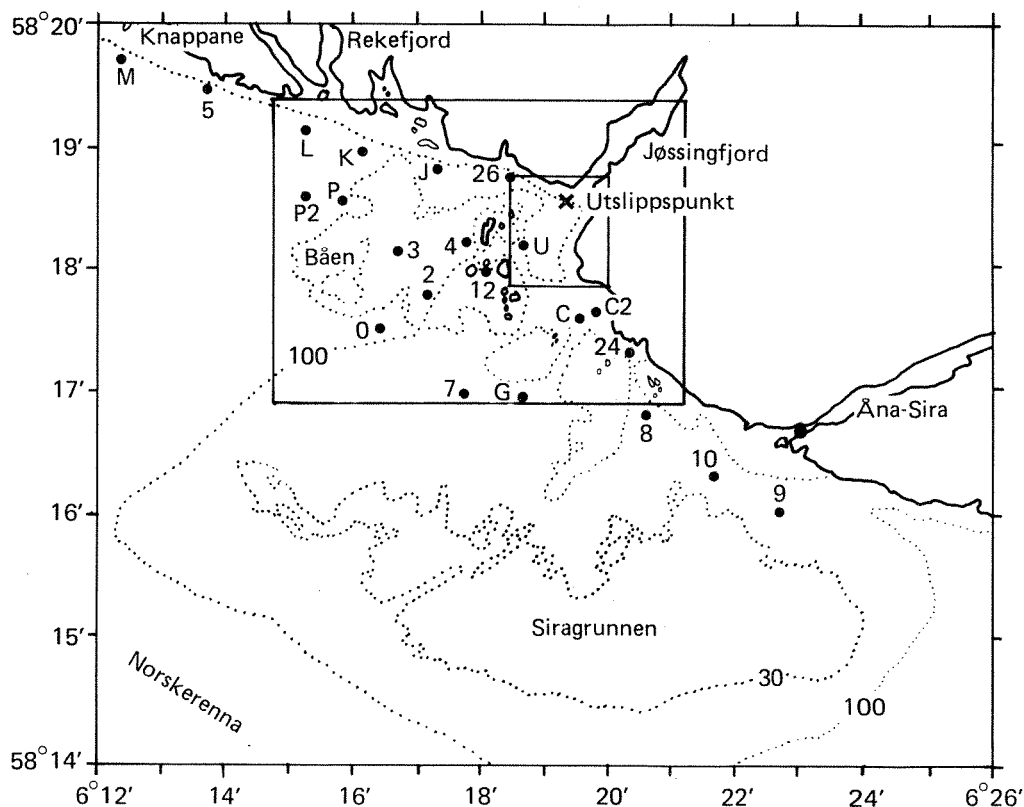


1782

O-85168

0-85168

Sedimentundersøkelse utenfor JØSSINGFJORDEN 16.-17. okt. 1985~ Kartlegging av influensområdet til TITANIA A/S' utslipp av gruveavgang



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065)76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05)25 53 20

| |
|-------------------------|
| Prosjektnr.: 0-85168 |
| Undernummer: |
| Løpenummer: 1782 |
| Begrenset distribusjon: |

| | |
|--|--------------------------------|
| Rapportens tittel: Sedimentundersøkelse utenfor Jøssingfjorden 16-17 oktober 1985 - Kartlegging av influensområdet til Titania A/S' utslipp av gruveavgang. | Dato: 9. desember 1985 |
| | Prosjektnummer: 0-85168 |
| Forfatter (e): Jens Skei | Faggruppe: Hydroøkologi |
| | Geografisk område: Rogaland |
| | Antall sider (inkl. bilag): |

| | |
|--|----------------------------------|
| Oppdragsgiver: Titania A/S - Embetsmannsgruppen | Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.): |
|--|----------------------------------|

Ekstrakt:

En sedimentundersøkelse i sjøområdet utenfor Jøssingfjorden viser at finpartikulær gruveavgang avsettes i hele undersøkelsesområdet, som hadde en betydelig større utstrekning enn det influensområde som tidligere var definert av A/S Miljøplan. Gruveavgangen ble påvist ved forhøyet konsentrasjon av jern og titan i sedimentets finfraksjon (finere enn sand). Identifisering av ilmenittpartikler i bunnvannet på en rekke stasjoner viser at det foregår aktiv transport av avgang.

| |
|--------------------|
| 4 emneord, norske: |
| 1. Jøssingfjorden |
| 2. Gruveavgang |
| 3. Sedimenter |
| 4. |
| |
| |

| |
|----------------------|
| 4 emneord, engelske: |
| 1. Jøssingfjorden |
| 2. Mine tailings |
| 3. Sediments |
| 4. |
| |
| |

Prosjektleder:

For administrasjonen:

ISBN 82-577-0977-8

0-85168

SEDIMENTUNDERSØKELSE UTENFOR JØSSINGFJORDEN 16-17 OKTOBER 1985

**- KARTLEGGING AV INFLUENSOMRÅDET TIL TITANIA A/S'
UTSLIPP AV GRUVEAVGANG**

Oslo, 9.12.85

Prosjektleder : Jens Skei

Medarbeider : Unni Efraimsen

FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) ble i brev fra Titania A/S - Embetsmannsgruppen, datert 8.10.85, bedt om å foreta en oppfølgingsundersøkelse på sedimenter i områdene utenfor Jøssingfjorden. Hensikten var å få en oppdatering av data for spredning av avgang utover Dyngadjupet. Spesielt skulle undersøkelsen ta sikte på å få kartlagt spredning og sedimentering vestover fra Knubedalsrenna mot Rekefjord, Knappane, fra Knubedalsrenna sørover mot Båen, Siragrunnen og fra Dyngadjupet vest- og sørvestover mot Båen og Siragrunnen.

Kjemiske analyser av sedimenter og suspendert materiale ble utført ved Senter for industriforskning (SI). Øvrig arbeid er gjort på NIVA.

Vi vil ellers takke skipper Asbjørn Tønnesen og forsker Finn Aarefjord for godt samarbeid under feltarbeidet.

INNHOLDSFORTEGNELSE

| | Side |
|---|------|
| FORORD | 2 |
| SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER | 4 |
| 1. INNLEDNING | 6 |
| 2. MÅLSETTING | 7 |
| 3. FELTARBEID | 8 |
| 4. LABORATORIEARBEID | 8 |
| 5. RESULTATER OG DISKUSJON | 9 |
| 5.1 Sedimenter | 9 |
| 5.1.1 Sedimentbeskrivelse | 9 |
| 5.1.2 Kornstørrelse | 12 |
| 5.1.3 Aluminium, jern og titan | 15 |
| 5.1.4 Mineralogi | 18 |
| 5.2 Suspendert partikulært materiale | 19 |
| 5.2.1 Aluminium, jern og titan | 19 |
| 5.2.2 Scanning mikroskopi (SEM) og energidispersiv røntgen (EDAX) | 21 |
| 5.3 Sammenhengen mellom bunnsedimenter og partikulært materiale i vannet over bunnen | 22 |
| 6. SAMMENFATTENDE VURDERING | 25 |
| 7. LITTERATUR | 27 |
| APPENDIKS | 29 |

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

1. På oppdrag av Titania A/S - Embetsmannsgruppen, har NIVA utført en sedimentundersøkelse utenfor Jøssingfjorden 16-17 oktober 1985. I alt 16 sedimentkjerner ble tatt, snittet i 0-1 cm sjikt og analysert på aluminium, jern og titan i sedimentfraksjonen finere enn sand ($< 63 \mu\text{m}$). Mineralogiske bestemmelser ble gjort på 3 prøver.
2. I tillegg til sedimenter ble det tatt vannprøver av bunnvannet på 8 stasjoner som ble filtrert og filtrene analysert for aluminium, jern og titan. Etterpå ble utvalgte filtre mikroskopierte og enkeltpartikler analysert kvalitativt. I vannprøvene ble også saltinnhold og temperatur bestemt.
3. Sedimentene i området er relativt grovkornige, med innslag av skjellsand. På halvparten av stasjonene var innholdet av finpartikulært materiale (finere enn sand) mindre enn 20 %, mens de mest finkornige sedimentene ble registrert i Dyngadjupet og Knubedalsdjupet, hvor sedimentene er utpreget avgangspåvirket.
4. Resultatene av sedimentanalysene viser at kornfraksjonene mindre enn sand ($< 63 \mu\text{m}$) inneholder 1,3 - 11,3 % TiO_2 og 6,3 - 17,1 % Fe_2O_3 . Bakgrunnskonsentrasjonen for finfraksjonen i normale marine sedimenter er maksimalt 1 % TiO_2 og 5 % Fe_2O_3 .
5. Klare avstandsgradienter ble påvist i sedimentene, med avtagende konsentrasjoner fra Dyngadjupet - Knubedalsdjupet i retning Knappane, sørvestover i retning Båen og sørøstover til Siragrunnen - Ana Sira.
6. Det ble registrert små forskjeller i jern- og titaninnholdet i de øvre 0-1 cm og 1-2 cm av sedimentet.
7. Mineralogiske bestemmelser i sedimentet på stasjon 7 og 5 påviste innslag av ilmenitt.
8. Analyser av partikulært materiale i bunnvannet på utvalgte stasjoner viser forhøyede konsentrasjoner av jern og titan i forhold til aluminium. Mikroskopiering indikerer ilmenittpartikler.

Dette gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- (i) A/S Miljøplans konklusjon fra sedimentundersøkelser utført i 1984 og 1985 er at det skjer avsetning av gruveavgang innenfor det forventede influensområdet. Utenfor influensområdet er det ifølge Miljøplan "ingen tydelig avsetning av gruveavgang på stasjoner i sydvestlig retning og vest for Rekefjord".
- (ii) NIVAs resultater basert på sedimentprøvetaking i oktober 1985 og analyser av jern og titan i sedimentenes finfraksjon (dvs. skjell, sand og grus er ikke med i analysen), viser at det er en betydelig avsetning av finpartikulært gruveavgang langt utenfor det tidligere definerte influensområdet. Stasjoner på strekningen Knappane (M) til Rekefjord (K) viser en andel av avgang i sedimentets finfraksjon på henholdsvis 6 % (M), 8 % (5), 32 % (L) og 50 % (K). På vestsiden av Bå-området (stasjon 0 og 7) er den tilsvarende andelen 10 og 20 %, mens den ved Ana Sira (9) er 7 %.
- (iii) Etersom finfraksjonen i sedimentet i de perifere deler av undersøkelsesområdet utgjør < 20 % av det totale sediment, vil avsetning av gruveavgang ikke mengdemessig være stor, men den vil utgjøre en betydelig del av det finpartikulære materialet.
- (iv) Undersøkelser av partikler i bunnvannet på enkelte sedimentstasjoner bekrefter at det skjer en aktiv transport og sedimentering av avgang langt utenfor influensområdet definert av A/S Miljøplan.
- (v) Det er fortsatt kort tid siden utslippet til Dyngadjupet ble etablert og det er derfor for tidlig å kunne forutsi hvordan påvirkningen av sedimentene vil utvikle seg på lang sikt og hvor langt influensområdet vil bre seg utover.
- (vi) Undersøkelsen har vist at det er nødvendig å utvide undersøkelsesområdet i nordvestlig og sørøstlig retning. Det bør også tas prøver i Norskerenna, vest for Siragrunnen. På selve Siragrunnen vil det neppe avsettes finmateriale.

1. INNLEDNING

Det er relativt få steder i verden hvor utslipp av gruveavgang til sjø foregår. Et symposium holdt i Alaska i 1982 oppsummerte våre erfaringer på dette området (Ellis, 1982). De mest intensive studier av effekten av avgangsdeponering i sjøvann er utført i Rupert Inlet, Vancouver Island, hvor ca. 13 millioner tonn avgang slippes ut årlig på 50 m dyp (Goyette and Nelson, 1977). Kopper-molybden-gruven er et dagbrudd og avgangen går via fortykkere før den fortynnes med sjøvann og pumpes ut. Ved etablering av utslippet ble det fra gruveselskapets side forutsatt at avgangen bare ville påvirke bunnarealer dypere enn 100 m og at utslippet ville bevege seg som en tetthetsstrøm til det planlagte deponeringsbassenget på 165 m dyp. Allerede et års tid etter at utslippet var etablert var det klart at bunnområdet som ville bli influert av avgang var langt større enn forutsatt. Videre at bunnområder grunnere enn 100 m også ville bli influert, som følge av upwelling, utrasninger og turbiditetsstrømmer. De biologiske konsekvensene som er registrert ved utslippet til Rupert Inlet er nedslamming av bunnfauna. Påvirkninger på fisk og skalldyr er noe usikker.

Selv om utslippet av gruveavgang til Dyngadjupet er bare 1/7 av utslippet til Rupert Inlet, er likhetspunktene mange. Et av de springende punkt i Jøssingfjord-saken har vært forutsigelsen av influensområdets størrelse og hvor mye avgang som transporteres ut av Dyngadjupet. I lys av erfaringene fra Rupert Inlet kan man ikke se bort fra at episodiske begivenheter i form av utrasninger og igangsetting av turbiditetsstrømmer langs bunnen kan være en undervurdert transportmåte (se f.eks. Hay et al., 1983). Dette kan være spesielt viktig i et sjøområde hvor det hersker varierende strømmer og hvor sedimentering fra en stasjonær vannmasse skjer i liten grad. I tillegg er topografien i området meget ujevn, med vekslinger mellom bratte partier og små forsenkninger.

Sedimentundersøkelsen i oktober 1985 følger en serie med undersøkelser i perioden 1976-1985, utført av A/S Miljøplan, og Havforskningsinstituttet. (A/S Miljøplan, 1985, Havforskningsinstituttet, 1985). En rekke av stasjonene som er valgt, er sammenfallende med Miljøplans tidligere stasjoner, slik at sammenligninger kan gjøres direkte.

2. MÅLSETTING

Sedimentundersøkelsen må betraktes som en tilstandsbeskrivelse med følgende målsetting:

- (i) : Ved hjelp av bunnsedimenter fastslå hvor stort bunnområde som er påvirket av gruveavgang fra Titania A/S pr. dags dato.
- (ii) : Sammenholde innholdet av avgang i sedimenter med tidligere undersøkelser for å fastslå om konsentrasjonene har endret seg over tid.
- (iii) : Forsøke å påvise avgangspartikler i det partikulære materialet i de bunnære vannmasser, spesielt i den perifere delen av influensområdet.

Undersøkelsen gir ikke svar på følgende problemstillinger:

- (i) : Kvantifisere mengden av avgang som transporteres ut av Dyngadjupet.
- (ii) : Kvantifisere fluksen til sedimentene pr. tidsenhet.
- (iii) : Overslag over mengde gruveavgang som er sedimentert innenfor et visst areal.
- (iv) : Biologiske effekter og konsekvenser av avgangsdeponeringen.

3. FELTARBEID

Feltarbeidet ble utført fra reketraleren "Susanne" av Jøssingfjord, 16-17 oktober 1985. Sedimentkjerner ble tatt med Niemistø gravity corer (Niemistø, 1974) med indre diameter på 5 cm. Kjernene ble umiddelbart snittet i 1 cm sjikt, bortsett fra på stasjon 5, hvor 0,5 cm sjikt ble snittet. De fleste kjerner ble snittet ned til 5 cm, men det ble også på en rekke stasjoner tatt ut prøver fra 5-10 cm og 10-15 cm. Det er kun sedimenter fra de øvre 2 cm som er analysert, resten er lagret.

På stasjoner hvor det var hard bunn ble det minimum gjort 3 forsøk på å få tatt prøve.

Foruten sedimentprøvetaking ble det på 8 stasjoner tatt vannprøver 10-20 m over bunnen med 1,7 l Hydro Bios vannhenter med vendetermometre. Fra hver vannhenter ble saltprøve tatt ut. Temperaturen ble målt. Resten av vannprøven ble fraktet til laboratoriet for filtrering.

På stasjonene 4 og 7 ble vann tatt noen cm over sedimentkjernen ved hjelp av hevert og fraktet til laboratoriet for filtrering.

Stasjonsplasseringen er vist på Fig. 1 og 2. Posisjonsbestemmelsen ble gjort ved hjelp av overrettmerker.

4. LABORATORIEARBEID

På laboratoriet ble sedimentprøvene frysetørret og deretter splittet i to. Den ene delen ble veid og siktet gjennom 63 μm sikt for å beregne hvor stor prosent av sedimentet som var finere enn sand. Deretter ble prøven homogenisert, smelteoppløst med litiumtetraborat og boraks og analysert for aluminium, jern og titan ved røntgenfluoresens. Denne metoden gir totalkonsentrasjoner. Videre ble det foretatt mineralogiske bestemmelser ved røntgendiffraksjon på et par prøver.

Vannprøvene ble trykkfiltrert gjennom 0,4 μm , 37 mm Nuclepore filtre og analysert for aluminium, jern og titan ved en tynnfilmteknikk (Price and Skei, 1975; Skei and Melsom, 1982). Etterpå ble utvalgte filtre plukket ut og analysert ved scanning elektron mikroskopi (SEM) koblet til energidispersiv røntgen (EDAX). Dette ble gjort for å foreta analyser av enkeltpartikler (identifikasjon av ilmenitt, partikkelstørrelse og form).

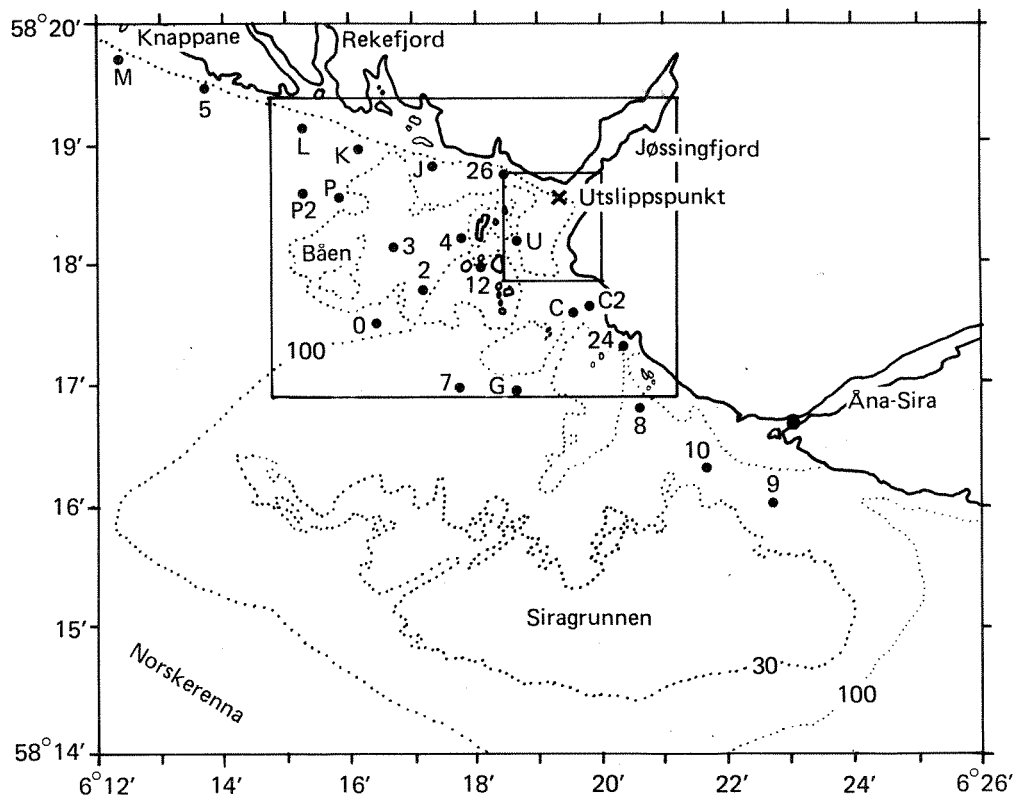


Fig. 1. Stasjonskart. Sedimentprøvetaking 16-17 oktober 1985.

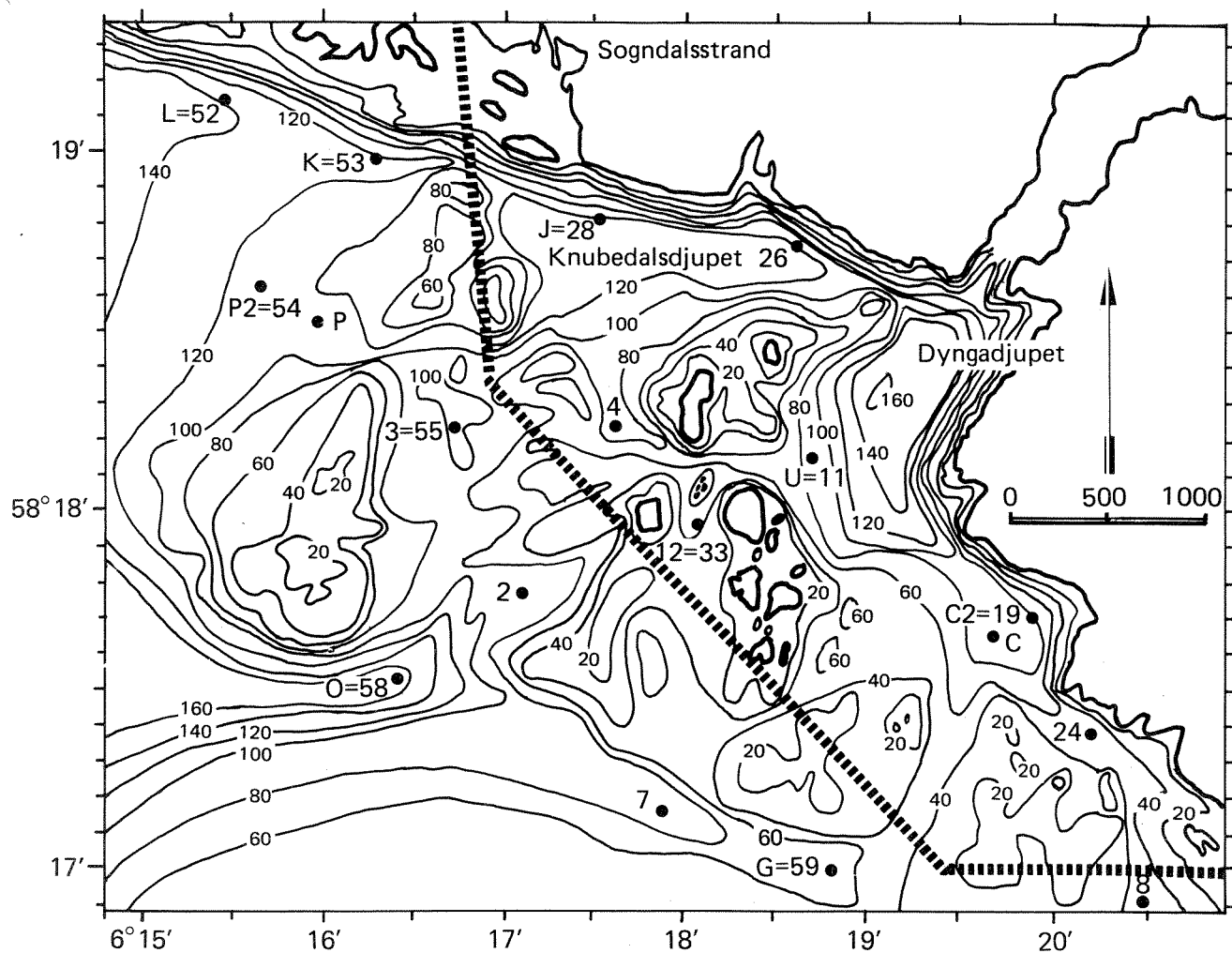


Fig. 2. Detaljert stasjonskart. I tillegg til våre stasjonsnumre er Miljøplans nye nummerangivelse påført der hvor stasjonene er felles. Den stiplede linjen representerer grensen for Miljøplans definerte influensområde.

5. RESULTATER OG DISKUSJON

Rådata er tabellarisk fremstilt i Appendiks.

5.1 Sedimenter

Undersøkelsesområdet er topografisk meget komplisert, med skifting mellom grunner og dype bassenger. I slike områder er det vanskelig å ta sedimentprøver som kan betegnes for representative for større bunnareal. Sedimenttypen vil være svært topografisk avhengig, med grus og sandområder ofte på dyp grunnere enn 60 m og siltig materiale i dypbassengene. I områder hvor erosjon dominerer, vil det ikke være mulig å ta sedimentprøver med corer-redskap. Hvis det etter 3-4 forsøk ikke lyktes å få tatt prøver med corer, ble stasjonen gitt opp. På disse stedene er det nærmest utelukket at finpartikulært gruveavgang avsettes, i hvert fall for lengre perioder av gangen.

Det bør advares mot å bruke sedimentdata til å slå fast hvor mye avgang som er avsatt innenfor et gitt område. Dette er kun mulig i veldefinerte bassenger som Dyngadjupet og Knubedalsdjupet.

5.1.1 Sedimentbeskrivelse

En visuell beskrivelse av sedimentene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Visuell beskrivelse av sedimentkjerner tatt 16-17 oktober 1985 i området utenfor Jøssingfjorden.

| Stasjon | Vanndyp (m) | Kjernelengde (cm) | Beskrivelse |
|---------|----------------|----------------------|--|
| G = 59* | 66 | ≈ 1 | Etter fire mislykkede forsøk kom prøvetakeren opp med ≈ 1 cm sediment. Meget tvilsom prøve. Grov skjellsand og grus. |
| O = 58* | 172 | 37 | Siltig sand. Mye skjellfragmenter. Børstemarkrør i toppen. |
| M = 51* | 170 | 72 | Fin siltig leire, med innslag av skjellsand i overflaten. |

| Stasjon | Vanndyp (m) | Kjernelengde (cm) | Beskrivelse |
|---------|----------------|----------------------|---|
| 5 | 165 | 21 | Utenfor østerspoll. Siltig sediment. |
| L = 52* | 132 | 22 | Noe grovere enn stasjon 5. Innslag av skjellsand. Litt gråaktig sediment øverst. |
| K = 53* | 117 | 10 | Grovt sandig sediment. Skjellsand. |
| P | 109 | 12,5 | Mye grov skjellsand, men også finmateriale på toppen. |
| P2 =54* | 114 | 27 | Gråbrunt siltig sediment. Børstemark (stor) i 4-5 cm dyp. |
| 3 = 55* | 104 | 19,5 | Noe mørkfarget siltig sediment. |
| J = 28* | 125 | 21 | Blygrått sediment som ble grovere nedover i kjernen. Levende børstemark på 20 cm dyp. Preg av gruveavgang. |
| C | 98 | 27 | Mye avgang over lys normal sjøbunn. Tykkelsen av gruveavgangen ble anslått til \approx 14 cm. |
| C2 =19* | 86 | 21 | Lik stasjon C av utseende, men det så ut til at overgangen mellom gruveavgang og normalt sediment lå helt nede på 18-19 cm. |
| 9 | 107 | 8 | Grov, brun sand. |
| 7 | 87 | 13,5 | Grov skjellsand, men med innslag av grått slam øverst. |
| 4 | 85 | 24,5 | Grått sediment med innslag av skjell. |
| U = 11* | 85 | 25 | Gruveavgang helt ned til 24 cm. |
| 26* | 118 | 29 | Avgangsmateriale i hele kjernen. En viss sonering øverst (ca. 3/4 cm). |

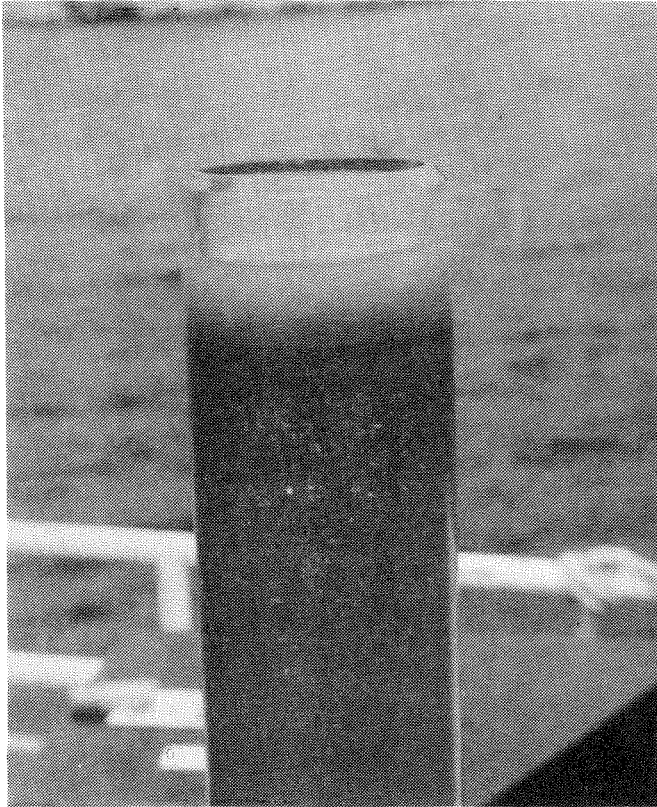
Stasjonene merket med * er tatt på samme posisjon hvor Miljøplan har hatt sine stasjoner tidligere. Nummeret indikerer Miljøplans nye stasjonsnummerering.

Det ble gjort forsøk på å ta prøver på stasjonene 10, 8, 24, 12 og 2 uten å lykkes på grunn av sedimentets hardhet og grovhet. Nesten alle disse stasjonene lå grunnere enn 80 m dyp, hvor erosjon sannsynligvis er dominerende.

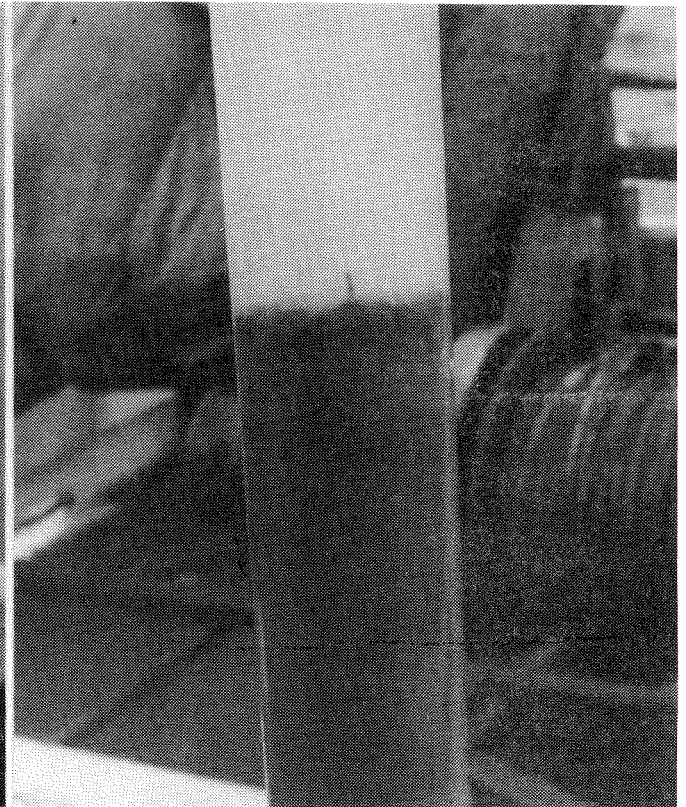
Generelt var sedimentene utpreget uorganisk å se til med stort innslag av skjellsand. Stasjoner som visuelt var preget av gruveavgang var: J, C, C2, U og 26. Sedimentkjerner hvor det var innslag av finpartikulært materiale på toppen av grovt sediment ble tatt på stasjonene K, L, P, P2, 3, 7 og 4. I de fleste prøvene ble det observert børstemark, slik at en må forvente en viss bioturbasjon (mekanisk omrøring).

De kjernene som ble tatt i Dyngadjupet (U, C, C2) så ut til å ha et lag med gruveavgang øverst som varierte i tykkelse mellom 14 og 24 cm. I Knubedalsdjupet (J og 26) var dette laget tykkere enn 20 cm.

Sedimentkjernene ble fotografert før snittingen i sjikt ble foretatt. Et utvalg av disse fotografiene er gjengitt på de følgende sidene.



M=51



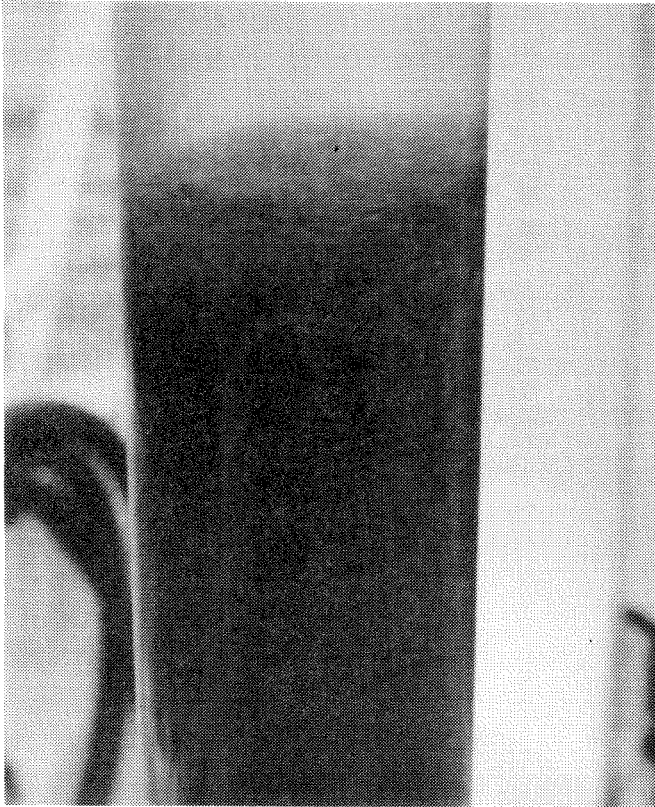
L=52



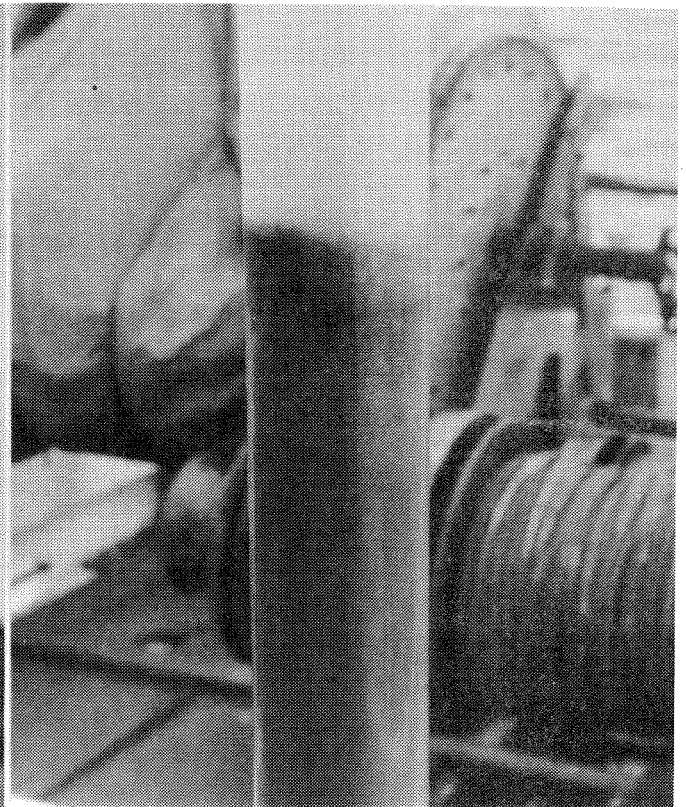
K=53



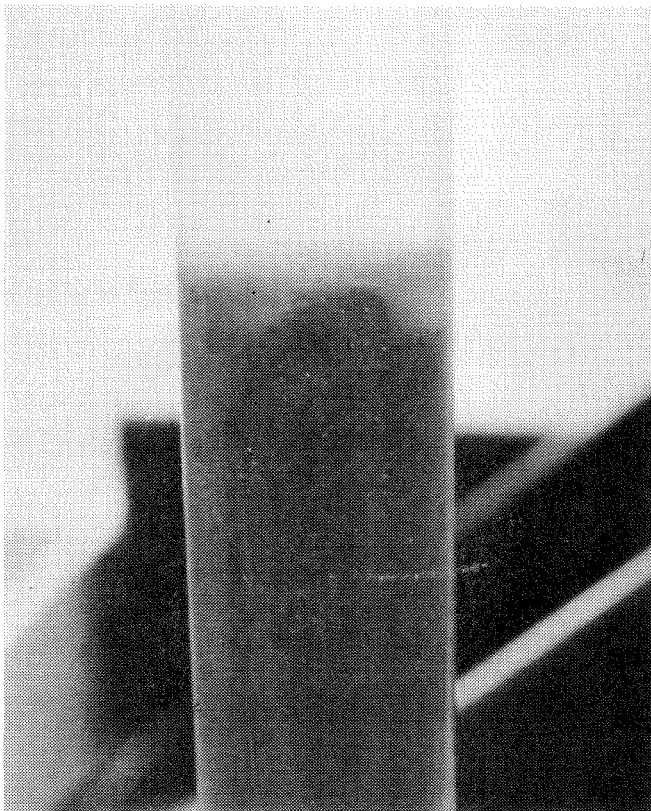
J=28



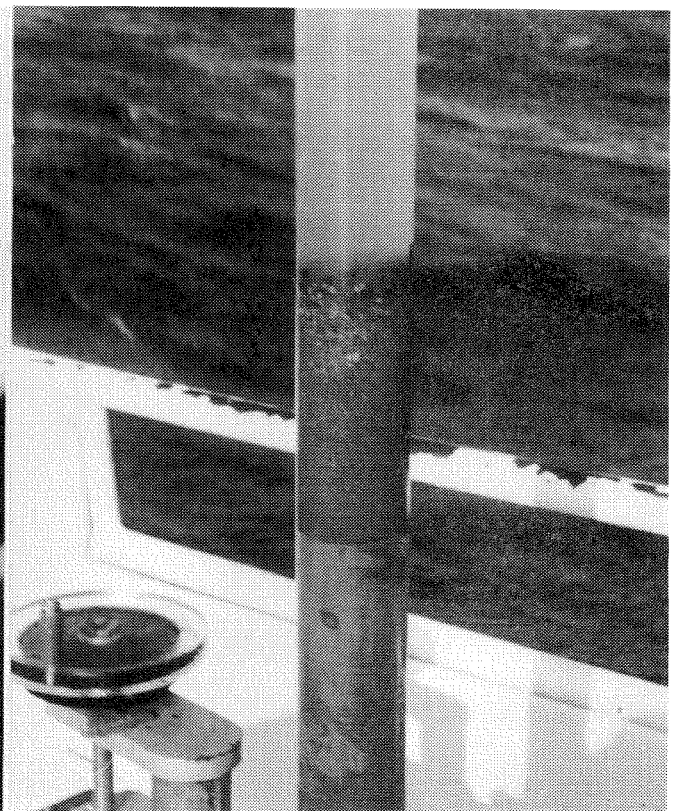
26



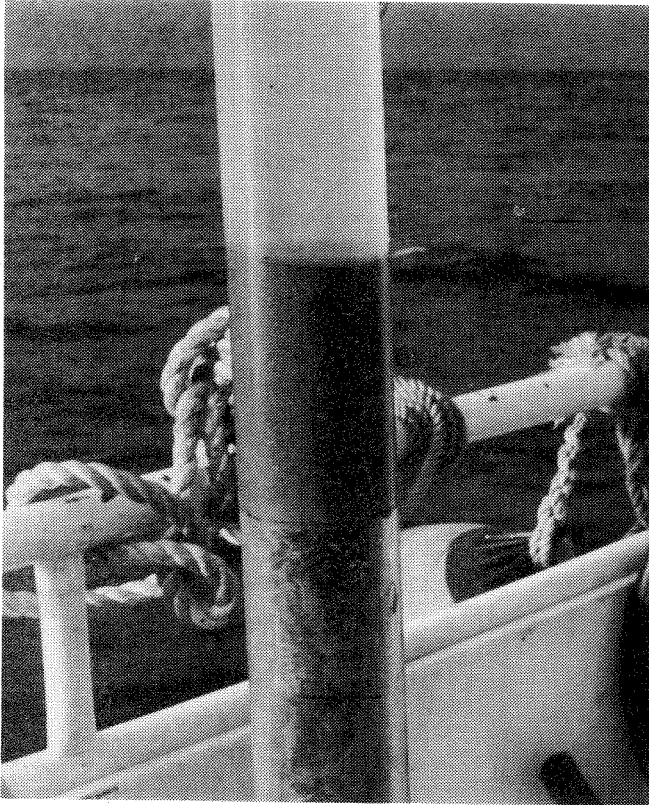
U=11



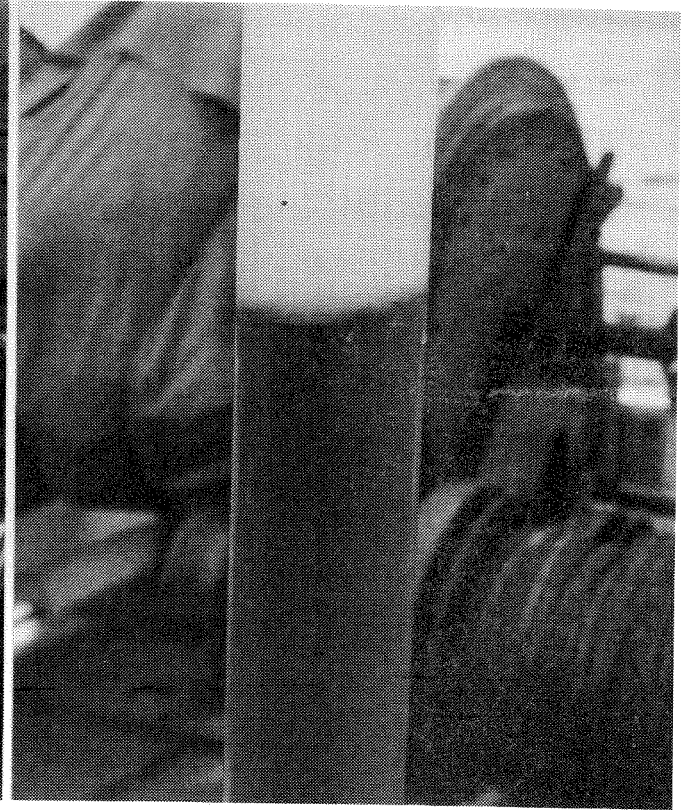
C



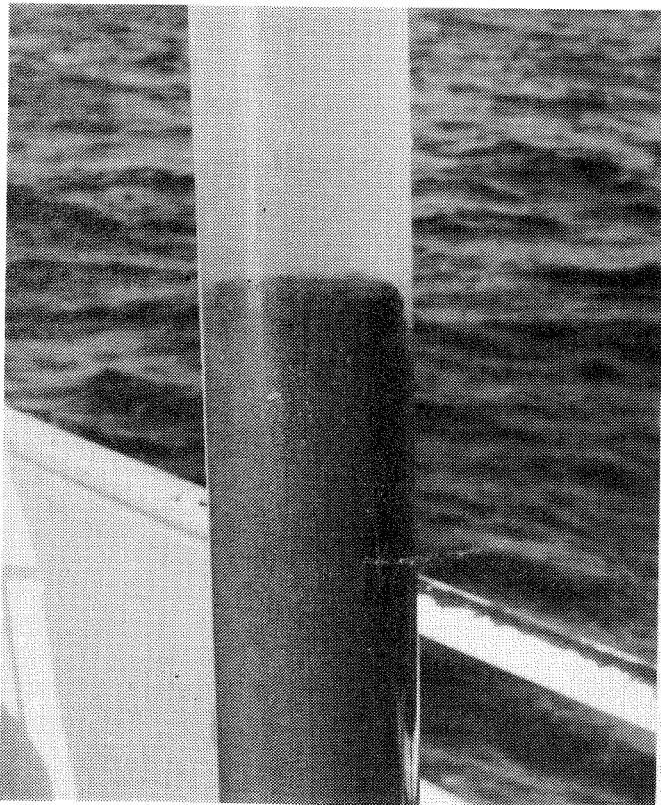
7



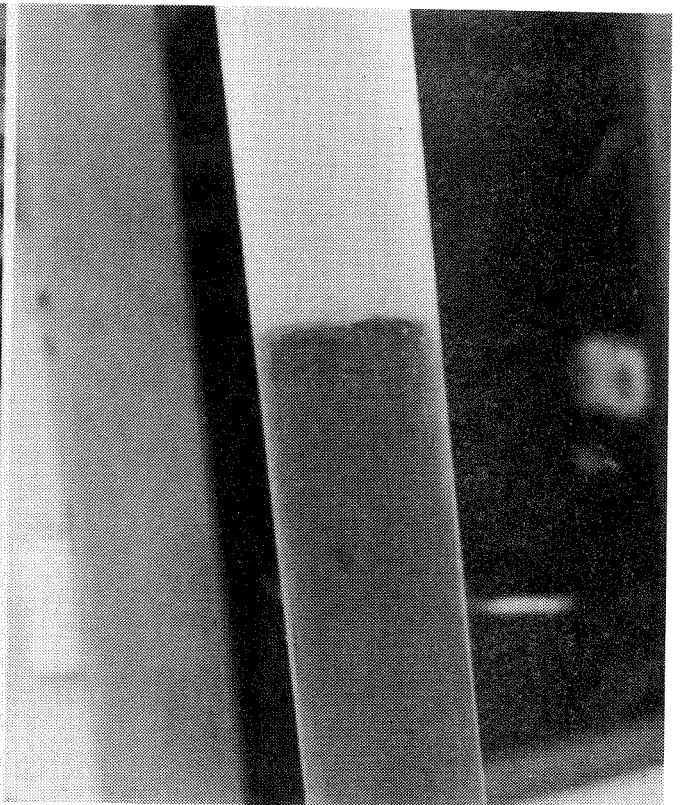
9



P2=54



4



3

Kommentarer til fotografiene:

- M = 51 : Den brune fargen i vannet over sedimentflaten skyldes oppvirvling av manganoksyder. Hvite partikler i kjernen er skjellsand.
- L = 52 : Her mangler det karakteristiske brune overflatelaget. Fargen på partikkelskyen over sedimentet er grålig. Børstemarkrør sees i overflaten.
- K = 53 : Relativt mørkt sediment, med grått, finpartikulært materiale i overflaten over til dels grov skjellsand.
- J = 28 : Grått, finkornet sediment.
- 26 : Preg av avgangsmasser, men også innslag av skjellsand.
- U = 11 : Nokså likt 26, men antydning til lagdeling helt øverst.
- C : Blygrått slam med skjellfragmenter.
- 7 : Grov skjellsand med innslag av fint materiale på toppen som lett virvles opp.
- 9 : Brunfarget sand som ligner mye på M = 51.
- P2 = 54 : Grått sediment.
- 4 : Gråbrunt sediment med innslag av skjellsand.
- 3 : Grått sediment. Børstemarkrør.

5.1.2 Kornstørrelse

Det ble ikke gjort full kornfordeling på sedimentene. Derimot ble det frysetørkede materialet tørrsiktet gjennom 63 μm sikter, som skiller mellom sand og silt/leire (Wentworths skala). Denne fraksjonen ble veid, slik at prosent (vekt) materiale finere enn 63 μm (sand) kunne beregnes. Når 63 μm er valgt er det fordi at det er denne fraksjonen som internasjonalt brukes (jfr. ICES Working Group on Marine Sediments).

Kornfordelingsanalyser av avgang fra Titania A/S har vist at 35-50 % av avgangen er finere enn 63 μm og at så mye som 20 % er finere enn 18 μm . Prosent innhold av finmateriale i sedimentet ($< 63 \mu\text{m}$) vil således si noe om sannsynligheten for innslag av finpartikulær gruveavgang.

Tabell 2 gir en oversikt over innholdet av finmateriale i de to øverste sjiktene (0-1 og 1-2 cm) av sedimentet. Følgende stasjoner hadde en finfraksjon på $< 20 \%$: O, K, P2, 3, 9, 7 og G. Disse stasjonene ligger nokså perifert til Dyngadjupeet. Sedimenter med en finfraksjon på $> 30 \%$ ble registrert på stasjonene J, U, C, 4, 26, C2 og 5. Maksimum innhold av finpartikulært materiale ble målt på stasjonene 26 og U, som begge er sterkt influert av gruveavgang.

Tabell 2. Jøssingfjorden - Sedimenter.

Prosent finere enn sand ($< 63\mu\text{m}$)

| Stasjon | Sedimentdyp (cm) | % $< 63 \mu\text{m}$ | Bunndyp (m) |
|---------|---------------------|----------------------|----------------|
| M = 51 | 0-1 | 28,4 | 170 |
| | 1-2 | 46,6 | |
| O = 58 | 0-1 | 19,2 | 172 |
| | 1-2 | 18,5 | |
| K = 53 | 0-1 | 17,0 | 117 |
| | 1-2 | 25,2 | |
| L = 52 | 0-1 | 26,2 | 132 |
| | 1-2 | 24,6 | |
| P | 0-1 | 27,4 | 109 |
| | 1-2 | 26,6 | |
| P2 = 54 | 0-1 | 11,7 | 114 |
| | 1-2 | 12,7 | |
| 3 | 0-1 | 18,9 | 104 |
| | 1-2 | 18,6 | |
| J = 28 | 0-1 | 33,8 | 125 |
| | 1-2 | 25,6 | |
| U = 4 | 0-1 | 66,0 | 85 |
| | 1-2 | 54,5 | |
| C | 0-1 | 54,8 | 98 |
| | 1-2 | 53,7 | |
| 4 | 0-1 | 37,8 | 85 |
| | 1-2 | 28,0 | |
| 9 | 0-1 | 8,6 | 107 |
| | 1-2 | 7,2 | |

| | | | |
|---------|---------|------|-----|
| 26 | 0-1 | 63,6 | 118 |
| | 1-2 | 72,4 | |
| C2 = 19 | 0-1 | 56,1 | 85 |
| | 1-2 | 52,7 | |
| 7 | 0-1 | 10,4 | 87 |
| | 1-2 | 10,7 | |
| 5 | 0-0,5 | 36,9 | 165 |
| | 0,5-1 | 26,8 | |
| | 1-2 | 22,4 | |
| G = 59 | overfl. | 0,4 | 66 |

Det bør påpekes at kornstørrelsen kan variere over tid på en og samme stasjon på grunn av tilfeldig tilførsel av skjellsand. Under en storm f.eks., kan mye skjellmateriale fraktes fra grunnområder til større dyp.

Kornfordelingsanalyser av sedimentprøver er også gjengitt i Miljøplans siste rapport (Miljøplan, 1985). Disse kornfordelingsanalysene er gjort på de øvre 10-15 cm fra grabbprøver og vil med unntak av prøver tatt i selve deponeringsområdet (Dyngadjupet og Knubedalsdjupet) neppe si noe om sannsynligheten for innslag av finpartikulært avgang. Det skyldes at de øvre 10-15 cm trolig representerer minst 20-30 års sedimentavsetning, mens utslippet til Dyngadjupet bare har pågått vel et års tid. Dessuten er prøvetaking med grabb lite egnet redskap for å sikre seg de øverste få mm med flokkulert, finpartikulært materiale på grunn av en viss drenering av vann ut av grabben ved prøvetaking. Til tross for dette kan overflaten av sedimentet se tilsynelatende uforstyrret ut. En ytterligere kompliserende faktor ved sammenligning med kornfordeling utført på prøver av Miljøplan er at det ikke er brukt sedimentologisk sikteutstyr som skiller på 63 μm . I stedet er det brukt en sikt som skiller på 74 μm (200 mesh). Men selv om det tas hensyn til disse metodeforskjellene synes det på enkelte stasjoner å være betydelig avvik i kornfordeling mellom Miljøplans resultater og resultater fra denne undersøkelsen. Det kan meget lett skyldes store lokale variasjoner i sedimenttype. Ved posisjonsbestemmelse ved overrettmerker vil nøyaktigheten neppe være bedre enn ± 100 m. Med de bunnforholdene som er i området kan dette være avgjørende mht. hva slags sediment man treffer på. Det synes derfor naturlig å utføre de kjemiske analysene på en bestemt kornfraksjon, slik at sammenligning mellom forskjellige stasjoner ikke er avhengig av sedimentets kornstørrelse. Et grovt sediment med stort innslag av sand og grus vil ha et langt lavere naturlig innhold av f.eks. titan og jern enn et

siltig-leirig sediment. Analyser av titan i sedimenter fra Barentshavet på fraksjonene sand, silt og leire viste et innhold på henholdsvis 0,16 % TiO_2 , 0,71 % TiO_2 og 0,98 % TiO_2 (Wright, 1972). Analyser av titan i gruveavgangen har også vist klare konsentrasjonsforskjeller avhengig av kornstørrelse. Mens totalavgangen inneholder 8,2 % TiO_2 inneholder den fineste fraksjonen (< 18,4 μm) 14,7 % TiO_2 (Miljøplan, 1985). Det tilsier at analyser av titan på fraksjonen < 63 μm (sand) uvilkaarlig vil gi høyere verdier enn analyser av totalt sediment av to grunner:

- (i) : det naturlige innhold av titan i silt og leire er høyere enn i sand.
- (ii) : finfraksjonen av avgangen har et høyere innhold av titan enn totalavgangen.

5.1.3 Aluminium, jern og titan

Resultatene av de kjemiske analysene er vist i appendiks og uttrykt i oksydform, tørt sediment.

Aluminium er en hovedbestanddel i geologisk materiale og inngår i en rekke silikatmineraler. I total avgang fra Titania A/S utgjør aluminium ca. 12 % (som Al_2O_3). Dette er ikke vesentlig forskjellig fra innholdet av aluminium i marine sedimenter. Silt fra Barentshavet inneholder 11 % Al_2O_3 (Wright, 1972), mens sedimenter ytterst i Sørfjorden inneholder 13 % Al_2O_3 (Skei, 1975). Det kan derfor slås fast at utslippene av aluminiumholdig slam fra Titania ikke vil forårsake forhøyede Al-konsentrasjoner i sedimentene. Det er derfor nyttig å analysere på aluminium i sedimentene for å kunne ha noe å referere verdiene av titan og jern til.

Konsentrasjonene av Al_2O_3 i sedimentene varierte mellom 5,5 og 14 %. De laveste konsentrasjonene opptrer i sedimenter med høyt innhold av skjellsand.

Jern opptrer naturlig i sedimenter i en rekke silikatmineraler og utfelt eller adsorbent som oksyder/hydroksyder til andre mineraler. Det naturlige innholdet av jern vil således variere betydelig. I siltfraksjonen ble det i Barentshavet målt 2,5 % Fe_2O_3 (Wright, 1972), mens det i sedimenter fra Skagerrak kan være så mye som 4-7 % Fe_2O_3 (Singh, 1983). Vanligvis er forholdet Fe/Al i marine sedimenter 0,2-0,7, med en midlere verdi på 0,5 (Calvert, 1976). Høyere

forholdstall tyder på unormale tilførsler av jern.

Innholdet av jern i totalavgangen er $\approx 12\%$ (regnet som Fe_2O_3). Man må anta at i likhet med titan er konsentrasjonen av jern i avgangens finfraksjon betydelig høyere. I ilmenitt (FeTiO_3) er det like mye jern som titan.

Konsentrasjonene av Fe_2O_3 i sedimentene i fraksjonene finere enn sand ($< 63 \mu\text{m}$) varierte mellom 7 og 17 %. Dette er gjennomgående svært høye konsentrasjoner. Analyser av jern utført av Havforskningsinstituttet viste variasjoner mellom 3 og 12 % Fe, tilsvarende 4 og 17 % Fe_2O_3 (Havforskningsinstituttet, 1985). De høyeste konsentrasjonene ble målt på stasjonene i Knubedalsdjupet og Dyngadjupet, mens det også ble registrert betydelige jernkonsentrasjoner utenfor det området som Miljøplan har definert som influensområde. På stasjonene K og L som ligger nordvest for terskelen ved Sogndalsstrand er jerninnholdet i de øvre 1 cm av sedimentet på henholdsvis 14,7 og 11,4 % Fe_2O_3 . Det antydes av Miljøplan en årlig sedimenttilvekst på 0,6 cm/år i de dypere deler av området (Miljøplan, 1985). Det innebærer at de øvre 1 cm av sedimentet tilsvarer maksimum et par års sedimentering. Eldre utslipp av gruveavgang til Sokndalselva i perioden 1936 til 1964 må antas å ha påvirket bunnsedimentene i sjøområdet utenfor. Imidlertid er den antatte sedimenttilveksten så stor at en betydelig overleirning av sedimenter avsatt for 20 år siden må ha skjedd (10-15 cm). Det kan derfor slås fast at de konsentrasjoner av jern som måles i de øvre 0-1 cm på stasjonene K og L neppe er influert av gammel gruveavgang, selv om man ikke kan se bort fra en viss påvirkning fra utslipp til selve Jøssingfjorden. Imidlertid hevder Miljøplan at avgangen fra Jøssingfjorden i stor grad ble transportert sørover (Miljøplan, 1981).

Konsentrasjonene av titandioksyd (TiO_2) målt i sedimentene høsten 1985 varierte mellom 1,3 og 11,3 % i fraksjonen mindre enn $63 \mu\text{m}$. Ut fra kjennskapen til naturlig innhold av titan i siltige og leirige marine sedimenter, kan det slås fast at på samtlige stasjoner hvor sedimentprøver ble tatt er det et forhøyet titaninnhold. Miljøplan har operert med et bakgrunnsnivå på 0,5-1,0 % TiO_2 i sedimentene. I og med at Miljøplans og Havforskningens analyser er utført på total sediment, hvor sandinnholdet er betydelig, spesielt i det perifere området til utslippet, bør dette bakgrunnsnivået settes til maksimalt 0,5. Analyser av sedimentkjerner fra Skagerrak viste et innhold på 0,7-0,8 % TiO_2 (Singh, 1983). Dette var imidlertid sedimenter med et leireinnhold ($< 2 \mu\text{m}$) på over 60 %. På grunnlag av dette er det valgt å sette et bakgrunnsnivå på TiO_2 i sedimenter med kornstørrelse $< 63 \mu\text{m}$ på 1,0 % TiO_2 . Dette betyr at samtlige sedimentprøver tatt høsten

1985 er kontaminert med titan. Det er klare horisontale gradienter fra Dyngadjuvet - Knubedalsdjuvet. Selv på stasjonene 9 og M som ligger 6-7 km fra munningen av Jøssingfjorden, ble det målt henholdsvis 2 og 1,8 % TiO_2 i de øvre 1 cm. Det tyder på at avgang kan transporteres både nordvestover og sørøstover og avsettes i sedimentene meget langt fra utslippsstedet. Påvirkningsområdet, definert ut fra det området hvor anomalier av TiO_2 opptrer i sedimentene, er således meget stort.

Sedimentanalysene fra tidligere prøveinnsamlinger er hovedsakelig blitt gjort på de øvre 0-2 cm. Ettersom analysene fra prøveinnsamlingen i oktober 1985 ikke viser betydelige forskjeller mellom 0-1 cm og 1-2 cm sjikt, kan sammenligning med tidligere data gjøres. For å teste at analysemetodene er sammenlignbare ble parallellprøver sendt til Titania A/S for titananalyser. Disse resultatene viser et meget godt samsvar ($\pm 0,1$ % TiO_2). Titania A/S gjorde analyser både av den fraksjonen som ikke var siktet og den som var finere enn $63 \mu\text{m}$. På den måten kan det gjøres sammenligning mellom innholdet av titan i total sediment tatt i oktober med tilsvarende tatt av Miljøplan i januar og april 1985. Disse resultatene viser at det er skjedd en viss økning i titaninnholdet på stasjoner som ligger utenfor Miljøplans definerte influensområde om vi sammenligner 0-1 cm sjiktet med Miljøplans 0-2 cm sjikt. På stasjonene O (58) og M (51) som begge ligger i de perifere deler av undersøkelsesområdet ble det registrert følgende TiO_2 -konsentrasjoner i total (ufraksjonert) prøve:

| Stasjon | Miljøplan (jan./april 1985) | NIVA (okt. 1985) |
|---------|-----------------------------|------------------|
| O (58) | 0,7 % | 1,0 % |
| M (51) | 0,8 % | 1,3 % |

Det forutsettes da at grabbprøvetakingen utført av Miljøplan har vært vellykket med hensyn til å ta de øvre mm av sedimentet. Sedimenter tatt nærmere deponiområdet derimot, viser en motsatt trend, med noe lavere konsentrasjoner i oktober 1985, sammenlignet med tidligere resultater.

Hvis vi sammenligner resultater av titan i sedimentets finfraksjon ($< 63 \mu\text{m}$) og i ufraksjonert sediment, er det en meget stor forskjell som framtrer (Appendiks, Tabell 2). Det skyldes naturligvis at de fleste sedimentprøvene har et innhold av sand (og grovere) høyere enn 70-80 %. Dette er materiale som stort sett ikke inneholder titan (f.eks.

skjellsand) og vil derfor virke sterkt fortynnende. En hver sedimentering av finpartikulært gruveavgang på en lokalitet hvor sedimentet i stor grad består av grovt materiale vil bli maskert om det foretas analyser på ufraksjonert sediment. Analyser av sedimentets finfraksjon vil derfor gi en bedre informasjon om på hvilke lokaliteter finpartikulært gruveavgang avsettes, selv om mengden som avsettes utgjør en liten del av det totale sediment. Et annet poeng er kanskje også at de organismer som lever i et sediment i første rekke er influert av materiale finere enn sand.

Fig. 3 viser sedimentets innhold av TiO_2 i finfraksjonen som funksjon av andel prosent avgang i sedimentets finfraksjon. Hvis vi tar for oss de stasjonene som ligger lengst fra Jøssingfjorden, dvs. stasjon M (51) ved Knappane og stasjon 9 ved Ana Sira, viser resultatene at finfraksjonen ($< 63 \mu m$) på disse to stasjonene består av henholdsvis 6 og 7 % gruveavgang. Stasjonene 0 (58) og 7, som begge ligger vest for Bå-området og utenfor influensområdet, viser henholdsvis 10 og 20 % gruveavgang i sedimentets finfraksjon. Dette igjen viser at det er et meget stort område hvor gruveavgang sedimenterer. Imidlertid er det lite sannsynlig at på steder hvor det er et meget grovt sediment vil være en permanent sedimentering av finmateriale og at avgangen vil utgjøre noen stor del av det totale sediment.

5.1.4 Mineralogi

For å fastslå at sedimenter med høyt titaninnhold virkelig inneholder mineralet ilmenitt, ble det gjort røntgendiffraksjon på tre prøver (st. 7, 0-1 cm, st. 5, 0-0,5 cm og 0,5-1 cm). Begge stasjonene ligger langt utenfor det området som Miljøplan har definert som influensområde. I alle tre prøvene viste diffraktogrammet ilmenitt-topper. Av andre mineraler som ble identifisert var kalsiumkarbonat (fra skjellmateriale), kvarts og feltspat.

På grunnlag av de mineralogiske analysene kan det slås fast at de forhøyede konsentrasjonene av jern og titan i overflatesedimentene (0-1 cm) på stasjonene 5 og 7 skyldes sedimentering av ilmenitt. Etter all sannsynlighet er dette avgang fra Titania's utslipp til Dyngadjuvet.

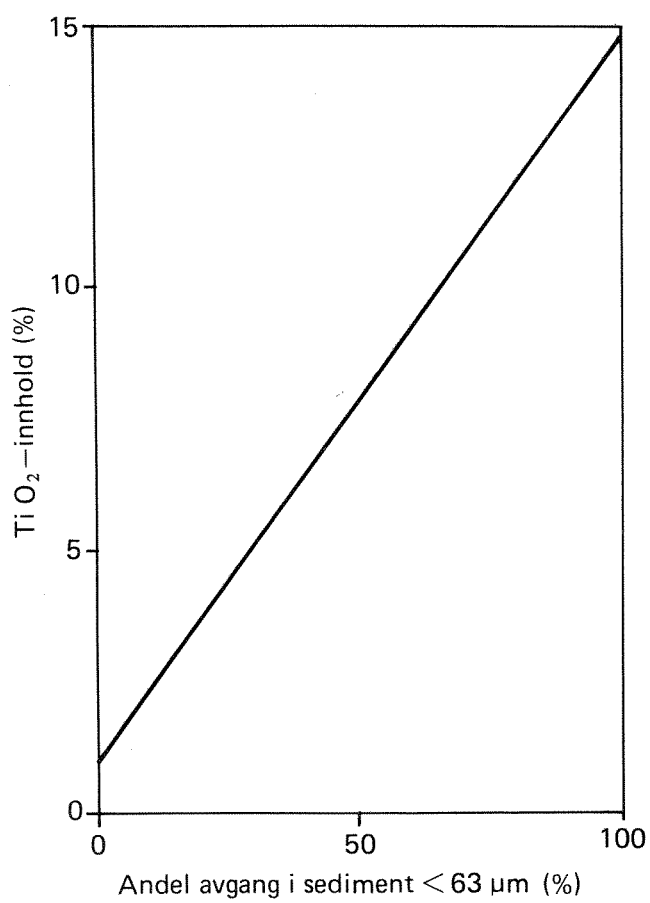


Fig. 3. Forholdet mellom finfraksjonens TiO_2 -innhold og andel avgang i sedimentet.

5.2 Suspendert partikulært materiale

Suspendert partikulært materiale (SPM) er her definert som de partikler i sjøvann som frafiltreres ved hjelp av et 0,4 μm membranfilter. Tidligere undersøkelser har vist at turbide vannmasser opptrer i forskjellige dyp, men spesielt under 100 m. Dette kan delvis skyldes (i) selve skyen av avgang fra utslippet (ii) turbiditetsstrømmer og (iii) resuspensjon av bunnsedimenter. Den kjemiske sammensetningen av det partikulære materiale vil avsløre i hvilken grad turbiditeten har sammenheng med utslippet av gruveavgang. Spredning av avgangen vil kunne påvises på et tidligere tidspunkt ved analyser av partikler i vannmassen enn i bunnsedimentet. Dette er spesielt tilfelle så lenge det er snakk om et relativt nytt utslipp hvor sedimentering har pågått en kort tid.

5.2.1 Aluminium, jern og titan

Det var naturlig å analysere på de samme parametrene som i sedimentene, dvs, aluminium, jern og titan. Slike analyser er utført i en rekke norske og utenlandske fjorder etter samme metode, slik at sammenligningsgrunnlaget er godt (se f.eks. Price and Calvert, 1973; Price and Skei, 1975, Skei and Melsom, 1982; Sholkovitz and Copland, 1982). På grunn av store unøyaktigheter når små partikkelmengder skal veies, er det valgt å uttrykke resultatene i $\mu\text{g/l}$ filtrert sjøvann. Analysene har en presisjon som er bedre enn 10 % ved lave konsentrasjoner, og sannsynligvis bedre enn 5 % ved de høye nivåene bestemt i disse prøvene. (Appendiks, Tabell 3.)

Aluminium

Aluminium er en hovedbestanddel i silt og leire og representerer således den naturlige bestanddelen i uorganiske sedimenter. Ettersom titan og jern opptrer i et relativt konstant forhold til aluminium, vil forholdstall (Ti/Al og Fe/Al) gi informasjon om titan og jern opptrer i unormale konsentrasjoner.

Vannprøvene ble tatt fra 5-20 m fra bunnen, bortsett fra to prøver som ble tatt fra toppen av to sedimentkjerner (stasjon 4 og 7). Prøvene representerer derfor de bunnære vannmasser. Konsentrasjonen varierte mellom 27 og 74 $\mu\text{g/l}$ Al. Dette er til dels høye konsentrasjoner på såvidt store vanddyp (85-170 m), sammenlignet med målinger i andre norske fjorder og i Skagerrak (Eisma et al. 1984). Det kan derfor slås

fast at det er et høyt innhold av suspenderte, uorganiske sedimenter i bunnvannet på de stasjonene hvor prøver ble tatt. Ut fra kun konsentrasjoner av aluminium kan det ikke sies noe om dette skyldes gruveavgang eller naturlige sedimenter.

Titan

Titan er en naturlig bestanddel i de fleste bergarter. I partikulært materiale i sjøvann hvor det finnes aluminium vil det også finnes titan. Analyser av 273 SPM-prøver fra Sørfjorden og Hardangerfjorden gav et gjennomsnittlig forholdstall på 0,05 mellom titan og aluminium (0,02-0,11) (Skei, 1975). Analyser av titan og aluminium i SPM-prøver fra Skagerrak viste et forhold mellom disse to elementene på 0,05-0,06 (Eisma et al. 1984). Dette er det samme som Ti/Al-forholdet i kvartære leirer (Roaldset, 1978). I områder som er sterkt påvirket av ilmenitt-forekomster, må vi regne med et noe høyere Ti/Al-forhold i det partikulære materiale, som følge av forvitring. Imidlertid viser Ti-analyser av sedimenter fra samme område som er avsatt før gruvevirksomheten ved Titania kom i gang, et Ti-innhold som er omtrent normalt for marine sedimenter (Havforskningsinstituttet, 1985). Dette tilsier at vi kan anta at Ti/Al-forholdet i naturlige partikler i sjøvann fra området ikke overstiger 0,1.

Forholdstallet mellom titan og aluminium i partikulært materiale fra de bunnære vannmassene på utvalgte stasjoner utenfor Jøssingfjorden, viser en variasjon mellom 0,14 og 0,91. Det kan derfor slås fast at bunnvannet på samtlige av de stasjonene hvor prøver ble tatt er kontaminert av titan og at dette må tilskrives utslipp fra Titania A/S. De høyeste forholdstallene ble naturligvis målt i Knubedalsdjupe og Dyngadjupe. Titan-kontaminering ble også påvist i bunnvannet i Bå-området (stasjon 4). Her ble det også analysert på partikulært materiale i vannfasen over sedimentflaten, som viste et Ti/Al-forhold på 0,46. Det er således klart at denne stasjonen influeres av avgang fra Titania A/S. Området sør for Båen (stasjon 7) ser også ut til å være influert. Her ble det registrert et Ti/Al-forhold på 0,30 i overgangen mellom vann og sediment. Stasjonen lengst nord ved Knappane (stasjon M) viste et Ti/Al-forhold på 0,14 i partikulært materiale, 10 m fra bunnen. Dette er for høyt til å være naturlig, slik at det kan slås fast at finpartikulært materiale med høyt titan-innhold transporteres nordover til Knappane og trolig lengre. Forholdet mellom titan og aluminium i totalavgang er 0,55, mens det antas å være langt høyere forholdstall i den finpartikulære delen av avgangen.

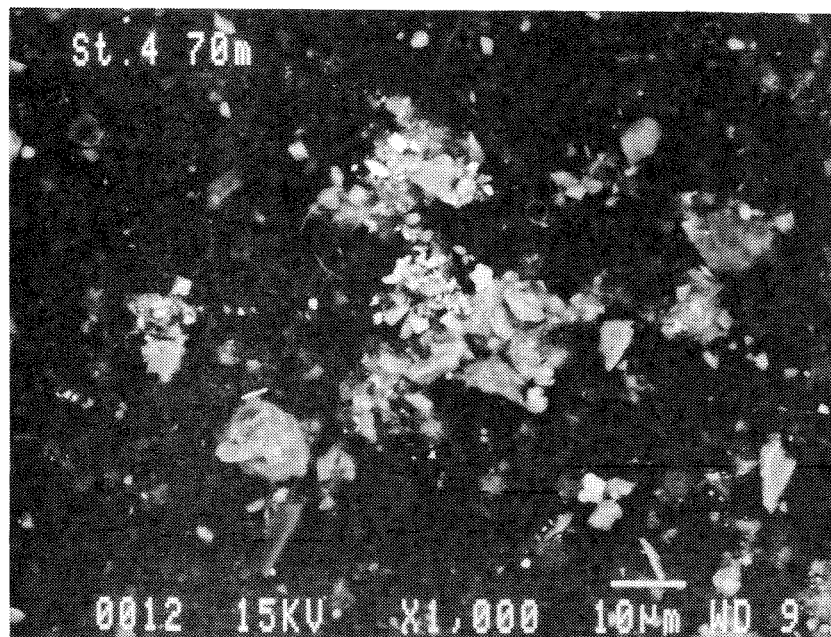
Vannprøvene ble også analysert for saltinnhold og temperatur og

tettheten (σT) ble beregnet (Appendiks, Tabell 4). Dette ble hovedsakelig gjort for å registrere eventuelle forskjellige vannmasser. Sammenligner vi tettheten i Knubedalsdjupet (stasjon J) med tettheten i bunnvannet vestenfor terskelen ved Rekefjord (stasjon K), ser vi at tettheten i Knubedalsdjupet er betydelig lavere (en forskjell på 0.5). Sammenligner vi stasjon 4 og stasjon U som er henholdsvis utenfor innenfor terskelen mellom Dyngadjupet og Bå-området, ser vi at det er liten forskjell i tetthet ved samme dyp (70 m). Dette kan tyde på nokså fri kommunikasjon av vannmasser mellom Dyngadjupet og over terskelen ved Foksteinane.

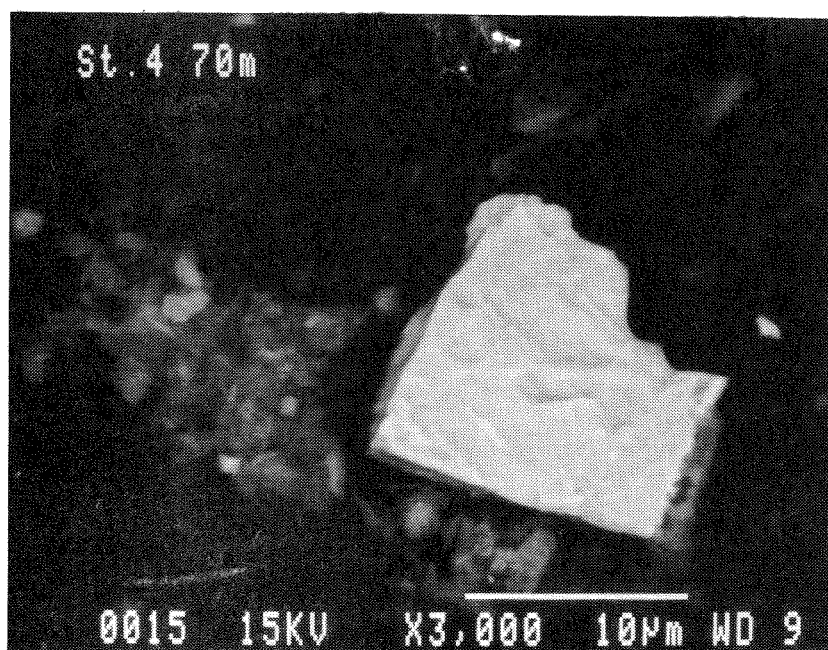
5.2.2 Scanning mikroskopi (SEM) og energidispersiv røntgen (EDAX)

Fire membranfiltre (st. U, 4, 7 og 5) ble plukket ut for mikroskopiering. Det ble spesielt sett etter partikler med jern-/titaninnhold. Ved backscatteranalyser vil partikler med høy atomvekt og stor tetthet lyse opp. Ved EDAX-analyser viste det seg at bortimot samtlige av de partiklene som lyste opp ved backscatter inneholdt jern og titan i samme forhold. Disse partiklene ble derfor identifisert som ilmenittpartikler. Partiklene skilte seg også ut ved å være typiske skarpkantede i motsetning til andre partikler av uorganisk opprinnelse. Størrelsen varierte mellom 5 og 15 μm i diameter. Det var også tydelig at de filtrene som på forhånd var analysert ved røntgenfluoresens (XRF), og som ble funnet å ha et høyt innhold av jern og titan, også viste den største forekomsten av ilmenittpartikler ved mikroskopieringen.

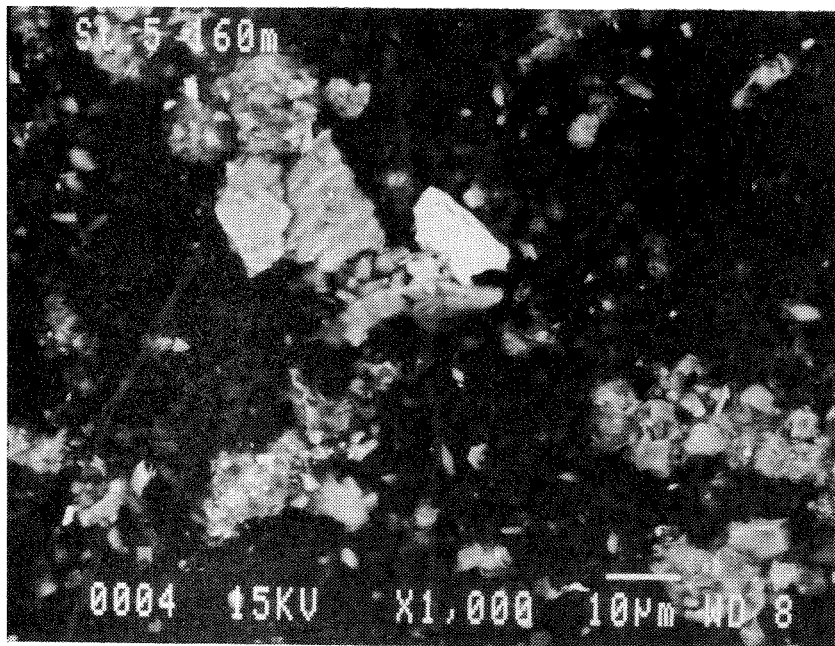
Ilmenittpartiklene opptrådte både som enkeltpartikler, i små bergartsfragmenter og i større fnokk. Fotografier av partikler og utskrift av EDAX-analyser er vist på de neste sidene.



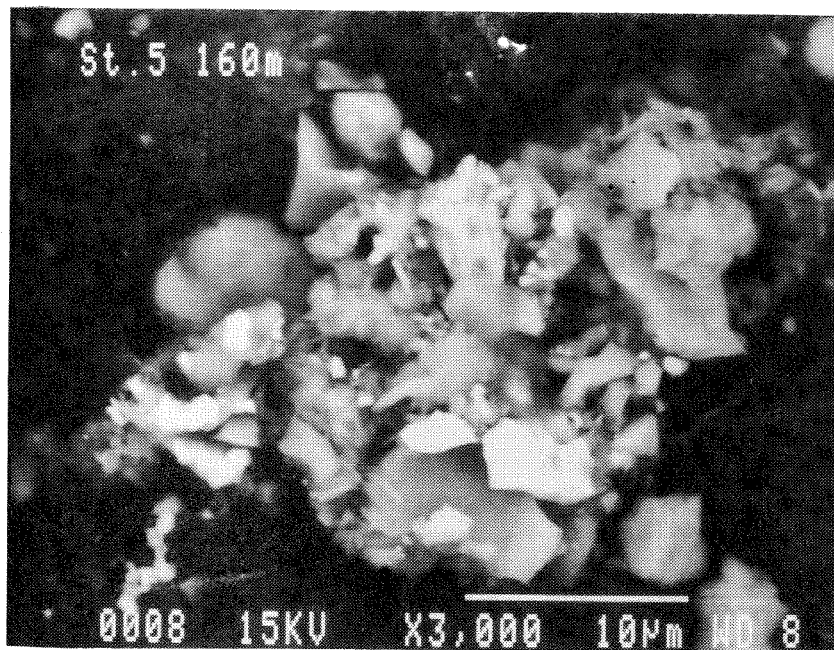
a



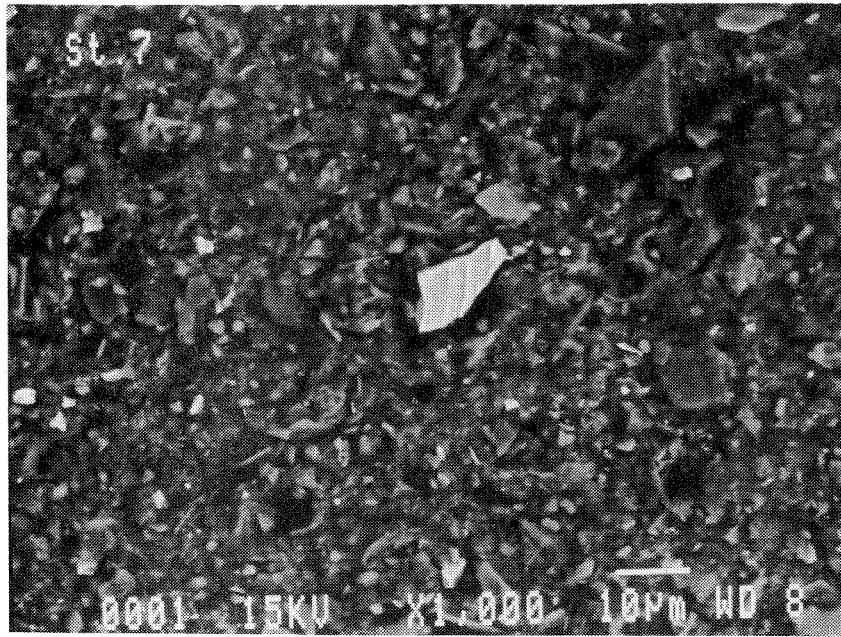
b



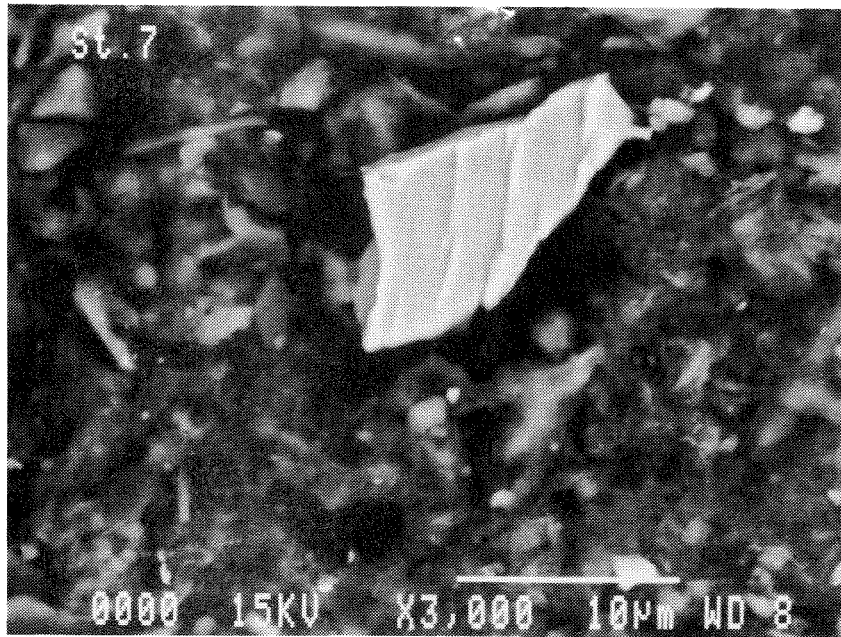
c



d



e



f

Kommentarer til bildene

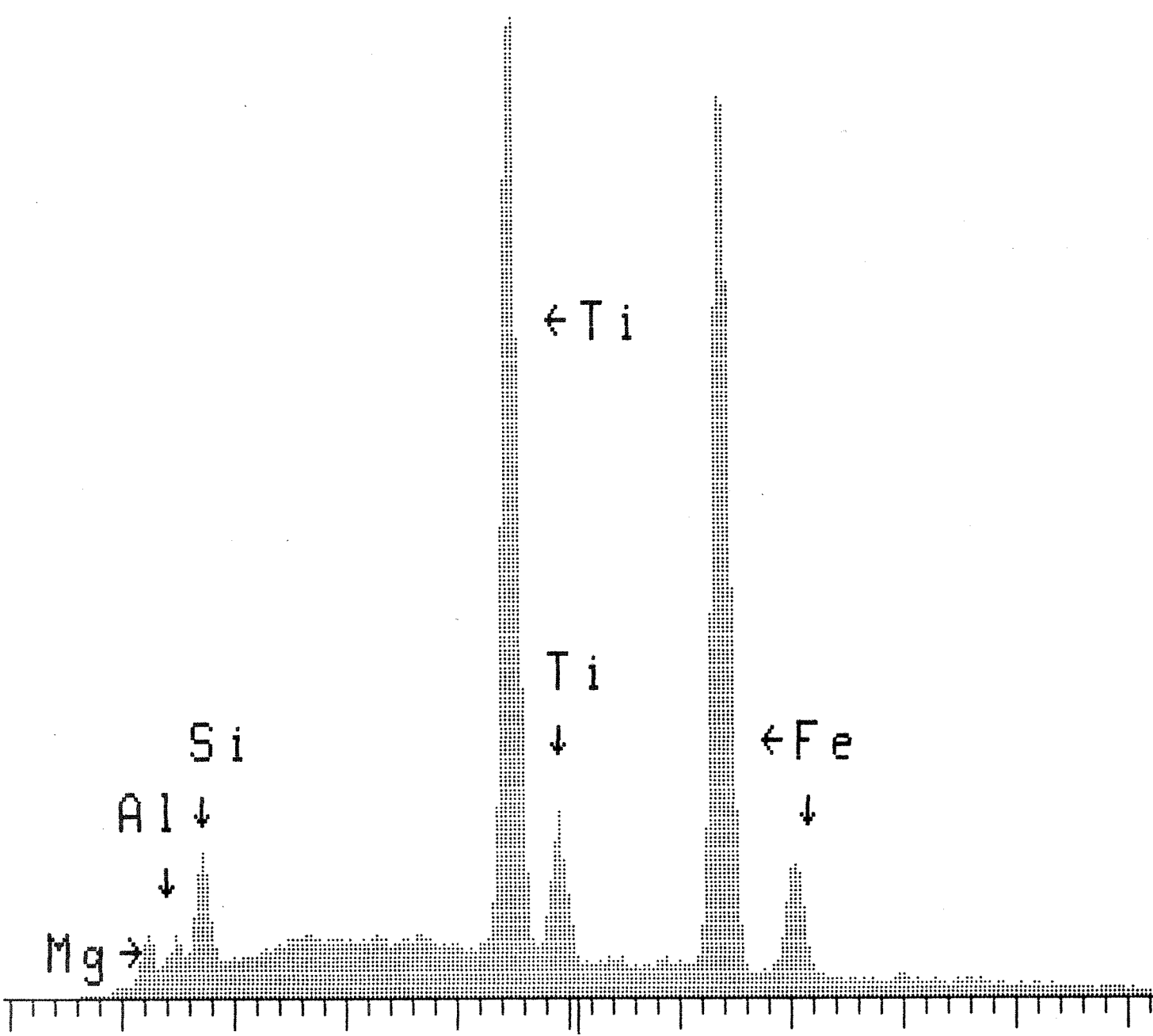
- a) St. 4 - 70 m.
De lyseste partiklene, som er skarpkantet, er ilmenitt. Legg merke til at partiklene opptrer i en samling (fnokk) av andre partikler.
- b) En forstørret ilmenittpartikkel (3000 x). Legg merke til den spesielle overflaten og de skarpe kantene. Partikkelen er ca. 12 x 15 μm (EDAX - utskrift: 163 CNT).
- c) St. 5 - 160 m.
En stor og mange små ilmenittpartikler (fremtrer som lysende partikler).
EDAX-utskrift (139 CNT) av den største partikkelen.
- d) Et agglomerat av partikler, hvor de lyseste er ilmenitt.
- e) St. 7 (vann fra overflaten av sedimentet). Store mengder uorganiske mineralpartikler med en stor og noen små ilmenittpartikler.
- f) En forstørret ilmenittpartikkel (3000 x). Legg merke til likheten til bilde b.
EDAX-utskrift (141 CNT).

5.3 Sammenhengen mellom bunnsedimenter og partikulært materiale i vannet over bunnen

Partikulært materiale i vannet ble analysert for å kunne kartlegge transport av avgangspartikler. Analysene ble gjort på et fåtall stasjoner og bare i bunnvannet. Resultatene viste klart at det partikulære materiale er kontaminert med jern og titan. Mikroskopieringen viste at jern og titan opptrer sammen i partiklene og at dette må være ilmenitt.

Overflatesedimentene på de samme stasjonene er analysert for de samme parametrene. Resultatene er entydige. På stasjoner hvor det ble funnet forhøyede verdier av jern og titan i det suspenderte materiale ble det også registrert anomalier av jern og titan i underliggende sedimenter. I tillegg ble mineralet ilmenitt identifisert i overflatesedimentene.

163 CNT 5100 EU 4K FS: A
Link Systems 860 Analyser 20 EU/CHAN 15-Nov-85



0.0 10.2
MEM A: ST.4 70M JØSSINGFJORDEN

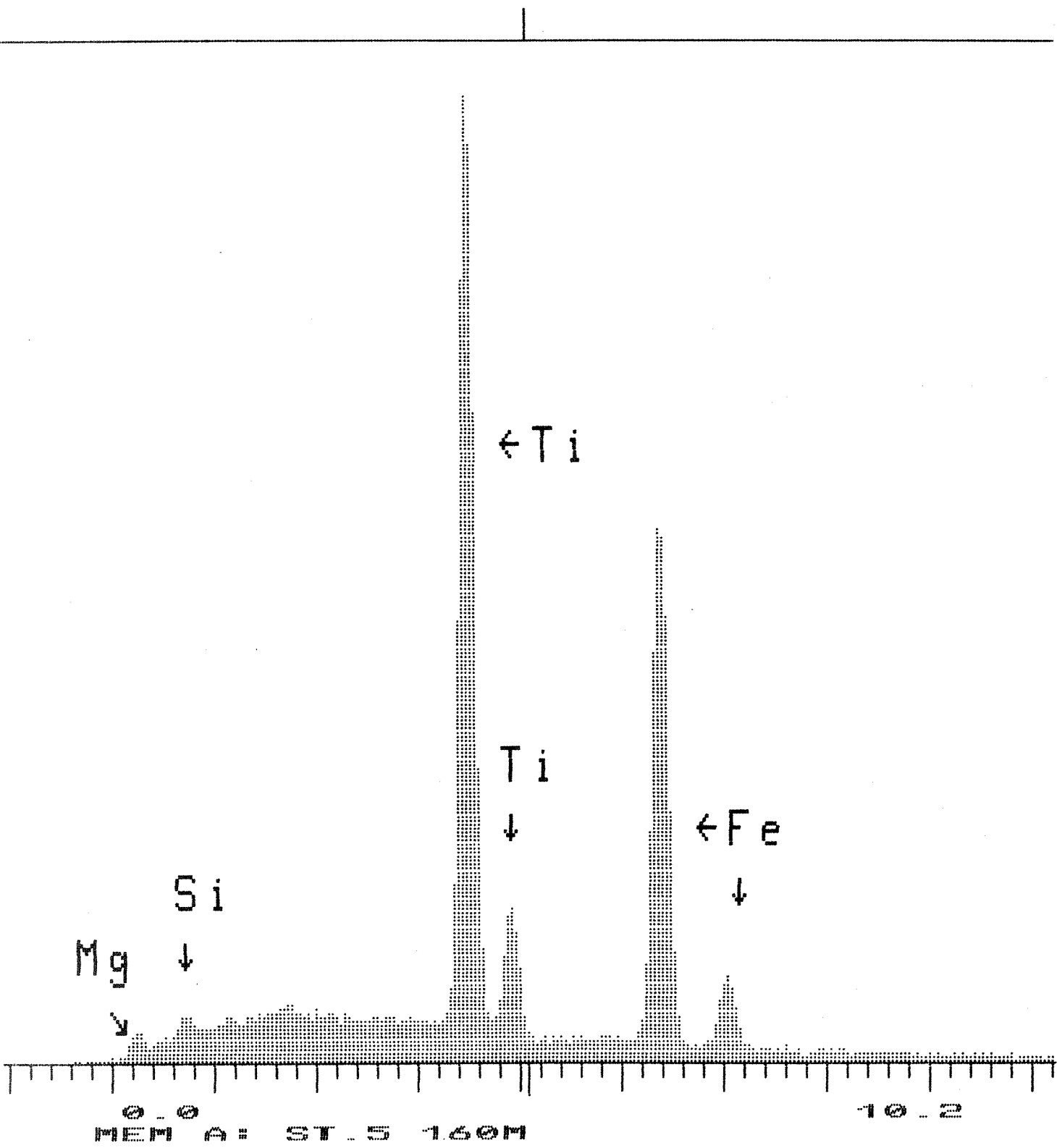
139 CNT

5100 EU
Link Systems 860 Analyser

4K FS: A

20 EU/CHAN

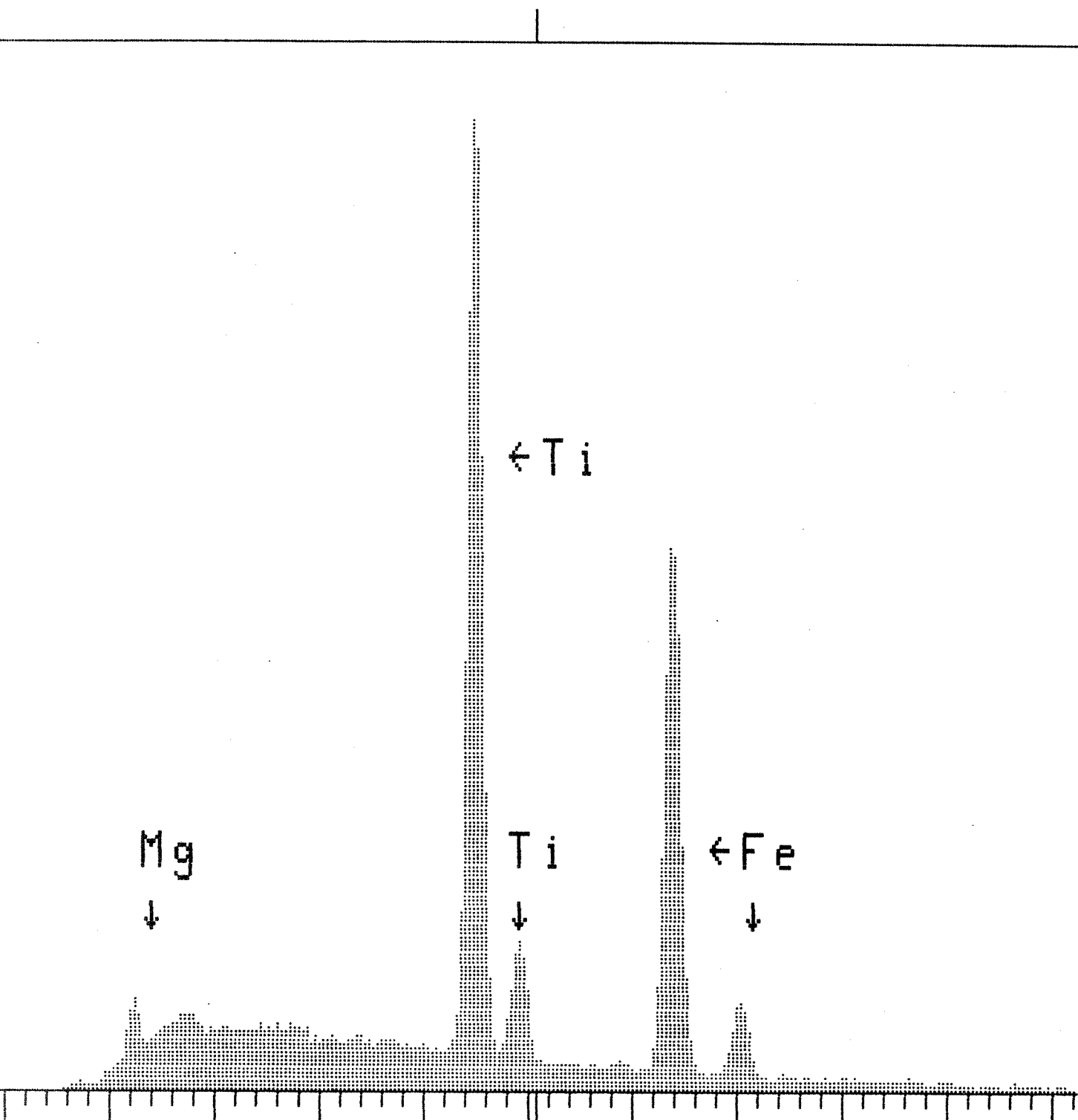
15-Nov-85



141 CNT

5100 EU
Link Systems 860 Analyser

4K FS: A
20 EU/CHAN
15-Nov-85



←Ti

Mg
↓

Ti
↓

←Fe
↓

0.0 10.2
MEM A: ST.7 (OVERUANN) JØSSINGFJ

Tabell 3 viser forholdstallene Fe/Al og Ti/Al i overflatesedimenter og i partikler i bunnvannet. Selv om forholdstallene er noe forskjellige er tendensen klar. Der hvor det ble målt høyt Ti/Al og Fe/Al i partikler i bunnvannet, er det også høye forholdstall i sedimentene. Det betyr at partiklene ikke bare transporteres forbi, men at det skjer en sedimentering på stedet.

Tabell 3. Forholdstallene mellom jern og aluminium og titan og aluminium i partikulært materiale i bunnvannet og i overflatesedimentene.

| Stasjon | Ti/Al | | Fe/Al | |
|---------|----------|--------|----------|--------|
| | Sediment | SPM | Sediment | SPM |
| C | 0,90 | 0,77 | 1,53 | 1,56 |
| J | 0,93 | 0,91 | 1,79 | 1,66 |
| K | 0,77 | 0,45 | 1,70 | 1,05 |
| L | 0,51 | 0,19 | 1,08 | 0,81 |
| M | 0,18 | 0,14 | 0,72 | 0,65 |
| U | 0,87 | 0,64 | 1,51 | 1,30 |
| 4 | 0,54 | 0,25 | 1,22 | 0,75 |
| | | (0,46) | | (1,36) |
| 5 | 0,16 | 0,32 | 0,65 | 0,88 |
| 7 | 0,45 | (0,30) | 1,24 | (1,18) |

Tallene i parantes er prøver fra vannet noen cm ovenfor sedimentflaten.

Fig. 4 viser sammenhengen mellom jern og titan i partikulært materiale og i overflatesedimentene. Den gode korrelasjonen tyder på at jern og titan er assosierte og at dette reflekterer prøvenes innhold av ilmenitt (FeTiO_3). Figuren viser også at prøvene inneholder jern i tillegg i annen forbindelse. Dette kan delvis skyldes avgangens innhold av noe magnetitt og hypersten ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$). Dessuten vil marine sedimenter alltid ha et visst naturlig innhold av jern.

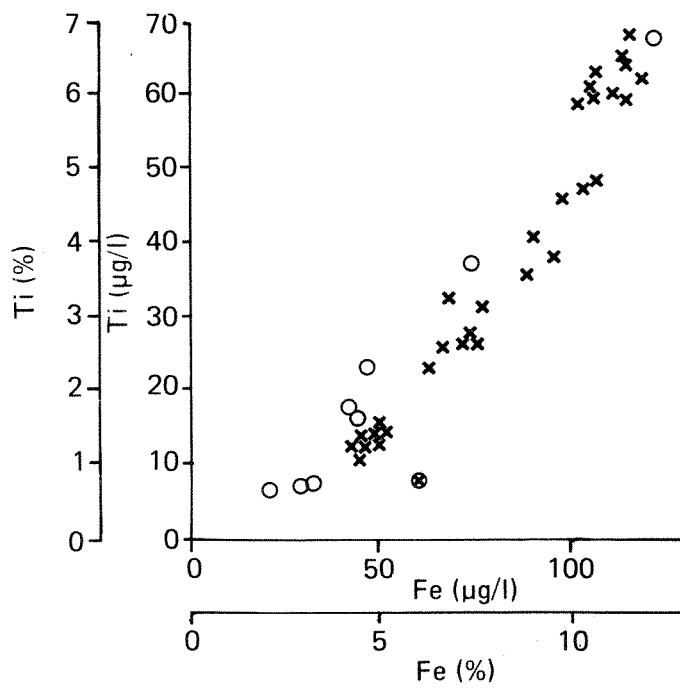


Fig. 4. Sammenhengen mellom titan og jern i overflatesedimenter (x) og i partikulært materiale (o) utenfor Jøssingfjorden. (● = stasjon G).

6. SAMMENFATTENDE VURDERING

Sedimentologisk er undersøkelsesområdet meget komplisert og lite homogent. Det fører til betydelige tolkningsproblemer når sedimentdata fra ulike institusjoner og fra forskjellige tokt skal sammenlignes. Med den relativt upresise posisjonsbestemmelsen som gjøres og de store geografiske forskjellene i sedimenttype, er det vanskelig å sammenligne resultatene. Ved sammenligning av resultater fra jan.-april 85 (A/S Miljøplan) og okt. 85 (NIVA) kan følgende slås fast:

- (i) Analysemetodene som er brukt stemmer godt overens for titan, slik at analysetallene i seg selv er pålitelige.
- (ii) Bruk av forskjellig redskap for prøvetaking medfører alltid en usikkerhet. Grabb er vanligvis betraktet som lite velegnet ved kjemiske analyser av sedimenter. I dette tilfellet er problemet trolig noe mindre på grunn av sedimentets grovhet. For ettertiden må det imidlertid anbefales å bruke corer-redskap. Der hvor egnet corer ikke gir prøve er sannsynligheten for sedimentering av finpartikulært materiale meget liten.
- (iii) Analyser av ufraksjonerte prøver for titan i oktober, sammenlignet med resultater på tilsvarende prøver tatt i 1985 (jan.-april) av Miljøplan, viser generelt god overensstemmelse.

En tendens til noe høyere konsentrasjoner av titan i prøver tatt fra den perifere delen av undersøkelsesområdet må påpekes. Dette gjelder imidlertid når vi sammenligner sjiktene 0-2 cm tatt i jan.-april 1985 med 0-1 cm tatt i oktober 1985. Hvis imidlertid sedimenttilveksten er så høy som 5 mm pr. år, som antydnet av Miljøplan, er det sannsynlig at vi registrerer en tendens til økt akkumulering av gruveavgang i de perifere områdene.

Den største forskjellen i metodikk sammenlignet med tidligere sedimentundersøkelser i området utenfor Jøssingfjorden, er at undersøkelsen i oktober 1985 konsentrerer seg om avgang i sedimentets finfraksjon. Det ble vurdert slik at kjemiske analyser av et ufraksjonert sediment med så stor variasjon i kornstørrelse vil gi lite informasjon om sedimentering av avgang i ytterkantene av området. Et stort innslag av skjellsand i en prøve vil maskere eventuell sedimentering av finpartikulært avgang. Resultatene av analysene av

titan og jern i sedimentets finfraksjon viste at konsentrasjonene er vesentlig høyere enn i ufraksjonert prøve, som ventet (Appendiks, Tabell 2).

Konsentrasjonsforskjellen er størst hvor sedimentet er grovest og minst i Knubedalsdjupet og Dyngadjupet hvor 50-70 % av sedimentet var finere enn sand. Sedimentet på stasjon 9 ved Ana Sira som var grovt (< 10 % finere enn sand) viste bakgrunnsnivå (0,5 % TiO_2) ved analyse av ufraksjonert sediment. Hvis derimot sedimentet siktes og analyseres gir dette et TiO_2 -innhold på 2,0 %, som er to ganger bakgrunnsnivået i silt/leire-fraksjonen. I det første tilfellet vil konklusjonen være at sedimentet er fullstendig upåvirket av gruveavgang, mens det i det andre tilfellet viser at det er en klar påvirkning (iflg. Fig. 3, ca. 7 % avgang i finfraksjonen). Hvis målsettingen med en sedimentundersøkelse er å vise hvor det avsettes avgang og hvor det ikke avsettes avgang, må det gjøres analyser på finmaterialet. Analyser av ufraksjonert, total prøve gir imidlertid informasjon om den totale nedslamming på stedet, dvs. i hvilken grad den sedimenterte avgangen dominerer eller ikke i forhold til det totale sediment.

7. LITTERATUR

- Calvert, S.E. (1976). The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. In: Riley, J.P. and Chester, R. (eds.) Chemical Oceanography, vol. 1, ch. 33, 187-271.
- Eisma, D., Skei, J., Westerlund, S., Kalf, J., Magnusson, B., Næs, K. and Sørensen, K. (1984). Distribution and composition of suspended particulate matter and trace metals in the Skagerrak. WGMS, Rostock, 1984. ICES contribution, 14 p + figs.
- Ellis, D.V. (1982). Marine Tailings Disposal. Ann Arbor Science, 368 p.
- Goyette, D. and Nelson, H. (1977). Marine Environmental Assessment of Mine Waste Disposal into Rupert Inlet, British Columbia. Surveillance Report EPS PR-77-11, Environmental Protection Service, Pacific Region, Environment Canada.
- Havforskningsinstituttet (1985). Spredning av gruveavfall i kystområdet utenfor Jøssingfjord fra Titania A/S. Rapport FO 8502.
- Hay, A.E., Murray, J.W. and Burling, R.W. (1983). Submarine channels in Rupert Inlet, British Columbia: I. Morphology. In: Syvitski, J.P.M. and Skei, J.M. (eds.). Sedimentology of Fjords., Sed. Geol. 36, 289-315.
- Miljøplan (1981). Spredning av slam i sjøen ved deponering av avgang fra Titania A/S i Dyngadjupet.
- Miljøplan (1985). Marine overvåkningsundersøkelser i Jøssingfjord - Dynga -området 1984 og 1985.
- Niemistö, L. (1974). A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr., Helsinki, 238, 33-38.
- Price, N.B. and Calvert, S.E. (1973). A study of the geochemistry of suspended particulate matter in coastal waters. Mar. Chem. 1, 169-189.
- Price, N.B. and Skei, J.M. (1975). Areal and seasonal variations in the chemistry of suspended particulate matter in a deep fjord. Estuar. Coast. Mar. Sci., 3, 349-369.

- Roldalset, E. (1978). Mineralogical and chemical changes during weathering, transport and sedimentation in different environments, with particular reference to the distribution of yttrium and the lanthanoide elements. Dissertation, University of Oslo.
- Sholkovitz, E.R. and Copland, D. (1982). The chemistry of suspended matter in Estwaite Water, a biologically productive lake with seasonally anoxic hypolimnion. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 393-410.
- Singh, S. (1983). Geochemistry and sedimentology in Holocene and recent sediments from Skagerrak. Cand.Scient Thesis in Geology, University of Oslo.
- Skei, J.M. (1975). The marine chemistry of Sjørfjorden, west Norway. Unpubl. Ph.D-thesis, University of Edinburgh.
- Skei, J.M. and Melsom, S. (1982). Seasonal and vertical variations in the chemical composition of suspended particulate matter in an oxygen-deficient fjord. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14, 61-78.
- Wright, P.L. (1972). The geochemistry of recent sediments of the Barents Sea. Unpubl. Ph.D-thesis, University of Edinburgh.

APPENDIKS

Tabell 1. Resultater fra analyser av jern, aluminium og titan i sedimenter fra området utenfor Jøssingfjorden, 16-17 oktober 1985 (% tørt materiale, < 63 μ m).

| Stasjon | Sedimentdyp (cm) | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ |
|---------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| 3 | 0-1 | 13,5 | 6,22 | 13,8 |
| | 1-2 | 13,4 | 5,85 | 12,7 |
| 4 | 0-1 | 14,0 | 6,71 | 12,9 |
| | 1-2 | 14,0 | 7,55 | 14,0 |
| 5 | 0-0,5 | 13,2 | 1,94 | 6,50 |
| | 0,5-1 | 12,3 | 2,23 | 6,90 |
| | 1-2 | 12,2 | 2,31 | 7,11 |
| 7 | 0-1 | 9,57 | 3,80 | 8,94 |
| | 1-2 | 10,6 | 4,35 | 10,3 |
| 9 | 0-1 | 9,43 | 2,04 | 6,26 |
| | 1-2 | 9,68 | 2,35 | 7,13 |
| 26 | 0-1 | 13,5 | 11,3 | 16,6 |
| | 1-2 | 13,1 | 10,8 | 16,3 |
| C | 0-1 | 13,1 | 10,4 | 15,2 |
| | 1-2 | 13,2 | 10,0 | 16,1 |
| C 2 | 0-1 | 12,6 | 9,73 | 14,7 |
| | 1-2 | 12,7 | 9,95 | 15,2 |
| G | overfl. | 5,55 | 1,30 | 8,67 |
| J | 0-1 | 12,6 | 10,4 | 17,1 |
| | 1-2 | 12,7 | 9,87 | 16,4 |
| K | 0-1 | 11,4 | 7,76 | 14,7 |
| | 1-2 | 11,8 | 7,97 | 15,3 |
| L | 0-1 | 11,9 | 5,37 | 11,4 |
| | 1-2 | 11,7 | 5,13 | 11,0 |
| M | 0-1 | 11,5 | 1,84 | 6,31 |
| | 1-2 | 11,3 | 1,64 | 6,38 |
| O | 0-1 | 11,1 | 2,34 | 7,19 |
| | 1-2 | 12,6 | 2,21 | 7,08 |
| P | 0-1 | 12,3 | 4,19 | 9,47 |
| | 1-2 | 11,8 | 4,70 | 10,30 |
| P 2 | 0-1 | 11,6 | 4,32 | 10,80 |
| | 1-2 | 11,8 | 4,45 | 10,70 |
| U | 0-1 | 13,1 | 10,1 | 15,0 |
| | 1-2 | 13,2 | 10,6 | 16,4 |

Tabell 2. Parallellanalyser av sedimenter ved Titania A/S
(0-1 cm dyp)

| Stasjon | Usiktet prøve | < 63 μm - fraksjon | | (TiO ₂ %) |
|---------|---------------|-------------------------------|---------|----------------------|
| | | SI | Titania | |
| J | 7,4 | 10,4 | 10,1 | |
| K | 3,6 | 7,76 | 7,9 | |
| L | 2,7 | 5,37 | 6,0 | |
| 7 | 0,58 | - | - | |
| P | 2,1 | 4,19 | 4,1 | |
| C | 7,6 | 10,4 | 10,1 | |
| U | 7,9 | 10,1 | 9,8 | |
| 26 | 9,6 | 11,3 | 10,8 | |
| C 2 | 7,0 | 9,73 | 9,3 | |
| O | 1,0 | 2,34 | 2,2 | |
| 3 | 2,4 | 6,22 | 5,9 | |
| 4 | 3,8 | 6,71 | 6,5 | |
| 9 | 0,5 | 2,04 | 1,9 | |
| M | 1,3 | 1,84 | 1,8 | |
| P 2 | 1,4 | 4,31 | 4,9 | |

Tabell 3. Analyser av aluminium, titan og jern i partikulært materiale på 0,4 μm Nuclepore membranfiltre ($\mu\text{g/l}$).

| Stasjon | Bunndyp (m) | Prøvetakingsdyp (m) | Al | Ti | Fe |
|---------|----------------|------------------------|------|------|-------|
| C | 98 | 80 | 48,0 | 37,0 | 75,0 |
| J | 125 | 110 | 73,8 | 67,1 | 122,8 |
| K | 117 | 110 | 39,5 | 17,8 | 41,4 |
| L | 132 | 125 | 37,0 | 7,0 | 30,0 |
| M | 170 | 160 | 51,2 | 7,3 | 33,2 |
| U | 85 | 70 | 36,1 | 23,1 | 46,9 |
| 4 | 85 | 70 | 27,1 | 6,8 | 20,3 |
| 5 | 165 | 160 | 50,0 | 16,0 | 44,0 |

Tabell 4. Salt og temperatur i prøver fra bunnvannet hvor partikulært materiale ble innsamlet.

| Stasjon | Prøvedyp (m) | S o/oo | T $^{\circ}\text{C}$ | Sigma-T |
|---------|--------------|--------|----------------------|---------|
| M | 160 | 35.004 | 6,70 | 27.504 |
| 5 | 160 | 35.028 | 6,71 | 27.521 |
| L | 125 | 34.821 | 8,25 | 27.136 |
| K | 110 | 34.474 | 10,18 | 26.551 |
| J | 110 | 34.756 | 8,26 | 27.084 |
| C | 80 | 34.333 | 10,37 | 26.408 |
| 4 | 70 | 34.178 | 11,63 | 26.059 |
| U | 70 | 34.142 | 11,18 | 26.115 |