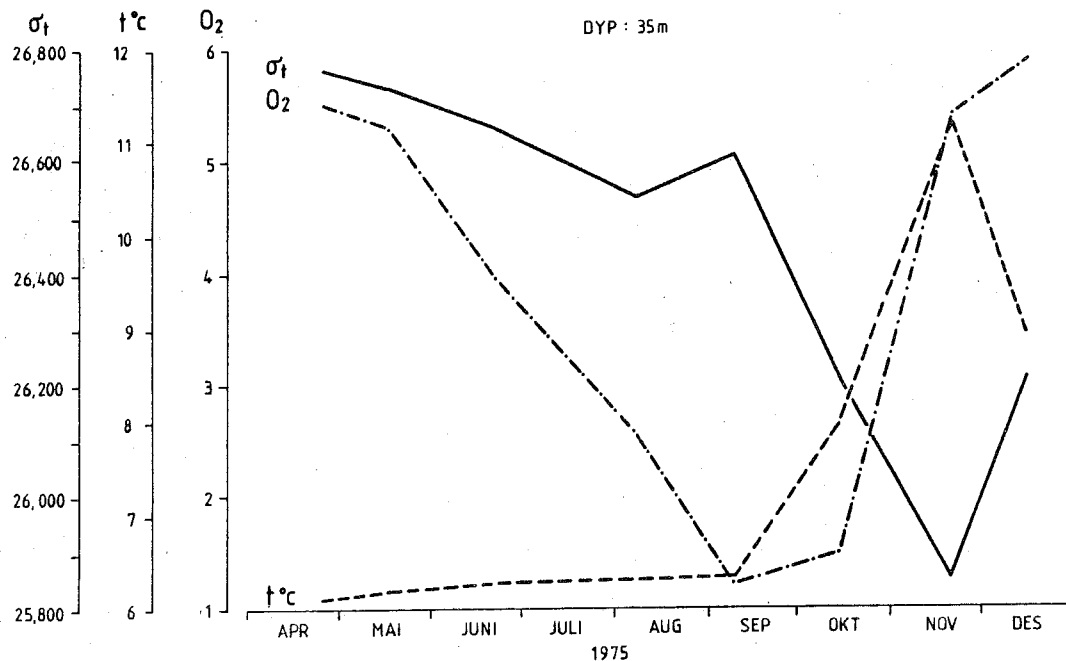


Fig. 35. Forandringer i temperatur, tetthet og oksygenmengde i 35 m dyp på stasjon 4 (Trollnes) i tiden april til desember 1975.

Skagerrakområdet som er blitt oppblandet med gammelt vann i de bassengene som det har strømmet gjennom.

Fra september og ut året økte oksygeninnholdet i dypvannet på stasjon 4, økningen var meget kraftig fra oktober til november. Frem til slutten av november fortsatte imidlertid tettheten å synke, selv om saltholdigheten steg fra midten av oktober. Igjen er en tilførsel av vann med høyere saltholdighet eneste forklaring på økningen i oksygeninnholdet. At tettheten synker selv om saltholdigheten stiger skyldes at det innstrømmende vannet er varmere enn det gamle dypvannet.

Tradisjonell hydrostatisk teori forutsetter at det innstrømmende vannet er tyngre enn det stagnerende, for at det innstrømmende vannet skal kunne synke og danne nytt bunnvann. Imidlertid gis det også en annen mulighet ut fra dynamiske betraktninger.

Dersom det innstrømmende vannet har stor horisontal hastighet, vil det i grenseområdet mellom det stagnerende og innstrømmende vannet dannes hvirvler som følge av blanding mellom de to vannmassene. Utstrekningen av disse hvirvlene er tilnærmet omvendt proporsjonal med tetthetsforskjellen mellom de to

vannmassene. Dersom tetthetsforskjellen ikke er stor, og hastigheten på det innstrømmende vannet er stor, vil de hvirvler som dannes av de to vannmassene erodere det underliggende vannet, samtidig som de to vannmassene i grenselaget blandes, og det dannes en ny tredje vannmasse. Dersom denne prosessen pågår tilstrekkelig lenge, vil det gamle dypvannet helt kunne erstattes av nytt vann som har lavere tetthet.

Næringssalter i Tromøysund-Galtesund

Ortofosfat

Ortofosfatisoplettene for stasjonene i Tromøysund og st. 1 (Tromøy Øst) er vist på Fig. 36, og fra Arendal havn og ut Galtesund på Fig. 37 Stasjonen Tromøy Øst som ligger på utsiden av Tromøya viser de samme variasjonene gjennom undersøkelsesperioden som stasjonene utenfor skjærgården lenger vest (eks. syd av Torungen eller Hesnessnittet). Når bunnen er det alltid ortofosfat tilgjengelig. Da reduksjonen i de øvre vannlag går dypere ned i vannmassene på ettersommeren og høsten, finnes de laveste konsentrasjonene nær bunnen på denne tiden. Vinterstid før planteplanktonproduksjonen begynner er det høye konsentrasjoner helt opp til overflaten.

Stasjon 2 ved Hastensund lengst øst i Tromøysund viser de samme variasjonene som stasjonen på utsiden av Tromøya. Det viser seg også at alle de andre stasjonene innover i Tromøysund helt inn til Arendal havn gir det samme bilde i undersøkelsesperioden. På to av stasjonene, Frisøy og Trollnes, er imidlertid verdiene nær bunnen noe høyere enn vanlig. Dette er to dype partier i sundet hvor det som tidligere nevnt er en viss stagnasjon i vannmassene.

Verdiene av ortofosfat fra Galtesund og ut til lille Torungen viser også det samme resultat som i Tromøysund, med de samme variasjonene gjennom undersøkelsesperioden.

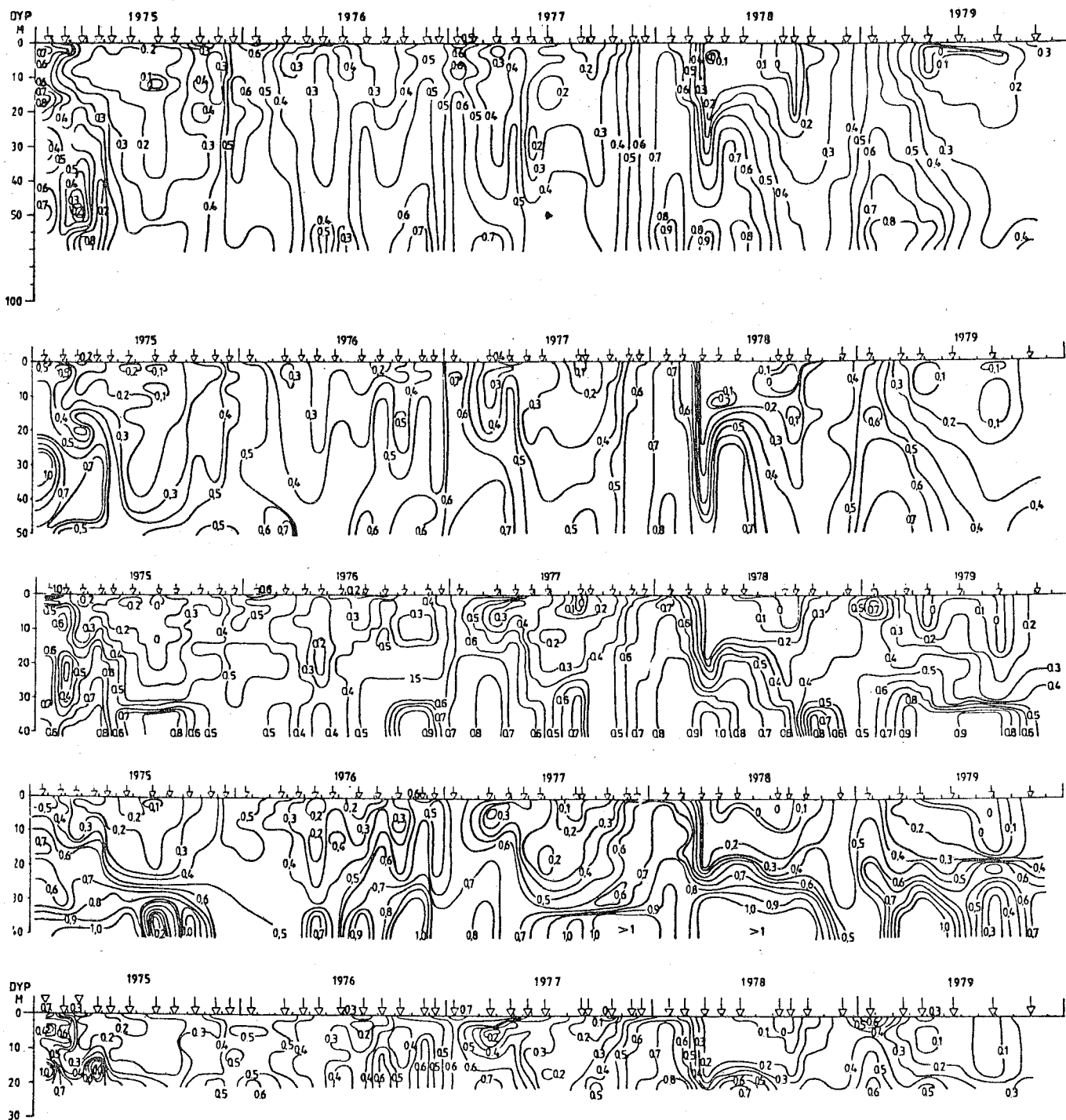


Fig. 36. Ortofosfatisoplettene på stasjonene i Tromsøysund og på utsiden av Tromsøya. a) st. 1 (Tromsø Øst), b) st. 2 (Hastensund), c) st. 3 (Frisøy), d) st. 4 (Trollnes) og e) st. 5 (Songekilen).

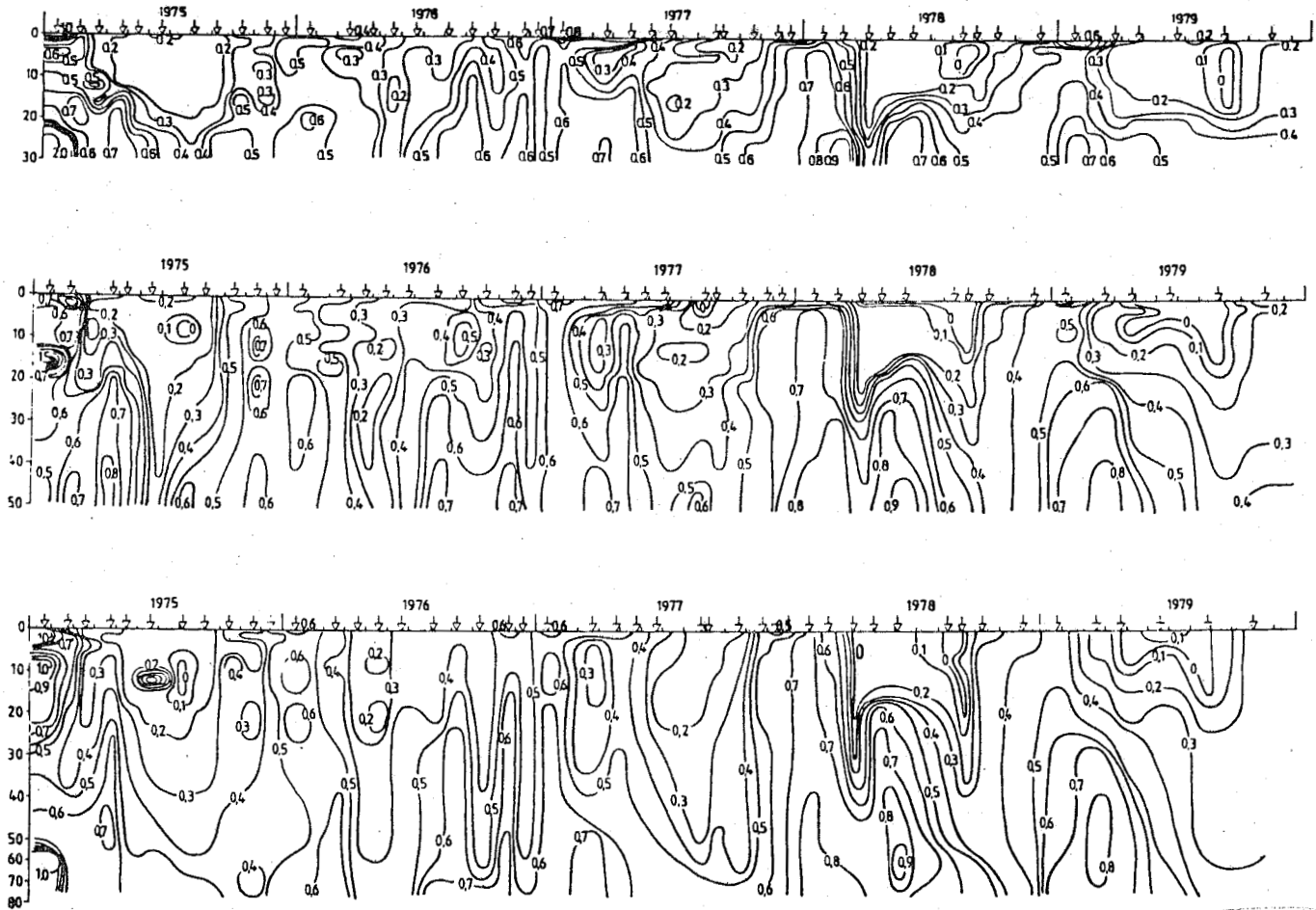


Fig. 37. Ortofosfatisoplettene på a) st. 6 (Arendal havn), b) st. 7 (Galtesund) og c) st. 8 (Lille Torungen).

Totalt oppløst fosfor

Denne parameter varierer på samme måte som ortofosfat på alle stasjonene og konsentrasjonene er bare ubetydelig høyere enn denne.

Nitrat

Nitratisoplettene for stasjonene i Tromøysund og st. 1 (Tromøy Øst) er vist på Fig. 38, og fra Arendal havn og ut Galtesund på Fig. 39. Nitratmengden viser også i høy grad det

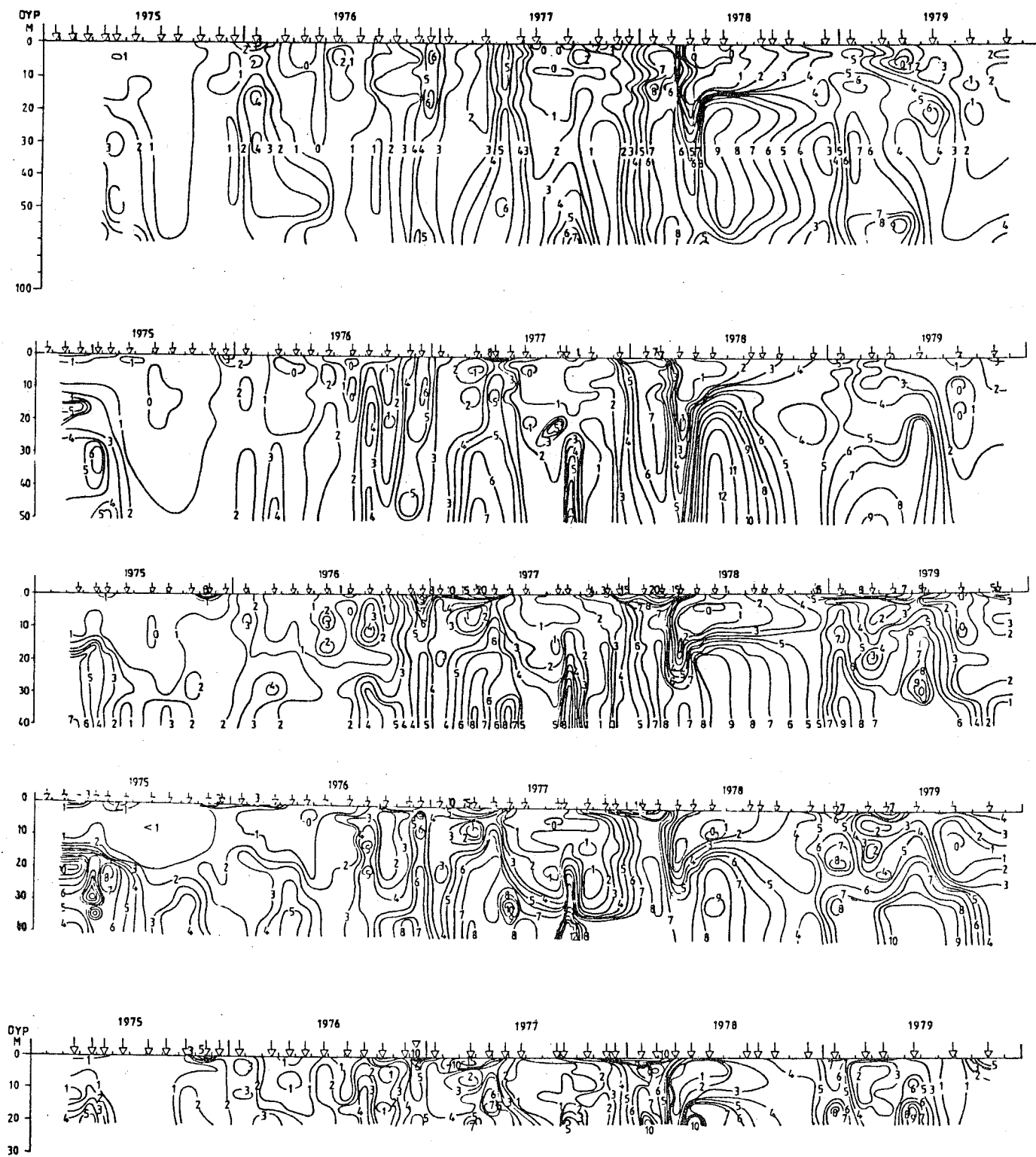


Fig. 38. Nitratisoplettene på stasjonene i Tromøysund og på utsiden av Tromøya. a) st. 1 (Tromøy Øst), b) st. 2 (Hastensund), c) st. 3 (Frisøy), d) st. 4 (Trollnes) og e) st. 5 (Songekilen).

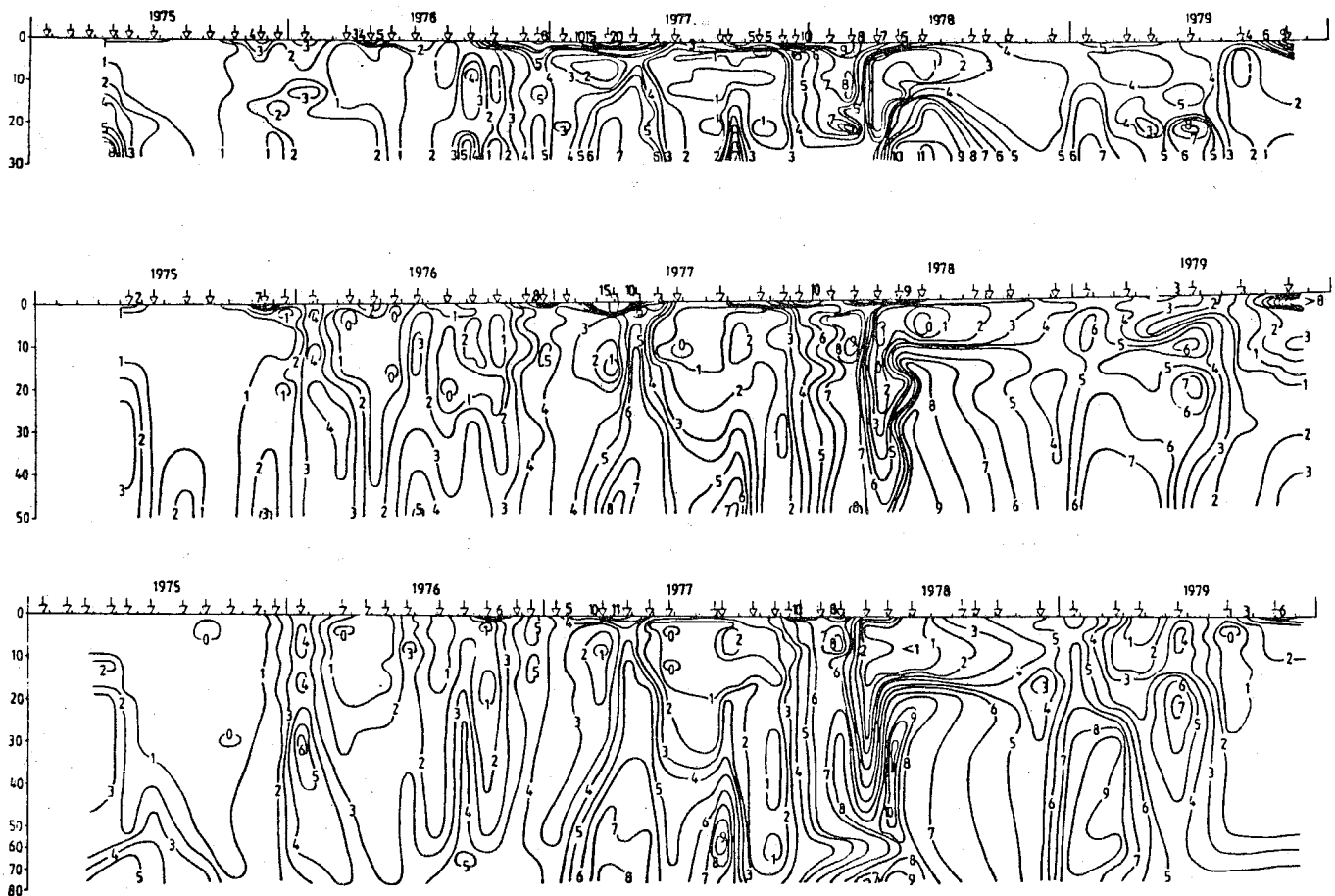


Fig. 39. Nitratisoplettene på a) st. 6 (Arendal havn), b) st. 7 (Galtesund) og c) st. 8 (Lille Torungen).

samme bilde gjennom hele Tromøy- og Galtesund som på utsiden (stasjon Tromøy Øst). En forskjell er imidlertid at det til visse tider fra høsten og utover mot våren er høyere verdier i overflatelaget inne i Tromøy- og Galtesund enn utenfor. Dette skyldes tilførsler med ferskvannet til området.

Nitritt

Nitritt varierer på samme måte på alle stasjonene helt fra Tromøy Øst og gjennom Tromøy- og Galtesund gjennom hele under-

søkelsesperioden. Det synes ikke å være noen direkte sesongmessig variasjon av nitritt. Konsentrasjonene er også gjerne av samme størrelsesorden gjennom vannmassene fra overflaten og ned mot bunnen på samme tidspunkt.

Ammonium

Ammoniumisoplettene for stasjonene i Tromøysund og st. 1 (Tromøy Øst) er vist på Fig. 40, og fra Arendal havn og ut Galtesund på Fig. 41. På stasjon 1 utenfor Tromøy finnes de høyeste verdiene om sommeren og da fra bunnen og helt opp mot overflatelaget med de høyeste verdiene i et midlere dyp (omkring 30 m). Senhøstes i 1977 er verdiene også høye med de største konsentrasjonene enda nærmere overflaten (ca 10 m dyp). Det samme bilde går igjen innover i Tromøy- og Galtesund. De høye verdiene er imidlertid enda høyere her, og spesielt gjelder det nær bunnen på stasjon 3 og 4 i de to dype kulpene. Her er konsentrasjonene opptil 2-3 ganger høyere enn på de andre stasjonene. Dessuten er det i et par tilfeller høye konsentrasjoner i overflaten inne i Tromøy- og Galtesund. Dette gjelder fra høsten 1976 og utover våren 1977 og i den samme perioden i 1977/78. Dette har sannsynligvis sammenheng med ferskvannsavrenningen. Dette sees igjen også ute på stasjon 8 (Lille Torungen), men her begynner bildet å likne mer på stasjon 1 hva angår størrelsen av konsentrasjonene.

Totalt oppløst nitrogen

I likhet med i de andre områdene er ofte konsentrasjonen noe høyere helt i overflaten enn litt dypere nede. Konsentrasjonen er noe lavere i de øvre vannlag om sommeren og tidlig på høsten, men noen stor sesongmessig variasjon er det ikke.

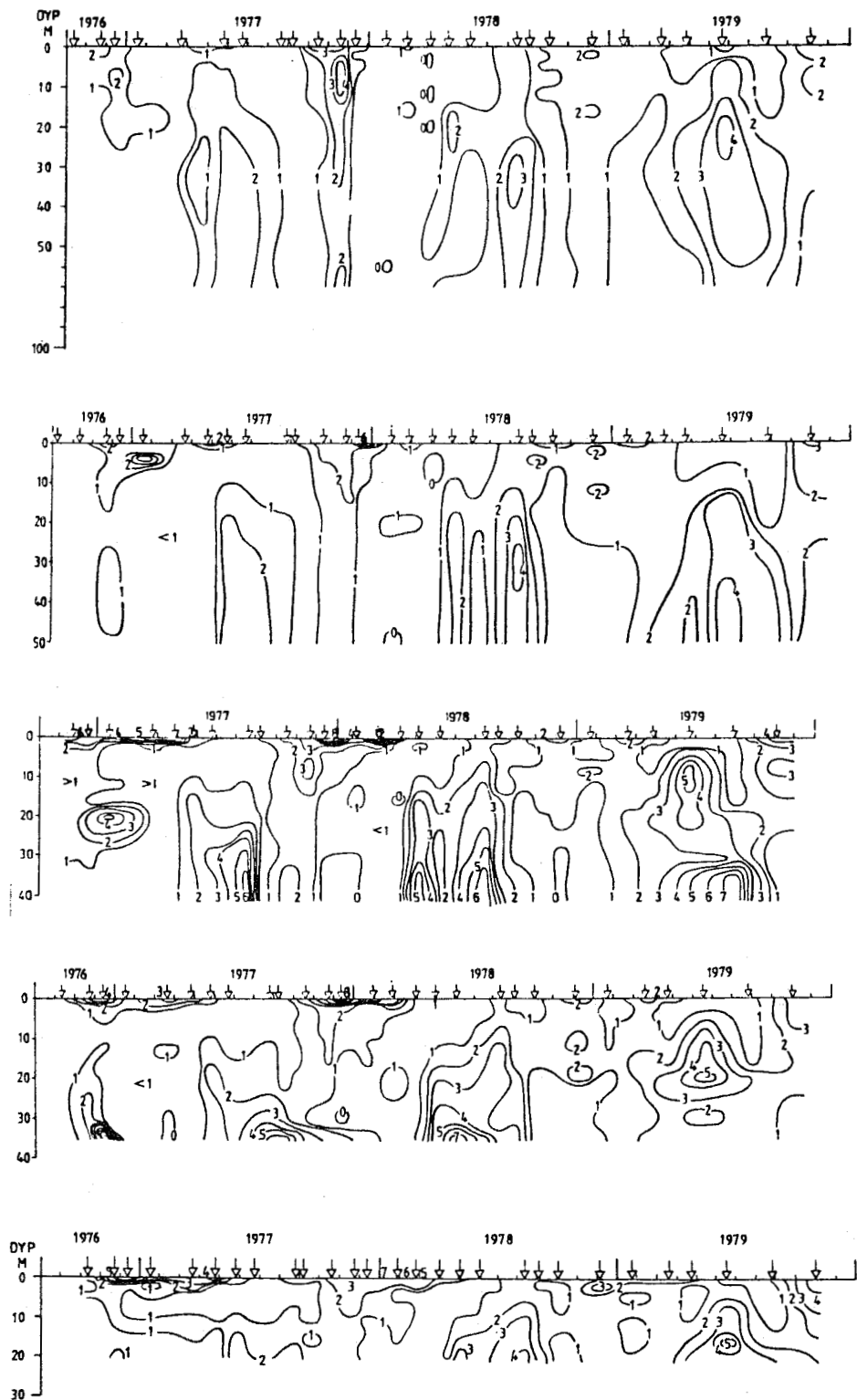


Fig. 40. Ammoniumisoplettene på stasjonene i Tromsøysund og på utsiden av Tromsøya. a) st. 1 (Tromsø Øst), b) st. 2 (Hastensund), c) st. 3 (Frisøy), d) st. 4 (Trollnes) og e) st. 5 (Songekilen).

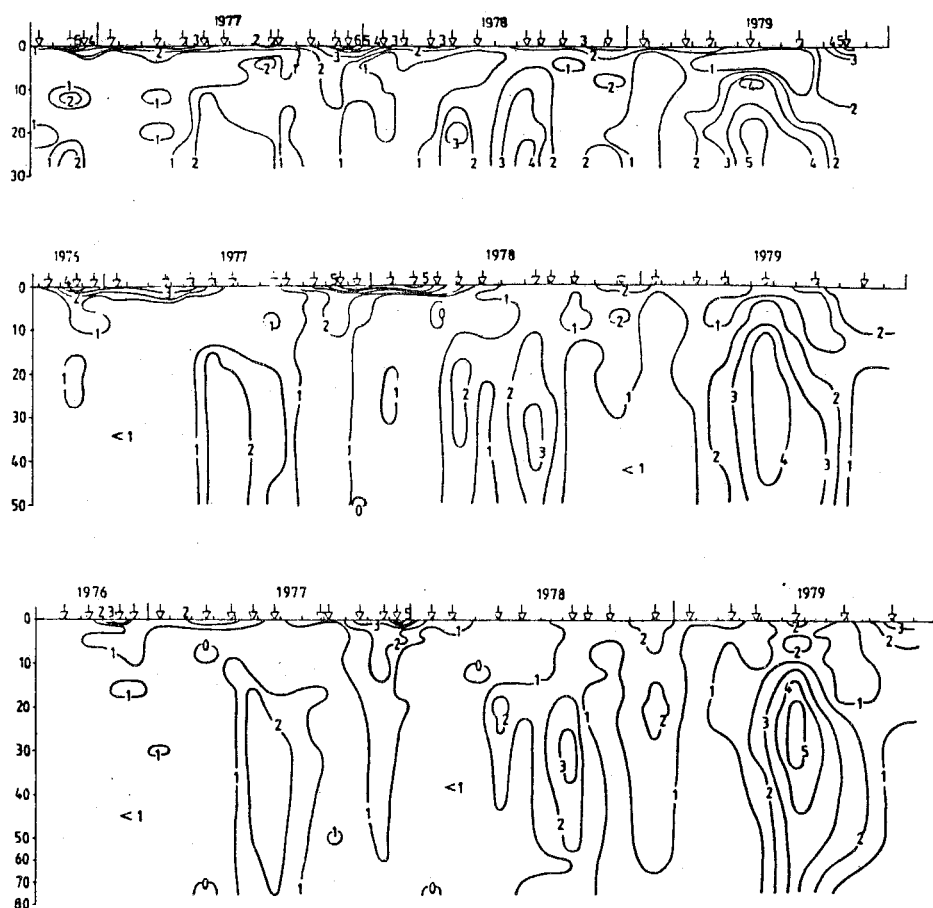


Fig. 41. Ammoniumisoplettene på a) st. 6 (Arendal havn), b) st. 7 (Galtesund) og c) st. 8 (Lille Torungen).

Sammenligning av hydrografiske forhold og oksygenutvikling i Tromøysund - Galtesund

For bedre å kunne sammenligne den hydrografiske utvikling på alle stasjonene som ligger innenfor skjærgårdsområdet, har vi i Fig. 42 vist tetthetsutviklingen for stasjonene

- 3 Frisøy
- 4 Trollnes
- 5 Songekilen
- 6 Arendal havn
- 7 Galtesund

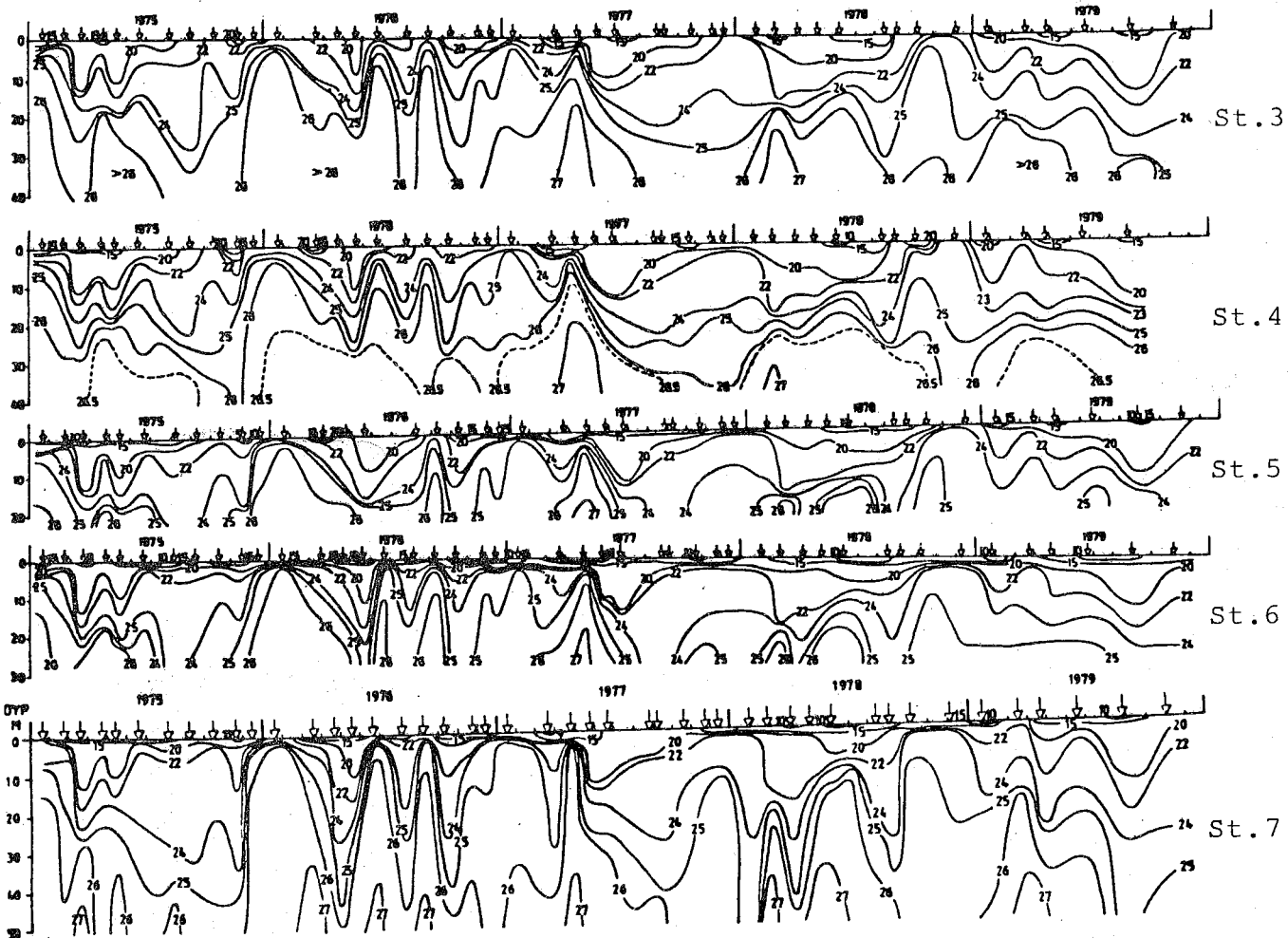


Fig. 42. Tetthetsisopletter i Tromsø/Galtesund. a) st. 3 (Frisøy), b) st. 4 (Trollnes), c) st. 5 (Songekilen), d) st. 6 (Arendal havn) og e) st. 7 (Galtesund).

Tilsvarende har vi i Fig. 43 vist oksygenutviklingen. Figuren viser umiddelbart at det er store likheter mellom utviklingen på de enkelte stasjoner. F.eks. finner en igjen på alle stasjoner de storstilte dypvannsutskiftninger i

april 1975

januar 1976

juni 1976 (målinger mangler på stasjon 5)

september 1976

april 1977

februar 1978

november/desember 1978

mars 1979 (ikke på stasjon 6)

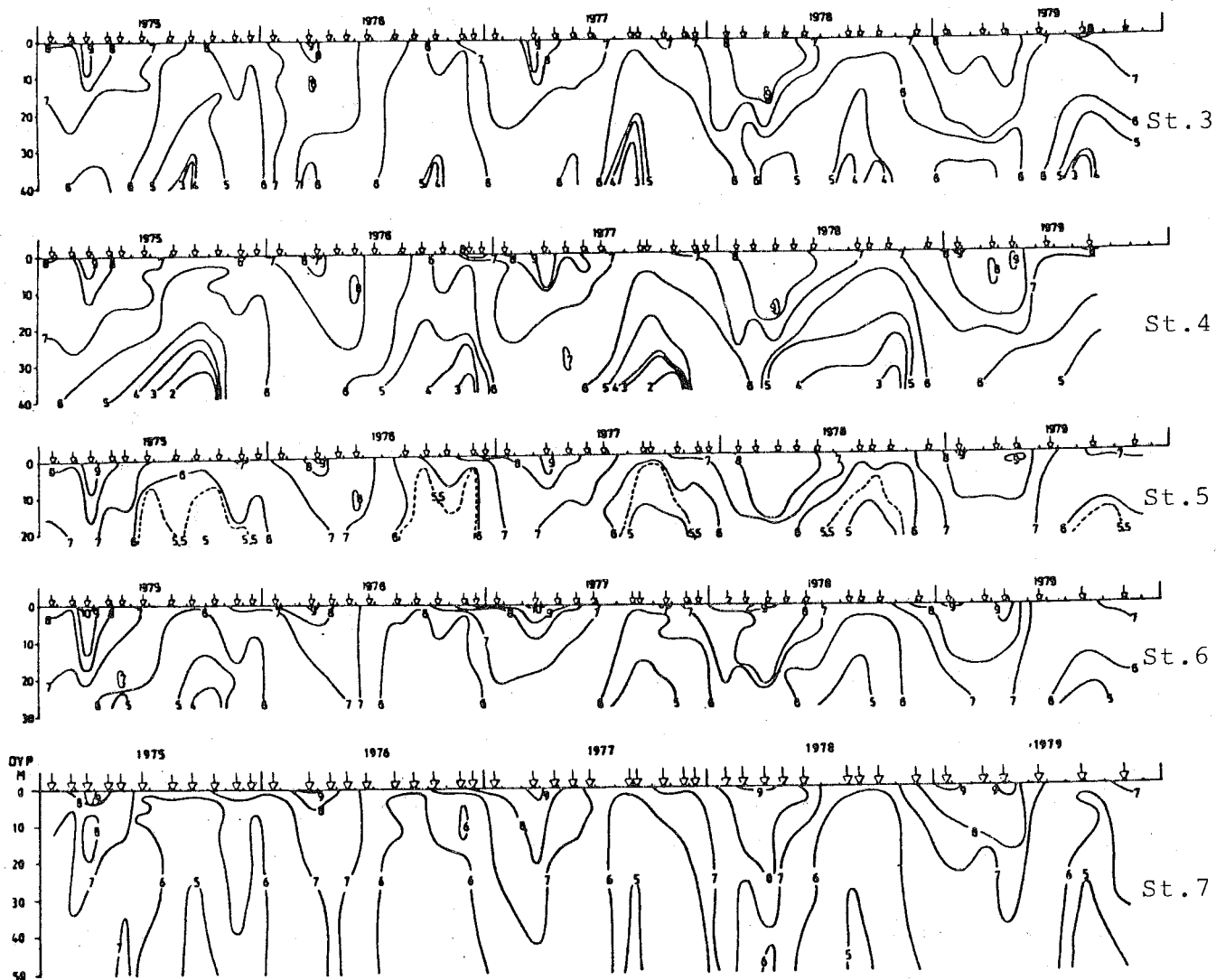


Fig. 43. Isopletter over oksygenmengde i ml/l i Tromøy/Galtesund. a) st. 3 (Frisøy), b) st. 4 (Trollnes), c) st. 5 (Songekilen), d) st. 6 (Arendal havn) og e) st. 7 (Galtesund).

At også forholdene i det indre området varierer på samme måte som i det ytre skjærgårdsområdet, ser en ved f.eks. å sammenligne Fig. 42 med Fig. 4. Ved slik sammenligning ser en at alle de storstilte dypvannsstrømninger som ble omtalt ovenfor, finnes igjen i Skagerrak. Den nære koblingen mellom Skagerrak og områdene innenfor kommer også frem ved å undersøke endring mellom to tokt på to forskjellige stasjoner.

Fig. 44 viser T-S diagram for stasjon 4 i mars og april

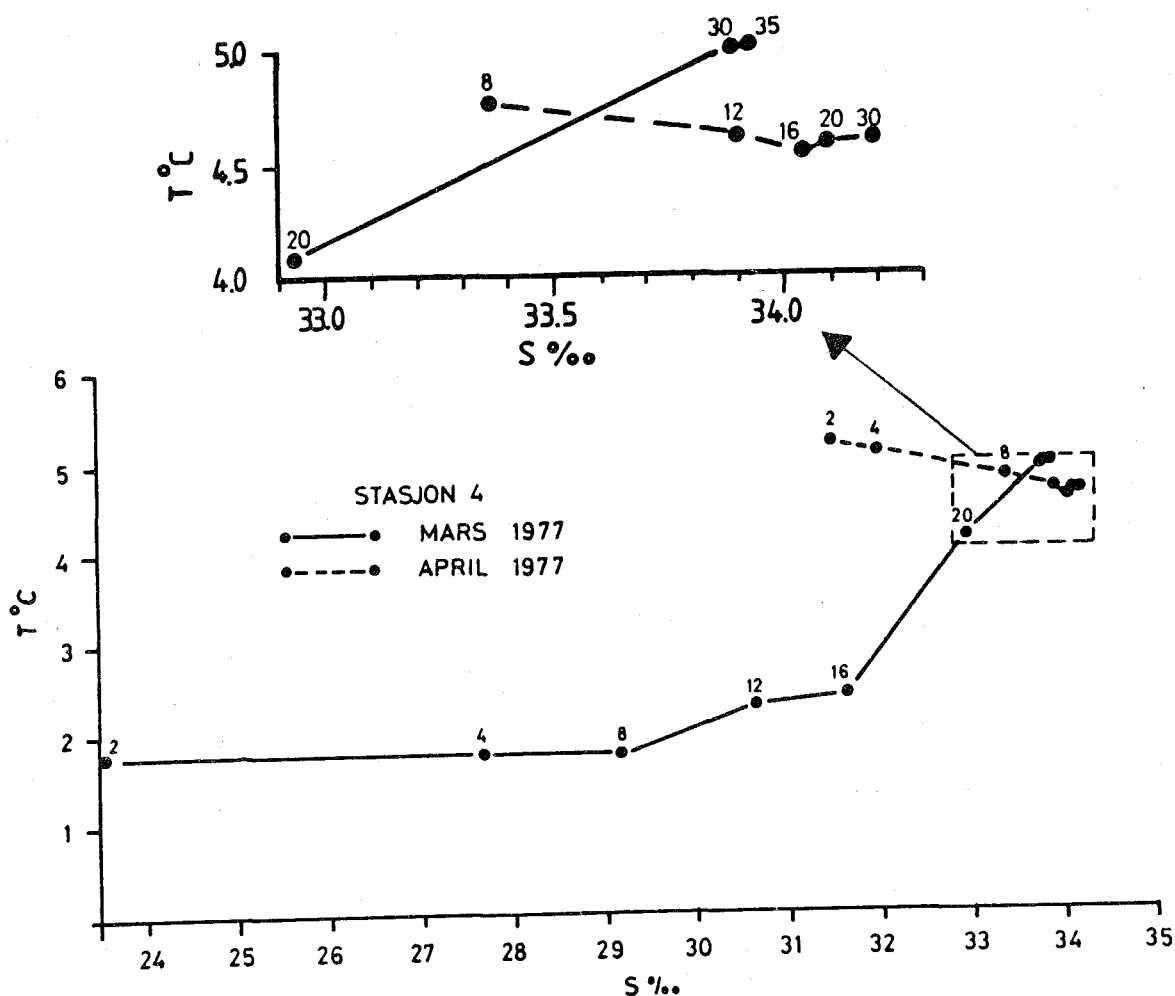


Fig. 44. T-S diagram fra st. 4 (Trollnes) i mars og april 1977.

1977. Figuren viser at det har funnet sted en fullstendig utskiftning av vannmassene under 12 m, og at det gamle vannet er blitt erstattet av vann med lavere temperatur og høyere saltholdighet. Analyse av T-S diagrammet viser videre at gammelt bunnvann fortsatt kan spores i 8 m i april. Dette understøttes av oksygenmålingene, som viser et lokalt minimum akkurat i dette dypet.

Fig. 45 viser T-S diagram for stasjon 1 og 4 i april, og indikerer kilden for det innstrømmende vannet. Dersom en senker temperaturen i vannet på stasjon 1 med $0,1^{\circ}\text{C}$, så vil T-S fordelingen for de to stasjonene bli omtrent identiske for de øverste 30 m (mellom 8 og 20 m på stasjon 4). Avviket i overflatelaget på stasjon 4 kan forklares ved lokal ferskvannstilførsel og sterkere oppvarming i Tromøysund, mens avviket under

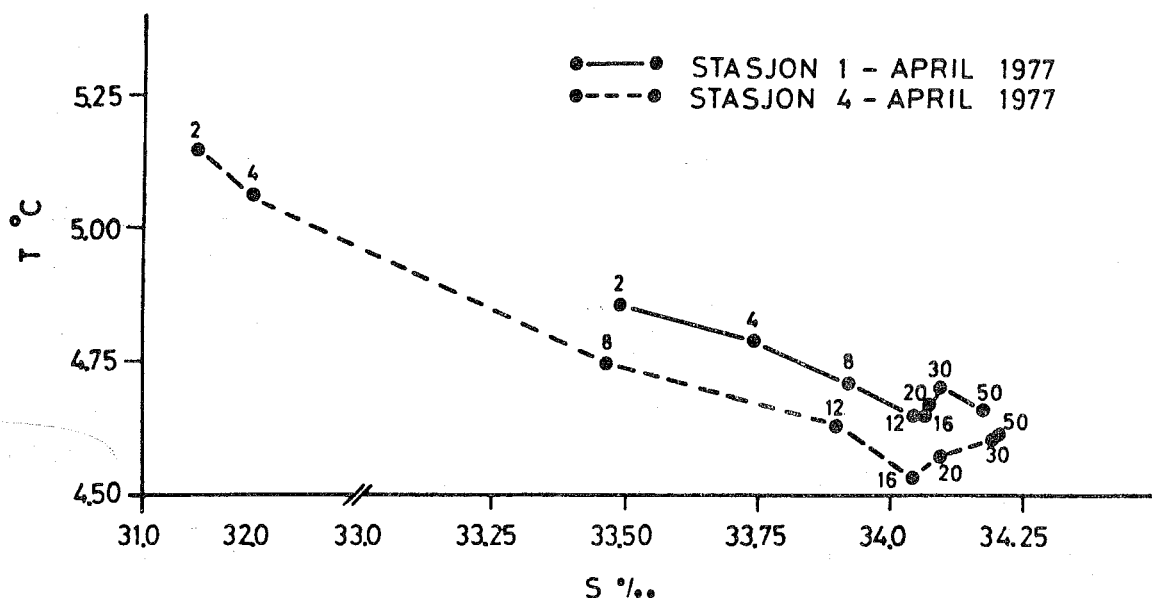


Fig. 45. T-S diagram fra st. 1 (Tromøy Øst) og st. 4 (Trollnes) i april 1977.

20 m skyldes at vann med høy saltholdighet i Skagerrak er senket siden innstrømningen fant sted.

Nærmere analyse av Fig. 45 gir også en viss mulighet for å vurdere hvilken retning transporten i de dypere lag går i Tromøysund. Det er imidlertid ikke mulig, ut fra de hydrografiske data alene, å fastslå at transporten går i en bestemt retning. Trolig er heller ikke dette tilfelle, men avhengig av faktorer som:

- vindens retning langs kysten
- ferskvannsavrenning fra Nidelven
- tidevannets retning
- kyststrømmens styrke og retning

For enkelte situasjoner, som i september 1976 og februar 1978, tyder de hydrografiske målingene på at dypvannet trengte inn i Tromøysund østfra, mens en i situasjoner som januar 1976 og juni 1978 kan tolke dataene som om innstrømningen foregikk fra vest mot øst.

De hydrografiske målingene fra Tromøysund og Galtesund viser positive horisontale saltholdighetsgradienter innover sundet under overflatelaget. Dette tyder på at den dominerende transporten under overflatelaget kommer østfra gjennom Tromøysund, og ikke som estuarin kompensasjonsstrøm gjennom Galtesund.

Dersom utskiftning av vannmassene dominerende foregikk i en retning, skulle dette føre til at forholdene på en stasjon

skulle kunne spores igjen på andre stasjoner som ligger nedstrøms. Til en slik analyse har vi brukt oksygenmålingene, men analysen har ikke gitt faste holdepunkter. Den vesentligste årsaken til dette er at utskiftningene i Tromøysund er så omfattende og så raske at vannmassene tildels skiftes helt ut. Dermed blir det meget vanskelig å spore temperatur, saltholdighet og oksygenegenskaper fra en stasjon til en annen etter utskiftning.

Analyse av oksygenfordelingene vist i Fig. 43 gir heller ikke faste holdepunkter. Det er bare stasjon 3 og 4 som viser stagnasjon og oksygenforbruk vesentlig utover hva en finner i tilsvarende dyp i Skagerrak, og det er bare under terskeldypet (25 m) en finner slik stagnasjon. Sammenligner en kun de øverste 15 m, er det ingen signifikant forskjell mellom stasjonene i den indre og ytre skjærgården. Mellom 15 og 25 m finner en på alle stasjonene i Tromøysund noe høyere oksygenforbruk. Imidlertid er alle stasjonene gjennom hele perioden (bortsett fra Arendal havn, 25 m i oktober 1975) nærmest identiske. Og virkelig påvisbart oksygenforbruk som følge av lokal organisk belastning finner en bare under 25 m på stasjon 3 og 4.

KONKLUSJON

I overflatelaget i Tromøysund synes utskiftningsforholdene å være gode. Det er ikke påvist noen stagnasjon eller oksygenreduksjon utover hva man finner i tilsvarende vannlag i Skagerrak. Det er dog påvist stagnerende vannmasser i de dypeste partiene ved Frisøy og Trollnes. I disse vannmasser er det en signifikant oksygenreduksjon.

Dypvannsutskiftningene i bassengene i Tromøysund har flere ganger ført til redusert tetthet i dypvannet (i 1975, 1976 og 1978 på Trollnes). Det alminnelige er at det i slike situasjoner skjer en tetthetsøkning, eller i det minste ikke foregår noen tetthetsforandring. De registrerte massive utskiftninger er påvist å være nøye koblet med storstilte hendelser i Skagerrak.

Det synes som om at sirkulasjonen i de øvre vannlag under flomsituasjoner gir en transport fra Nidelven østover i Tromøysund i tillegg til lokal avrenning til Tromøysund, mens det under vanlig regulert vannføring er mest vanlig at ferskvannsavrenningen fra Nidelven forlater det indre området ved Arendal havn gjennom Galtesund.

Man har ikke kunnet konstatere noen estuarin kompensasjonsstrøm gjennom Galtesund. Målinger av saltholdighet tyder på at strømmen under overflatelaget stort sett kommer østfra gjennom Tromøysund.

I skjærgårdsområdet er det ikke funnet stagnerende vannmasser. Den organiske belastning uttrykt ved oksygenforbruk er av samme størrelsesorden som i åpne Skagerrak. I bunnlagene i Sømskilen og ved Skjellbergholmen er det påvist en viss oksygenreduksjon nær bunnen i siste del av undersøkelsesperioden (1977, 78 og 79). Ferskvannsavrenningen fra Nidelven ser kun ut til å påvirke overflatelaget i området.

De storstilte utskiftningene i det ytre området fører som regel også til utskiftninger av dypvannet i de indre områdene (f.eks. mar/april 1975, april/mai 1977 og november/desember 1978) fra Trollnes og Hesnessnippet.

Hydrografi og målinger av næringssalter viser at de høyeste konsentrasjoner av næringssalter i det indre området skyldes innstrømning fra kysthavet (se f.eks. ammoniummålinger fra juni 1977, august 1978, juni 1979, nitrat fra juni 1978 og sommeren 1977 fra Hesnessnippet, Ærøydypet og Trollnes).

REFERANSER

- Anon. 1975. Hydrografisk snitt 1975 Torungen-Hirtshals "G.M. Dannevig". Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1975: 1-13 (Mimeo.)
- Anon. 1976. Hydrografisk snitt 1976 Torungen-Hirtshals "G.M. Dannevig". Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1976: 1-9 (Mimeo.)
- Anon. 1977. Hydrografisk snitt 1977 Torungen-Hirtshals "G.M. Dannevig". Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1977: 1-8 (Mimeo.)
- Anon. 1978. Hydrografisk snitt 1978 Torungen-Hirtshals "G.M. Dannevig". Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1978: 1-10 (Mimeo.)
- Anon. 1979. Hydrografisk snitt 1979 Torungen-Hirtshals "G.M. Dannevig". Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1979: 1-13 (Mimeo.)
- Aure, J. and Sætre, R. 1981. Wind effects on the Skagerrak outflow. In: R. Sætre and M. Mork (Editors), The Norwegian Coastal Current. University of Bergen, Bergen, s. 263-293.
- Beyer, F. 1971. Om vannutskiftningen i Oslofjorden og dens betydning for faunaen. Universitetet i Oslo, Inst. for marin biologi avd. A og C, Oslo. Rapport 3, 1971: 25 s. (Mimeo.)
- Dahl, F.E. 1977. Variations in the Norwegian Coastal Current off Arendal during 1975 and 1976. Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea, 1977(C:36):1-11 (Mimeo.)
- Dahl, F.E. 1978. On the existence of a deep counter-current to the Norwegian Coastal Current in Skagerrak. Tellus, vol. 30: 552-556.
- Dahl, F.E. 1982. Hydrografi i Oslofjorden og Langesundsområdet i 1974-1978. Flødevigen rapportser. 1, 1982: 1-100.
- Dahl, E. and Danielssen, D.S. 1980. Hydrography, nutrients and phytoplankton in the Skagerrak along the section Torungen-Hirtshals, January-June 1980. In: R. Sætre and M. Mork (Editors), The Norwegian Coastal Current. University of Bergen, Bergen, s. 294-310.
- Danielssen, D.S. 1981. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet i 1979. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal: 1-51 (Mimeo.)
- Danielssen, D.S. og Føyn, L. 1973. Frierfjorden - en vurdering av fjordsystemets vannutskiftning. Fisker og Havet Ser. B, 6, 1973: 1-19.
- Danielssen, D.S. og Iversen, S.A. 1976. Intern rapport angående resipientundersøkelser i Arendalsområdet i 1975. Del I. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal: 1-110 (Mimeo.)
- Danielssen, D.S. og Iversen, S.A. 1978. Intern rapport angående resipientundersøkelser i Arendalsområdet i 1975. Del II. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal: 1-52 (Mimeo.)
- Dannevig, G. 1969. Resipientundersøkelser på Skagerrakkysten. Delrapport for Arendalsområdet (Arendal havn, Tromøysund og Galtesund). Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal 1969: 1-69 (Mimeo.)
- Føyn, E. 1962. Eldre kjemiske undersøkelser. Delrapport nr. 12. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Norsk institutt for vannforskning, Oslo: 1-38.

- Magnusson, J. 1976. Strømundersøkelse ved Utnes. Arendalsområdet. NIVA 0-84/75, Oslo: 1-93.
- Sand, N.P. 1978. Intern rapport angående resipientundersøkelser i Arendalsområdet i 1976. Med appendix angående variasjoner i kyststrømmen utenfor Arendal 1975-1976 av F.E. Dahl. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen, Arendal: 1-181.
- Sand, N.P. 1979. En fysisk/kjemisk helårsundersøkelse i Arendalsområdet (1976-1977). Hovedfagsoppgave, Oslo Universitet, Oslo, 164 s (Mimeo.)
- Svansson, A. and Ljøen, R. 1972. Long-term variations of subsurface temperatures in the Skagerrak. Deep-Sea Res., 9: 277-288.

FLØDEVIGEN MELDINGER

Oversikt over tidligere artikler

- 1984 Nr. 1 Anon: Hydrografisk snitt Torungen-Hirtshals 1983.
- 1984 Nr. 2 Anon: Årsmelding 1983.
- 1984 Nr. 3 Anon: Stasjonsoversikt 1983 fra tokter med "G.M. Dannevig".
- 1984 Nr. 4 B. Bøhle: Beregning av mulig produksjon av blåskjell i Oslofjorden og på Skagerrakkysten.
- 1984 Nr. 5 E. Dahl, F.-E. Dahl og D.S. Danielssen: Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1983.
- 1984 Nr. 6 B. Bøhle: Østers og østerskultur i Norge. Utnytting av østerspoller på Skagerrakkysten.
- 1985 Nr. 1 Anon: Hydrografisk snitt Torungen-Hirtshals 1984.
- 1985 Nr. 2 Anon: Stasjonsoversikt 1984 fra tokter med "G.M. Dannevig".
- 1985 Nr. 3 E. Dahl, D.S. Danielssen og K. Tangen (red.): Forekomster av *Gyrodinium aureolum* til og med 1981 med spesiell vekt på sør-norske farvann, og effekter av masseforekomster - Samlerapport.
- 1985 Nr. 4 E. Dahl, F.-E. Dahl og D.S. Danielssen: Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1984.
- 1986 Nr. 1 E. Dahl, D.S. Danielssen og P.T. Hognestad: Hydrografisk snitt Torungen - Hirtshals 1985.
- 1986 Nr. 2 P.T. Hognestad: Stasjonsoversikt 1985 fra tokter med "G.M. Dannevig".
- 1986 Nr. 3 J. Gjøsater: Utsetting av torskeyngel. Naturgrunnlag og mulige virkninger.
- 1986 Nr. 4 B. Bøhle: Østerspoller på Skagerrakkysten. Egnethetsundersøkelser sommeren 1985.