

0-86019

# Indre Sørfjord

02-1881

Norsk institutt for vannforskning



NIVA



Sedimentenes betydning  
for metallforurensning  
i miljøet. Muligheter og  
behov for tiltak.

**Fase 1.**

Teoretisk utredning om  
rehabilitering.

RAPPORT NR

**1|86**



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Grøoseveien 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 97 00

Prosjektnr.:	86019
Undernummer:	
Løpenummer:	1881
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: Indre Sørfjord. Sedimentenes betydning for metallforurensning i miljøet. Muligheter og behov for tiltak. Fase 1. Teoretisk utredning om rehabilitering.	Dato: 29.08.86
	Prosjektnummer: 86019
Forfatter (e):  Næs, Kristoffer Skei, Jens	Faggruppe: Marin økologi
	Geografisk område: Hordaland
	Antall sider (inkl. bilag): 52

Oppdragsgiver: Kontaktutvalget for miljøspørsmål i Odda	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:  Bunnsedimentene innerst i Sørfjorden er sterkt forurenset av tungmetaller etter 60 års utslipp fra Norzink A/S. Iverksette tiltak for å redusere og delvis stoppe utslippene ventes å gi forbedring i fjorden. Hvor raskt Sørfjorden blir ren vil avhenge av betydningen av diffuse kilder, deriblant sedimentene. Utredningene tar for seg alternative tiltak for å begrense denne forurensningskilden basert på litteraturstudier og besøk i USA og Japan.
---

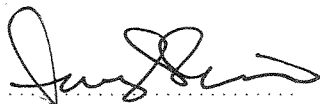
4 emneord, norske:

1. Sørfjorden
2. Sedimenter
3. Tungmetaller
4. Tiltak

4 emneord, engelske:

1. Sørfjorden
2. Sediments
3. Heavy metals
4. Remedial options

Prosjektleder:

  
.....  
Jens Skei

For administrasjonen:

  
.....  
Haakon Thaulow

ISBN 82-577-1098-9

0-86019

INDRE SØRFJORD

SEDIMENTENES BETYDNING FOR METALLFORURENSNING I MILJØET. MULIGHETER OG  
BEHOV FOR TILTAK.

FASE 1. TEORETISK UTREDNING OM REHABILITERING.

Oslo, 29.08.86

Prosjektleder: Jens Skei

Medarbeider: Kristoffer Næs

## FORORD

I henhold til kontrakt av 29. januar 1986 med Kontaktutvalget for miljøspørsmål i Odda har Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) utført en teoretisk utredning angående rehabilitering av Indre Sørfjord. Prosjektets arbeidsoppgaver er spesifisert i arbeidsavtale mellom Kontaktutvalget og NIVA (vedlegg til kontrakt).

Utredningen er utført i nært samarbeid med Styringsgruppen for prosjektet som består av stortingsrepresentant Leiv Stensland (formann), verkstedsdirektør Karl O. Tjalvin, Norzink, kommuneveterinær Ingvar Tveit, Odda, overing. Per Å. Beck, SFT og Terje Aasen, Fylkesmannen i Hordaland (utnevnt av MD). Kristoffer Næs og Jens Skei har vært involvert fra NIVA's side.

NIVA, 29.08.86

Jens Skei  
Prosjektleder

## INNHALDSFORTEGNELSE

	side
Forord	1
1. Sammenfatning og anbefalinger	3
2. Innledning	4
2.1. Metallforurensning av sedimenter	4
2.2. Lokale forhold	5
2.3. Formål	9
3. Gjennomføring av fase 1.	12
3.1. Litteraturstudium	12
3.2. Eksterne kontakter	13
3.3. Ide-dugnader	14
3.4. Studiereise til USA og Japan	14
4. Alternative tiltak	16
4.1. Erfaringer fra andre områder	16
4.1.1. Binding/avgiftning av potensielt skadelige stoffer	16
4.1.2. Mudring av forurensede sedimenter	16
4.1.3. Overdekking ("capping") av forurensede sedimenter	18
4.2. Mulige tiltak i Sørfjorden	21
4.2.1. Binding/avgiftning	21
4.2.2. Mudring	22
4.2.3. Overdekking ("capping")	23
5. Anbefalinger	25
6. Forslag til videreføring	26
7. Litteratur	28
8. Vedlegg	32

## 1. SAMMENFATNING OG ANBEFALINGER

Det overordnede formål med prosjektet Indre Sørfjord er å utrede sedimentenes betydning for metallforurensningen i Sørfjorden og hvilke behov og muligheter det er for tiltak. Det spesifikke mål med fase I av prosjektet er å gjøre en teoretisk utredning basert på eksisterende kunnskap om hvilke rehabiliteringsmuligheter som foreligger.

Bakgrunnen for prosjektet er at i løpet av 1986 gjennomføres betydelige utslippsreduksjoner ved Norzink A.S. Jarosittutslippet til fjorden opphørte pr. 1. juli og derved 100% eliminering av et stort metallutslipp. I løpet av året vil samtidig en spuntvegg bygges i Eitrheimsvågen som skal hindre at tidevann trenger inn i gamle depønier og transporterer metaller ut i fjorden. På bakgrunn av disse tiltakene er det naturlig å spørre om hvor lang tid det vil ta før merkbare forbedringer skjer i Sørfjorden og Hardangerfjorden. Et usikkerhetsmoment i den sammenheng er sedimentene i fjorden hvor store mengder tungmetaller er lagret som følge av nesten 60 års forurensning. Hvis det skulle vise seg at forbedringer i miljøet som følge av utslippsreduksjoner ikke er tilstrekkelig, kan det være behov for å begrense sedimentene som forurensningskilde. Det er disse forhold som denne utredningen tar for seg.

De konklusjoner man er kommet fram til kan sammenfattes på følgende måte:

1. *Det synes å være rimelig godt dokumentert at sedimentenes innhold av forurensende stoffer påvirker bunnfaunaen.*
2. *Det synes generelt å være delte meninger om sedimentets betydning som forurensningsproblem når det gjelder påvirkning på vannmassen over sedimentet og organismer som lever i vannet (f.eks. fisk, blåskjell etc.).*
3. *Det eksisterer få opplysninger om det kvantitative bidraget fra forurensede sedimenter til vann og organismer, og hvilke forhold som er avgjørende for denne transporten.*
4. *Det er få eksempler på tiltak mot forurensning av sedimenter på det stedet de er avsatt. De fleste tiltakene gjelder forflytting av sedimenter og overdekning på et dertil egnet sted.*
5. *Vi er kun kjent med ett større tiltak mot sterkt forurensede sedimenter. Dette gjelder mudring og overdekking av kvikksølvforurensede sedimenter fra Minamata Bay, Japan. (Lignende operasjoner i mindre skala er gjennomført på 35 lokaliteter i Japan).*
6. *Basert på eksisterende litteratur, studietur til USA og Japan*

og lokale forhold i indre Sørfjord synes det å utkrystallisere seg to alternative opprensningstiltak:

(i) Bunnområdet fra Lindeneset til Odda overdekkes gjennomsnittlig med 50 cm uforurenset breslam eller annet materiale som skulle vise seg å være velegnet både mht. konsistens og mengde. Dette skulle være tilstrekkelig for å hindre både kjemisk utlekking og biologisk transport av metaller ut av sedimentet.

(ii) Det bygges en spuntvegg fra sørspissen av Eitrheimsneset og over mot Tokheim (maks. vandyp, 15 m). Dermed stenges hele Eitrheimsvågen av. Ved hjelp av cutter-suction mudring fjernes de øvre 25-50 cm av bunnsedimentene innenfor Lindeneset. Muddermassen pumpes i rørledninger og deponeres bak den nye spuntveggen. Et vannbehandlingsanlegg bygges og vannet renses før det pumpes tilbake til sjøen. Etter at mudringsoperasjonen er over, tildekkes muddermassene med breslam eller annen egnet masse til at vågen er helt oppfylt. Deretter kan det nye landarealet brukes til industriformål. Dette alternativet er det samme som er gjennomført i Minamata Bay, Japan.

7. Det bør til slutt påpekes at de skisserte alternativer kun kan være aktuelle å gå videre med hvis fase II viser at tiltak er nødvendig.
8. Fase II vil også gi grunnlag for å velge type overdekningsmateriale som vil gi best resultat.

## 2. INNLEDNING

### 2.1 Metallforurensning av sedimenter

Økt industrialisering av samfunnet har ført til at mange vannforekomster er blitt brukt som resipient for avløpsvann. Dette har gjort at nærområdene til større industribedrifter ofte er forurenset av miljøgifter. En type slike tilførsler er tungmetallutslipp, ofte fra smelteverkindustrien eller fra industri som bruker tungmetaller som katalysatorer i produksjonen.

Tungmetallforurensninger vies interesse spesielt av to grunner: For det første, tungmetaller elimineres vanligvis ikke fra det akvatiske økosystemet ved naturlige prosesser. For det annet, tungmetaller anrikes i bunnsedimentene. Dette fordi metallutslippene ofte er i partikulær form eller fordi løste metaller har stor tilbøyelighet til å binde seg til partikulært materiale som vil synke til bunns. Metaller slik som kvikksølv, kadmium, arsen, kobber og andre kan igjen

bli omdannet i de anrikede sedimentene både ved fysiske, kjemiske og biologiske prosesser og bli transportert ut i vannmassen og inn i biologisk materiale. Inntak av metallforurenset føde kan dermed gi kroniske eller akutte lidelser på mennesker. Metallforurensete bunn-sedimenter har derfor ført til bekymring og interesse rundt om i verden (Førstner & Wittmann 1979).

## 2.2. Lokale forhold

Sørfjorden har vært brukt som resipient for industrielt avløpsvann i 78 år. Dette har naturlig nok satt sine spor i miljøet. Store mengder tungmetaller er tilført fjorden siden 1929 da sinkproduksjonen startet. Det finnes ingen oversikt over hvor mye tungmetaller som er sluppet ut, ettersom miljøspørsmål først ble fokusert på i begynnelsen av 70-årene. En betydelig prosent av tungmetallutslippene gjenfinnes i bunn-sedimentene, spesielt innerst i fjorden. Akkumuleringen på bunnen i området rundt Eitrheimsneset (Fig. 1) er dominert av utslipp fra Norzink. Forurensningen er størst i området innenfor Lindeneset (Fig. 1), hvor bunnarealet er beregnet til 2.6 mill m<sup>2</sup>. Vanddypet er i hele dette området mindre enn 50m (32 % av bunnarealet mellom 40 og 50m). Hvis vi antar at tykkelsen av det forurensete sedimentlaget varierer mellom 25 og 50 cm, utgjør dette 650.000 m<sup>3</sup> - 1.300.000 m<sup>3</sup> forurenset sediment. I de øvre 10 cm av disse sedimentene befinner det seg i størrelsesorden:

- 3-6000 tonn sink
- 1-3000 tonn bly
- 15-20 tonn kvikksølv
- 10-15 tonn kadmium

Til sammenligning er det totale mengden av antropogen sink (dvs. sink som skyldes forurensning) i bunn-sedimentene i hele Sørfjorden beregnet til 10.000 tonn (Skei, 1975).

Undersøkelse av bunn-sedimentene ble først gjort i 1971 (Skei et al., 1972, Skei, 1975). Disse undersøkelsene avslørte høye metall-konsentrasjoner på strekningen Tyssedal-Odda (Fig. 2). Forurensningen kunne imidlertid registreres i hele Sørfjorden. Den vertikale fordelingen av tungmetaller i sedimentkjerner som er aldersdaterte viser at forurensningen startet for alvor i 30-årene, som følge av oppstartingen av sinkproduksjonen (Fig. 3).

Nye sedimentundersøkelser ble gjennomført i 1978 og 1981 (Skei, 1979; Næs og Rygg, 1982). Disse bekrefter det høye forurensningsnivået innerst i fjorden. I 1985 ble det gjennomført undersøkelser som i tillegg til Sørfjorden også omfattet Hardangerfjorden. Resultatene fra denne undersøkelsen viser at metallforurensningen er betydelig, selv i



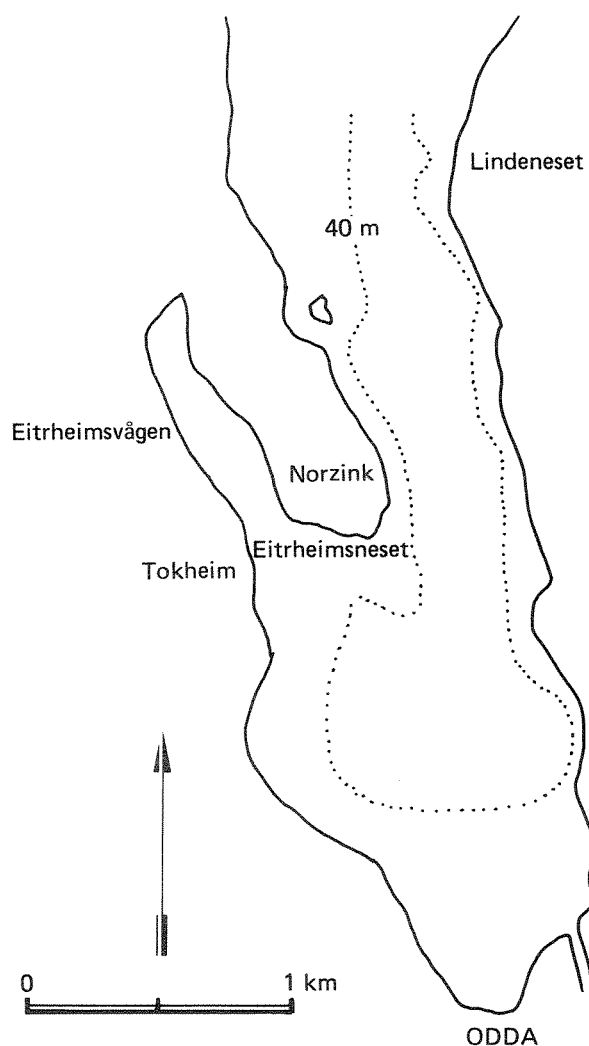


Fig. 1. Kart over indre Sør fjord (før utfylling i Eitrheimsvågen).

Hardangerfjorden (Kirkerud & Knutzen 1986; Skei et al., 1986).

Sammenlignet med innhold av tungmetaller i sedimenter fra andre marine områder, skiller Sør fjorden seg ut som ekstrem. Tabell 1 fra Førstner og Wittmann (1979) viser en sammenstilling av tungmetalldata i estuarine sedimenter hvor Sør fjorden er med. Også i en annen sammenstilling av de Kock og Marquenie (1982) for kadmium i sedimenter framgår at det Sør fjorden er ekstrem.

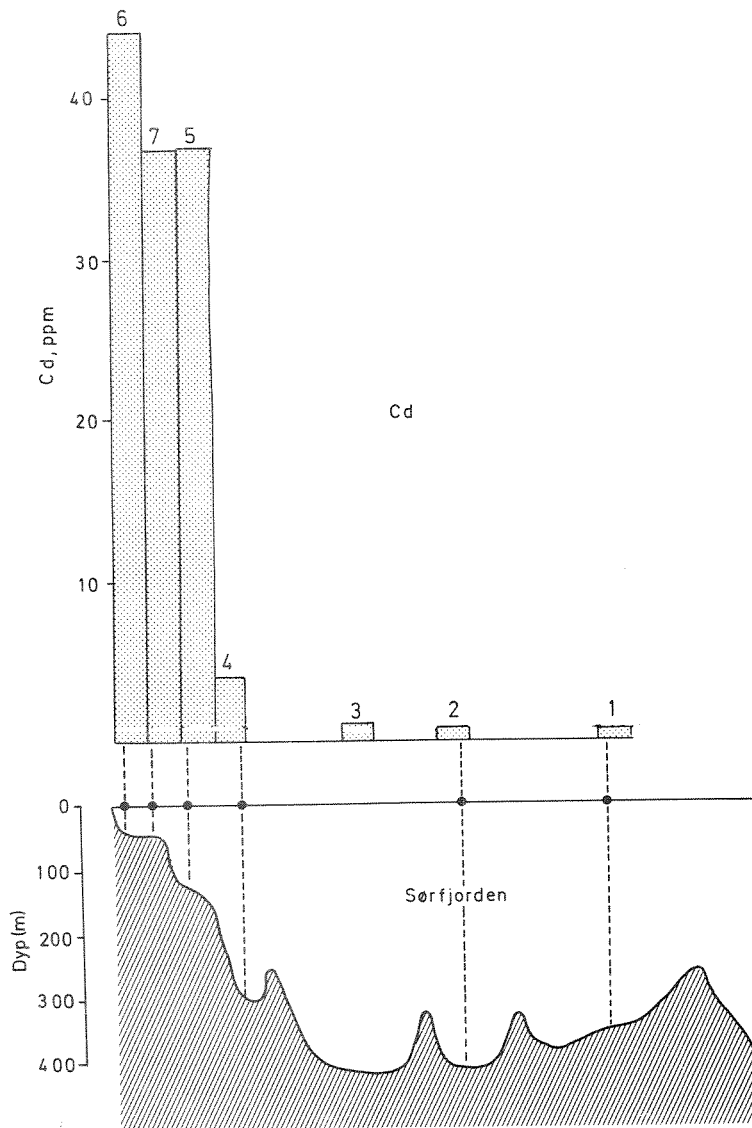


Fig. 2. Kadmium i overflatesedimenter i Sjørfjorden, april 1978.

Tykkelsen av det forurensede sedimentlaget varierer sterkt i Sjørfjorden. Ute ved Børve var det forurensede laget i 1972 10 cm tykt, tilsvarende en årlig sedimenttilvekst på 2 mm (Skei, 1981). I Oddas havnebasseng må vi regne med en sedimenttilvekst som er 3-4 ganger høyere slik at det forurensede laget i området Lindeneset-Odda i dag vil være mellom 30 og 50 cm tykt. Lokalt nær utlippene fra Norzink og Odda Smelteverk må vi anta at sedimenttykkelsen er betydelig større.

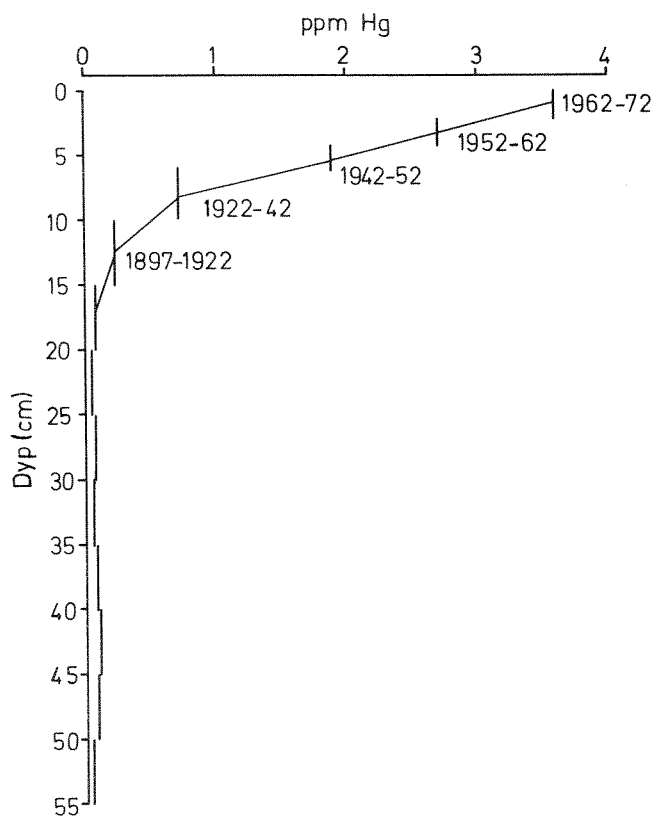


Fig. 3. Vertikal fordeling av kvikksølv i sedimentet nær Espe tatt i 1972.

Den naturlige sedimenttilveksten i Sørfjorden er forholdsvis liten ettersom den naturlige slamtransporten til fjorden begrenses av Sandvinvannets beliggenhet (Fig. 4). Brevann fra Buarbreen (arm av Folgefonna) avsetter sitt slam i stor grad i Sandvinvannet, som dermed fungerer som slamfelle. Mengdene av slam som føres med Opo er derfor moderate, selv i flomperioder. Dessuten vil det slammet som tilføres



Tabell 1. Maksimum metallkonsentrasjoner i sedimenter fra forskjellige estuarer (verdier i ppm tørrvekt). Fra Førstner og Wittmann (1979).

	Ag	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
Average shale	0.1	0.3	90	45	0.4	20	95
Rio Tinto Estuary (Spain) <sup>a</sup>	-	4.1	-	1,400	-	1,600	3,100
Restronguet Estuary (United Kingdom) <sup>b</sup>	7	12	1,060	4,500	-	1,620	3,000
Acushnet Estuary (New Bedford Hr) <sup>c</sup>	40	76	3,200	7,500	3.8	560	2,300
Corpus Christi Bay (United States) <sup>d</sup>	-	130	-	-	-	-	11,000
Derwent Estuary (Tasmania/Australia) <sup>e</sup>	-	862 (1,400)	258	- (10,000)	1,130	1,000 (11,000)	10,000 (104,000)
Sörfjord (Norway) <sup>f</sup>	190	850	-	12,000	853*	30,500	118,000

<sup>a</sup> Stenner and Nickless, 1975. <sup>b</sup> Thornton et al., 1975. <sup>c</sup> Summerhayes et al., 1977. <sup>d</sup> Holmes et al., 1974. <sup>e</sup> Bloom and Ayling, 1977 (values from refineries at outfall). <sup>f</sup> Skei et al., 1972.

\*Skei, 1979.

fjorden i flomperioder i stor grad transporteres langt utover fjorden i brakkvannslaget. På den måten vil Oddas havnebasseng få tilført små mengder med naturlig sediment. Konsekvensen er at den naturlige overdekkingen og fortynningen av forurensede sedimenter går sakte.

### 2.3. Formål

Det overordnede formål med prosjektet har sin bakgrunn i følgende forhold:

1. I 1986 gjennomføres store tiltak for å redusere tilførslene av tungmetaller til fjorden.
2. Dette forventes å gi betydelige miljøforbedringer med reduksjon av metaller i vann, biologisk materiale og sedimenter i nevnte tidsrekkefølge.
3. Hvor raskt forbedringen vil skje vil avhenge av om gamle forurensede bunnavløringene fortsatt vil forurense miljøet.

På bakgrunn av dette, og den usikkerheten som bunnavløringene skaper med hensyn til miljøproblemer, syntes det riktig å allerede nå være forberedt på at tiltak kan være nødvendig. Det overordnede formål er

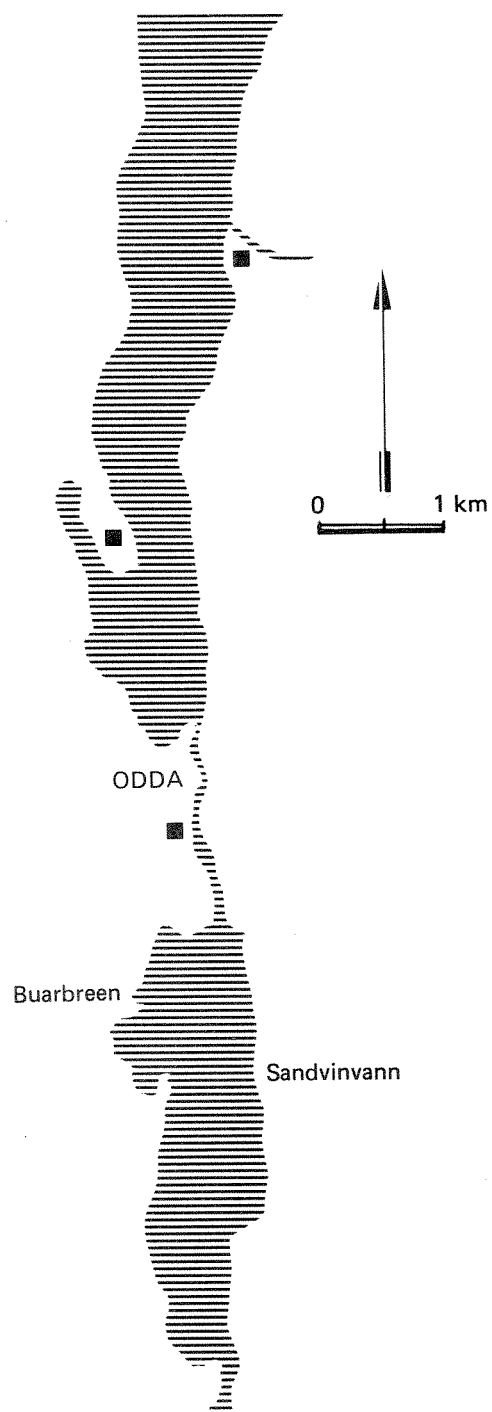


Fig. 4. Kart over indre Sør fjord og Sandvinvannet. (■ markerer de tre største industribedriftene.)

derfor å utrede muligheter for tiltak for å redusere forurensningsfaren med forurensede sedimenter, hvis forsøk viser at dette er nødvendig. Prosjektet er delt opp i tre faser, hvor fase 1 omfatter en teoretisk utredning om rehabilitering av indre Sørfjord. Det spesifikke formål med fase 1 er:

- (i) å utrede alternative opprensningstiltak i indre Sørfjord, basert på erfaringer fra områder i inn- og utland.
- (ii) på grunnlag av denne utredningen vurdere behovet for en fase II som skal kvantifisere bunnsedimentene som forurensningskilde, samt skalere problemet.



### 3. GJENNOMFØRING AV FASE I

#### 3.1. Litteraturstudium.

Rehabilitering av fjorder knyttet til tilsvarende problem som i Sør-fjorden, er sjeldent selv i verdensmålestokk. Det er derfor lite informasjon som er publisert i de vanlige vitenskapelige tidsskriftene. For å skaffe tilveie mest mulig ajourført data ble et litteratursøk utført innledningsvis. Det ble begrenset til artikler nyere enn 1965. I litteratursøket er det søkt på følgende emneord eller kombinasjoner av disse:

```

marine sediments
    trace metals
        restoration
        restauration
        regeneration
        decontamination
        capping
        suction dredging
        hypersedimentation
tailings
mine tailings

```

Litteratursøket er utført i følgende databaser:

```

geoarkiv
georef
pollution abstract
oceanic abstract
aqualine
aquatic sciences and fisheries abstract
national technical information service
compendex

```

Hovedproblemet med datasøket var å velge de rette emneordene og kombinasjonene av disse. Søket ga 1500-2000 referanser som ble vurdert. Imidlertid, kun et fåtall av disse var aktuelle. For eksempel ga emneordet "capping", som skulle dekke overdekkings- problematikken, kun 5 aktuelle referanser. Litteratursøket må derfor karakteriseres som relativt lite vellykket med hensyn på frambringning av publikasjoner om rehabilitering av fjorder. Det viktigste resultatet av datasøket var imidlertid et fåtall referanser som ga muligheter for direkte kontakt via brev, telefon eller teleks med personer eller institusjoner.

### 3.2. Eksterne kontakter

Følgende institusjoner ble kontaktet:

1. Gøteborg Universitet.
2. Hamburg Universitet.
3. Delft Hydraulics Laboratory, Nederland.
4. Institut fur Sedimentforschung, Universitat Heidelberg.
5. Science Applications Inc., Ocean Science & Technology Division, Newport, USA.
6. State Unniversity of New York at Stony Brook, USA.
7. United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Center.
8. Department of the army, New York District, corps of engineers, USA.
9. Department of the army, Waterways experimentstation, corps of engineers, Vicksburg, USA.
10. Ocean Research Institute, University of Tokyo, Japan.
11. Department of Agricultural Chemistry, Kagawa University, Japan.
12. Marine Geology Department, Geological Survey of Japan, Japan.
13. Department of Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Japan.
14. Geochemical Laboratory, Metrological Research Institute, Japan.
15. Water Quality Control Division, Environmental Agency, Tokyo, Japan.
16. Japan Bottom Sediments Management Association, Tokyo, Japan.
17. National Research Institute for Pollution and Resources, Japan.
18. University of Tokyo, Faculty of Fisheries, Japan.
19. University of Tokyo, Faculty of Science, Chemical department, Japan.
20. Ministry of Transport, International co-operation office, port and harbors bureau, Japan.

Resultatet av denne korespondansen var meget fruktbar og ga helt ajourført informasjon angående rehabilitering rundt om i verden. Spesielt var 6,9,10,16,18 og 20 viktige kontakter og dannet grunnlag for studiereisen til USA og Japan (jfr. kap.3.4.).

### 3.3. Ide-dugnader

En ide-dugnad defineres her som en fri meningsutveksling om et problem, hvor ide-generering og kreativitet står i fokus (eng. brainstorming). Dette er en møteform som kan være nyttig, hvor oppfinnsomhet og nytenking på tvers av faggrensene er vesentlig.

Under mottoet "Kan Sørfjorden gjøres raskere rein?" ble det avholdt to dugnader - i Oslo (10.6) og i Odda (12.6). Ved ide-dugnaden i Oslo deltok 20 personer med forskjellig fagbakgrunn. Diskusjonen hadde som utgangspunkt at tiltak var nødvendig og at minst tre alternativer forelå: mudring, avgiftning/avbinding og tildekking ("capping"). Diskusjonen konkluderte med at tildekking syntes å være best gjennomførbart, hvor breslam som tildekkingsmateriale ville være best egnet.

Ved ide-dugnaden i Odda møtte 30 personer av stedets befolkning opp. Forskjellen fra møtet i Oslo var at møtedeltagerne her ikke nødvendigvis hadde noen formell faglig bakgrunn. Men konklusjonene fra dette møtet var de samme som i Oslo. En representant fra lokalsamfunnet la fram en detaljert plan om hvordan breslam fra Sandvinvannet kunne nyttes som overdekningsmateriale i Sørfjorden. Møtereferatene fra dugnadene finnes i vedlegg.

### 3.4. Studiereise til USA og Japan

I tidsrommet 7.til 23.juli ble det foretatt en studietur til USA og Japan. Følgende institusjoner og personer ble kontaktet:

- State University of New York at Stony Brook:  
J. Schubel, H. Bokuniewicz, K. Cochran, R. Aller.
- US Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi:  
C. Calhoun, C. Truitt, T. Richardson, T. Sturgis, J. Brannon, D. Gunnison, J.W. Simmers, M. Poindexter, M. Palermo.
- Japan Bottom Sediments Management Association:  
T. Yoshida, Y. Taguchi, Mr. Shiota, Mr. Nikaido, T. Kotake, Y. Abe (Nimon Solid Co., Ltd.), N. Mori (Penta Ocean Construction Co., Ltd.).



- University of Tokyo:  
Dr. Okada, T. Nemoto (Ocean Research Institute), U. Simidu (Ocean Research Institute), M. Maeda (Ocean Research Institute).
- Ministry of Transport of Japan:  
Mr. Oowaki, T. Nisimura (Port & Harbor Beureau), I. Fujita (Yatsushiro Port Construction Office).
- Environmental Agency of Japan:  
H. Watanabe, M. Fujikura.

Besøket ved de forskjellige institusjonene var lagt opp slik at det ble gitt en orientering om instituttets arbeid og eventuelt en omvisning. Deretter ble det gitt en orientering om Sørfjorden, både om undersøkelser gjennomført hittil og om behovet for og mulige tekniske løsninger på forurensningsproblemet i indre Sørfjorden. Dette ble så etterfulgt av diskusjoner.

I løpet av oppholdet i Japan ble det også arrangert en tur til Minamata Bay, syd-Japan hvor det gjennomføres en opprenskningsaksjon av kvikksølvforurenset sediment som inkluderer både mudring og overdekking (jfr. kap. 4.1.2. og vedlegg for nærmere beskrivelse).

Studieturen var særdeles utbytterik, og må karakteriseres som den viktigste informasjonskilden for denne utredningen. Spesielt var besøket i Minamata Bay faglig imponerende. Karakteristisk var det at Sørfjordproblematikken ble oppfattet som et stort og interessant problem både i USA og Japan. De forskjellige fagfolkene var svært interessert i og holdes orientert om prosjektet videre framover, eventuelt å delta i fremtidige prosjekter.

Hovedinntrykket fra studieturen var at samtlige vi kontaktet betraktet Sørfjordens bunnsedimenter som et stort miljøproblem hvor tiltak vil være nødvendig og teknisk mulig.

## 4. ALTERNATIVE TILTAK

### 4.1. Erfaringer fra andre områder

#### 4.1.1. Binding/avgiftning av potensielt skadelige stoffer.

Med binding/avgiftning menes behandling av sedimentet slik at potensielt skadelige forbindelser gjøres utilgjengelige eller fjernes. Dette kan i prinsippet gjøres både ved at sedimentet mudres, tilsettes kjemiske forbindelser og deponeres på bunnen igjen, eller ved at sement eller lignende forbindelser tilsettes direkte på bunnen. Teknikken er imidlertid lite anvendt. Det gjøres forsøk for tiden ved US Army, Waterways Experiment Station, med tilsetninger av kjemiske stoffer for å binde uønskede forbindelser i sedimentet. Det gjøres også forsøk med fysisk forsegling ved hjelp av en polymerfilm. Imidlertid har ikke disse metodene vært anvendt praktisk, men teknikken er under utvikling.

Bruk av fiberduk (polyester) til stabilisering av slam har vært brukt både over og under vann. Den holder tilbake fint slam, men slipper gass igjennom. Prisen på denne type fiberduk er ca. 4 kr pr. m<sup>2</sup>.

I Japan har M. Shimoda ved Japan Bottom Sediments Management Association (JSMA) utviklet en teknikk for pelletisering og kalkifisering av mudret sediment. T. Yoshida (JSMA) (pers.med.) utviklet en teknikk for fjerning av tungmetaller fra mudret sediment ved å brenne det ved ca.1000 grader og deretter pelletisering av sedimentet og gjenvinning av de flyktige metallene. Det pelletiserte sedimentet blir så brukt som bygningsmateriale.

Syreekstrasjon av metallholdig sediment fra Rhinen er hevdet å kunne gjøres i industriell skala (Muller 1983). Dette er heller ikke prøvd i praksis.

Som konklusjon kan det sies at binding/avgiftning har vært lite anvendt i praksis. Tekniske nyvinninger kan gjøre at denne metoden blir mere aktuell i fremtiden.

#### 4.1.2. Mudring av forurensede sedimenter.

Med mudring av sedimentet menes fysisk fjerning av massene fra sjøbunnen og deponering på land eller i sjøen. Mudring av sedimenter er utført av to hovedgrunner: 1. Fjerning av mulig forurensningskilde, og 2. Mudring av havner og leder for å gjøre disse seilbare. Sistnevnte inkluderer ofte håndtering av forurenset masse, idet

sedimentene i større industrihavner ofte er forurenset.

Mudring av sedimenter for å fjerne potensiell forurensningskilde er spesielt gjort i Japan. Hovedgrunnen til dette er store forurensningsproblemer og at Japan har et lovverk som sier at inneholder sedimentet mer enn 25 ppm kvikksølv (tørrvektbasis) eller mer enn 10 ppm PCB (polyklorerte bifenyler) skal massene mudres (Baba 1973, S. Seki upubl.). Oppmerksomheten er i stor grad konsentrert om kvikksølv. Dette sannsynligvis fordi kvikksølvforurensning har medført de alvorligste skadene. Det er 43 lokaliteter som berøres av standarden for maksimum kvikksølvinnhold i sedimenter. Inntil nå er opprensninger utført på 36 lokaliteter (S. Seki). Opprensningene i Minamata Bay (syd-Japan) viser hvilken innsats som investeres for å håndtere problemene (Ishikawa & Ikegaki 1980, Fujita, Yatsushiro port construction office pers.med.): Konsum av fisk og skalldyr forurenset av metylkvikksølv dannet i avløpsvannet fra en acetaldehyd-fabrikk (utslipp 1932 - 1971) har ført til skader på nervesystemet på 1300 personer (inntil mars 1981) hvorav 437 er døde (Quality of the environment in Japan 1984). Ca. 2 milliarder norske kroner investeres for å mudre et 1.5 km<sup>2</sup> stort bunnområde, hvor kvikksølvinnholdet i sedimentene overskrider 25 ppm. Spuntvegger (stålsylindere med 29m diameter og ca. 50m lengde) nedsettes i havneområdet i en lengde av ca. 1 km (se vedlegg). Muddermassen pumpes bak spuntveggen. Etter avsluttet mudring skal massene overdekkes med ca. 1m sand og området brukes deretter til industriformål.

Konsentrasjonene av totalt kvikksølv innerst i Sørfjorden tilsvarer de i sedimentet i Minamata. Det må imidlertid understrekes at metylkvikksølv ikke slippes ut, og at det neppe dannes kjemisk i avløpsvannet fra Norzink. Det er imidlertid kjent at metyllkvikksølv kan dannes av bakterier i sedimenter. Det er sannsynlig at dette også er tilfelle i Sørfjorden, selv om man ikke vet i hvilken grad dette skjer. Forhøyede kvikksølvnivåer i fisk fra Sørfjorden indikerer imidlertid at organiske kvikksølvforbindelser forefinnes, enten dannet direkte i vannmassen eller fra en omdanning i sedimentene. Selv om kvikksølvrensing ble gjennomført i 1973 har utslippene av kvikksølv i jarositt vært store (ca. 1 tonn pr. år).

En viktig problemstilling ved mudringsoperasjoner er faren for sekundær forurensning idet sedimentet forstyrres. J. Schubel ved State University of New York at Stony Brook hevdet at fagfolks holdning i USA var at man helst ikke skulle røre forurensede sedimenter, og at dermed mudring for å fjerne mulig forurensningskilde, var mindre aktuell. Imidlertid har japanerne en annen holdning. De hevder at sekundær forurensning ikke er noe problem. Dette forutsetter imidler-



tid at forholdsregler blir tatt, slik som utlegging av lenser, bruk av riktig mudringsutstyr (i Minamata en ny type som kombinerer "cutter--head" og "suction dredges"), eventuelt, som i Minamata, bygging av renseanlegg for å fjerne metaller fra overskuddsvann fra mudringen, o.s.v. (se vedlegg). Det ble også sterkt påpekt at mudringsoperasjonen måtte planlegges nøye, at pilotstudier ble utført, og at overvåkning av vannkvalitet ble gjort.

I Minamata ble det i 1979 før hovedopprensningen begynte, gjennomført et pilotprosjekt. Et ca. 40 mål stort område ble avgrenset med store spuntvegger, ca. 13.000 m<sup>3</sup> forurenset sediment ble mudret (de øvre 50 cm av sedimentet fra 20-21m vanddyb) og deponert innenfor det avgrensede området (se vedlegg 2 og 3). Massene ble så overdekt. Dette pilotforsøket inklusivt overvåkingen av vannkvalitet dannet grunnlaget for gjennomføringen av den store opprensningsoperasjonen. I dag brukes dette område som kaiområde (vedlegg 2).

Håndtering av mudret forurenset sediment fra havner og leder har medført dumping av massene, gjerne off-shore, og overdekking med uforurenset sediment. Dette er omtalt i neste kapittel om overdekking av forurenset sediment.

Konklusjonen på erfaringene fra mudring av forurensete sedimenter er at dette sannsynligvis kan utføres med liten sekundær forurensing såfremt det blir utført på den riktige måten. Et problem er imidlertid at man behøver areal for deponering av massene. En løsning på dette er slik som det blir gjort i Minamata, hvor en del av havnen avstenges med store spuntvegger. Mudret masse blir plassert bak spuntveggen, sedimentet overdekkes og området brukes til industriformål.

#### 4.1.3. Overdekking ("capping") av forurenset sediment.

Med overdekking menes at forurenset sediment overdekkes med uforurenset materiale tykt nok til å hindre fysisk utlekking eller oppblanding på grunn av gravende organismer (bioturbasjon). Overdekking er i hovedsak utført på dumpeplasser for mudret masse, som omtalt i kap.4.1.2.. Det er fire hovedområder hvor overdekking er utført: Rotterdam havn, Long Island Sound, USA, New York Bight, Seattle - Duwamish River og nå også Everett Home Port i Seattle (Haar 1983, Palermo, US Army Waterways Experiment Station pers.med.). Det er ikke blitt utført overdekkingsoperasjoner av forurensete sedimenter på stedet hvor de er avsatt bortsett fra et par områder i Japan for å hindre utlekking av næringsalter og også PCB fra sedimentet. Det hevdes at overdekking vil etterhvert bli mer aktuelt i både USA og Japan. Teknologien ved overdekking er etablert, og det skaper ikke

tekniske problemer å gjennomføre operasjonene. Ifølge H. Bokuniewicz (State University of New York) må overdekkingen av mudret masse fra New York-området på ca. 750.000 m<sup>3</sup> årlig karakteriseres som vellykket (også Bokuniewicz & al. 1981, Suszowski 1983, Morton 1983, Mansky & O'Connor 1983).

Ved overdekking er følgende momenter viktig å ta hensyn til:

- unngå transport opp ved diffusjon av skadelige stoffer
- unngå transport opp ved bioturbasjon
- langtids stabilitet av overdekkingsmateriale

Det følger av dette at det er svært viktig å velge riktig type og tykkelse av overdekkingsmateriale. Dette er igjen avhengig av strømforhold i området, type materiale som skal overdekkes, type bunndyrsamfunn, o.s.v.. Utførte overdekningsoperasjoner har følgende karakteristika (Sturgis, US Army Waterways Experiment Station pers.med.):

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| - tykkelse av overdekningsmaterialet                              | 30 - 300 cm             |
| - forhold mellom volum av overdekkingsmateriale og overdekt masse | 1:1 - 1:3,6             |
| - metode  | punkt dumping, diffusor |
| - lokalitet   | off-, inshore           |
| - tap av overdekningsmasse  | 1 - 5 %                 |

Materialet som er blitt overdekket har inneholdt 5 - 10 % organisk karbon. Dette har ikke medført problemer. Den mest egnede kornstørrelsen er hevdet å være leireblandet silt, mens fin sand er noe mindre effektiv (Haar 1983). Laboratorieforsøk har vist at et par og tyve cm tykt lag er tilstrekkelig for å hindre utlekking, mens ca. 50 cm er nødvendig for å avsegle det forurensede sedimentet for gravende organismer (Brannon et al. 1985). Ved så stor tykkelse som 50 cm har det vist seg at det er av mindre betydning om leireblandet silt eller fin sand benyttes.

Det følgende illustrerer erfaringene fra noe av overdekkingsoperasjonene (O'Connor & O'Connor 1983):

Hiroshima Bay - sedimentene er sterkt forurensset av kloakkslam som medfører frigivelse av næringssalter til vannmassene og sterk eutrofiering. Som et pilotforsøk ble et 6.4 hektar stort område overdekt med 30 til 50 cm lag av rein sand. Undersøkelser 6 måneder seinere viste redusert næringssaltfrigivelse i det overdekte område. Videre hadde et mangeartetet makrobenthossamfunn erstattet det tidligere polychaetdominerte samfunnet. I sammendrag viste kortidsresultatene en

vellykket rehabilitering.

Long Island Sound (New York) - operasjonen inkluderte overdekking av mudret, metallholdig havnesedimenter dumpet på to forskjellige lokaliteter. Den ene var overdekking av 26.000 m<sup>3</sup> forurenset sediment med 84.000 m<sup>3</sup> sand som ga en tykkelse på overdekkingsmaterialet på 3,5m. Den andre var overdekking av 37.800 m<sup>3</sup> forurenset masse med 76.000 m<sup>3</sup> silt til en tykkelse av 4m. Så store tykkelser på overdekkingsmaterialet ble anvendt fordi dumpeplassen var et høyenergiområde. Undersøkelser viste at selve overdekkingsoperasjonen var vellykket teknisk sett. Sand viste seg å ha større stabilitet i dette høyenergiområdet (kraftige stormer). Begge overdekningsmaterialene var stabile under normale tidevann- og bølgeforhold. Overdekkingen reduserte utlekkingen av Cu, PCB og andre skadelige forbindelser fra de forurensete sedimentene. Benthiske organismer koloniserte overflaten av begge overdekkingsmaterialer innen et år. Imidlertid var artssammensetningen forskjellig fra det i de omkringliggende sedimentene. Dette vil sannsynligvis forandre seg etter som rekoloniseringen vil ta noen år.

New York Bight prosjektet. For å holde farvannet ved New York og New Jersey seilbar mudres det kontinuerlig. I perioden 1970-78 var dette så mye som  $8.3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> årlig. Undersøkelser av US Army, New York corp of engineers viste at sedimentet fra flere av mudringsområdene førte til bioakkumulering av skadelige stoffer i testorganismer. Det ble derfor bestemt at massene på dumpestedet skulle overdekkes. Hovederfaringene fra prosjektet var at overdekking med 1m fin sand teknisk sett var vellykket. Overdekkingen er antatt å redusere utlekkingen av metaller og organiske miljøgifter fra det forurensete sedimentet til vannsøylen over. Overdekkingsmaterialet skal være stabil minimum i en 20-årsperiode ved normale vær-, tidevann- og strømforhold. Bioakkumulering av skadelige forbindelser som følge av utlekking fra det forurensete sedimentet er usannsynlig. Som en hovedkonklusjon sies det at overdekking er en effektiv og tilstrekkelig måte å håndtere forurenset sediment på.

Som for mudringsoperasjoner legges det stor vekt på overvåkningsprogrammer. Det må gjøres både før-, etter- og periodiske undersøkelser på forhåndssbestemt rutenett. Overvåkingen må inkludere vannkjemi, suspendert partikulært materiale og konsolideringsmålinger av overdekkings- såvel som overdekt materiale. Videre understrekes det viktigheten av laboratoriestudier og pilotforsøk. Slike undersøkelser vil medføre større effektivitet og mindre problemer i fullskala fasen.

Konklusjonen angående overdekking er at dette er operasjoner som synes

vellykkede og som har skapt relativt få tekniske problemer. Det reiser seg imidlertid noen prinsipielle og psykologiske spørsmål som bør vurderes. Overdekking kan oppfattes som en måte "å feie problemene under teppet" på isteden for å renske opp etter seg. Det virker som dette er noe av grunnen til at japanerne hittil så si utelukkende har anvendt mudring. Det må imidlertid legges til at man regner med at overdekking vil bli mere aktuelt i både Japan og i USA i framtida, ettersom erfaringene med utførte prosjekter har vært gode.

#### 4.2. Mulige tiltak i Sørfjorden

Når alternative rehabiliteringstiltak skal vurderes i Sørfjorden, må følgende hovedhensyn tas:

- (i) Bunnsedimentenes innhold av miljøgifter.
- (ii) Tykkelsen på det forurensede laget.
- (iii) Størrelsen av arealet hvor tiltak kan være aktuelt.
- (iv) Mulighetene for gjenvinning eller utnyttning av de forurensede massene.
- (v) Dybdeforhold på stedet.
- (vi) Disponible arealer på land for deponering.

Disse stedegne forhold for Sørfjorden må legges til grunn når forskjellige alternativer skal vurderes.

##### 4.2.1. Binding/avgiftning

Dette innebærer en behandling av sedimentene hvor de ligger på bunnen eller midlertidig opphenting av sedimentene og tilsats av et middel som binder tungmetallene. Målet er å gjøre tungmetallene mindre mobile og biotilgjengelige.

Hvis vi betrakter hele arealet innenfor Lindeneset og antar at det er behov for å behandle minimum de øvre 25 cm av sedimentene, blir dette et volum på 600-700.000 m<sup>3</sup> sediment. Det synes derfor urealistisk å kunne avgifte eller avbinde et slikt stort volum. Det kunne imidlertid tenkes at slik behandling kunne gjøres lokalt hvor forurensningen er størst (f.eks. i Eitrheimsvågen eller på utsiden av Eitrheimsvågen). Problemet ville være at en slik behandling ville medføre en betydelig håndtering av de forurensede massene (mudring og redeponering). Dette er lite ønskelig med tanke på mulig spredning og frigivelse av tungmetaller under håndteringen.

Et annet problem med avgifting/avbinding er at bunnssubstratet man

kunne få var uegnet til rekolonisering (dvs. gjenopprettelse av bunnfauna). Det er således lite som taler for at denne restaureringsmetoden vil være velegnet for bunnsedimentene i indre Sørfjord. Isolering av sedimentene vha. fiberduk bør vurderes, men arealet er såpass stort at det kan by på tekniske problemer.

#### 4.2.2. Mudring

Ved mudring må en ta forholdene både på mudrestedet og deponeringsstedet til følge. Valget av mudringsmetode består i sugemudring, tradisjonell grabbmudring eller en kombinasjon av sugemudring (suction) og "cutter-head". Grabb-mudring ville gi mest forurensning på mudrestedet. Dette er spesielt vanskelig så lenge det dreier seg om finkornige sedimenter (leire-silt-fraksjonen). Hvis konvensjonell grabbmudring skulle brukes ville de finkornige sedimentene som har høyest metallinnhold lett lekke ut av grabben og tilføres miljøet igjen.

Problemet med mudring ville trolig være størst på deponeringsstedet. Ved sugemudring ville store mengder vann følge med slammet og dette måtte skilles fra for å redusere volumet. Det største problemet ville være å finne en velegnet lokalitet for deponering. Slammet inneholder så store mengder miljøgifter at det ikke kan deponeres i sjøen, f.eks. på dypt vann i Sørfjorden eller Hardangerfjorden eller i havet (dette ville være brudd på internasjonale avtaler om avfallshåndtering). Deponeringsmulighetene på land er også små, uansett om det ble valgt sugemudring eller grabbmudring. Dette skyldes de bratte fjellsidene langs Sørfjorden og mangel på egnede arealer for landdeponering. Dessuten måtte en slik deponering skje på en slik måte at sig fra deponiet ikke forurenset fjorden eller ferskvannskilder. En mulig deponeringsmåte ville være fjellhaller. For å dekke behovet for lagring av 5-600.000 m<sup>3</sup> slam måtte det til ca. 10 fjellhaller av den størrelse som nå lages for deponering av jarositt. Dette ville trolig være urealistisk med hensyn til kostnad. Derimot kunne det vurderes å mudre et mindre areal hvor sedimentene er sterkest forurenset (f.eks. nær utslippet av jarositt ved Eitrheimsneset). Man kunne tenke seg å bruke den eksisterende utslippsledningen for jarositt og pumpe opp sedimenter fra utslippsområdet og at avfallet ble lagret i en fjellhall. Et areal på 200 x 200m i 0.5m tykkelse ville utgjøre 20.000 m<sup>3</sup>. Et annet alternativ ville være å mudre opp et mindre volum (20-50.000 m<sup>3</sup>) som ble deponert i dertil egnede nedlagte gruver i Hardangerfjordområdet. Dette kunne være et supplement til andre rehabiliteringstiltak.

Spørsmålet om oppgraving og gjenvinning av metaller krever en rekke tekniske og økonomiske vurderinger. Med dagens teknologi og markeds-



verdi på de metaller det kan være snakk om er det vanskelig å anbefale dette ut fra et lønnsomhetsprinsipp. Imidlertid bør gjenvinningsmulighetene utredes, selv om lønnsomheten ikke er tilstede. Dette fordi alle alternative rehabiliteringstiltak vil være kostbare. Oppmerksomheten burde spesielt være rettet mot sporstoffer som er knyttet til sinkmalmen (gull, sølv, indium, bismut, etc.) og som har høy markedsverdi. Også ved gjenvinning ville det bare være snakk om mudring i de områder hvor konsentrasjonene er høyest. På den måten ville dette også kun være et supplement til andre metoder.

Hvis man valgte å mudre opp hele bunnområdet innenfor Lindeneset synes det kun å være ett alternativ med hensyn til deponeringssted. Da måtte samme prinsipp brukes som i Minamata Bay, ved å sette ned en kraftig spuntvegg helt ytterst i Eitrheimsvågen tvers over mot Tokheim (Fig. 1). Ved å velge suction-cutter-head-prinsippet kunne mudder masse pumpes bak spuntveggen. Et vannbehandlingsanlegg måtte ta seg av det forurensede vannet som følger mudderet. Når mudderoperasjonen var over kunne massene tildekkes (se kap. 4.2.3) og hele arealet i den tidlige Eitrheimsvågen kunne brukes til industrielle byggeformål. I en kommune som Odda med små arealer disponible til industriformål måtte en anta at dette ville være et verdifullt supplement.

#### 4.2.3. Overdekking ("capping")

Denne metoden er den minst utprøvde, men kanskje den mest lovende. Begrensningen i denne metoden ligger hovedsakelig i tilgangen og kvaliteten på overdekningsmateriale. Ideen med overdekning er at man legger et lag over de forurensede sedimentene for å (i) hindre at bunndyr graver seg ned i det forurensede laget og transporterer metaller til overflaten og vannet over, samt (ii) hindre eller redusere diffusjonen av metaller til vannfasen over. Dette innebærer at overdekningsmaterialet må ha en viss vertikal utbredelse og være mest mulig diffusjonstett.

I og med at tilgang på overdekningsmateriale vanligvis er den begrensende faktoren, er det viktig først og fremst å vurdere hva slags materiale som kunne brukes i Sørfjorden. Det er to hovedtyper av overdekningsmateriale som man kan skille mellom: (i) naturlig forekommende masse (breslam, sandavsetninger, steinstøv etc.) og (ii) industrielt produsert materiale. Av sistnevnte type finnes to varianter lokalt. K/S Ilmenittverket vil ha et årlig utslipp i startfasen på 18.000 tonn fast produksjonsavfall, hovedsakelig aske (tetthet  $1.64 \text{ g/cm}^3$ , Miljøplan, 1983). Dette materiale er porøst og er svært finkornet. Ifølge Miljøplan (1983) synker askematerialet relativt raskt i sjøvann selv

om tettheten er liten. Hvordan dette materialet ville egne seg som overdekningsmateriale er vanskelig å forutsi før det har vært testet i modellsystemer (fase II). Imidlertid er den årlige mengden som er disponibel for overdekning svært liten og ville bare være et supplement til annen type overdekningsmateriale.

Odda Smelteverk slipper ut årlig ca. 50.000 tonn fast avfall, hovedsakelig som kalkslam. Dette går nå til Odda's havnebasseng, bortsett fra en liten del til jordforbedringsmiddel, samt kalkslag til påfylling i dikeområdet innerst i Eitrheimsvågen. Her utnyttes kalkslaggets nøytraliserende virkninger på surt avfall. I følge Førstner et al. (1986) har både høye og lave pH-verdier ugunstig effekt på metallers mobilitet.

Problemet med å bruke Odda Smelteverk's avfall til overdekning er at avløpsvannet også inneholder større mengder PAH (Kvalvågnæs et al., 1986) og nitrogen. Mengdemessig derimot er karbonaten såpass betydelig at den er interessant. Hvis utslippene av PAH og nitrogen til fjorden ble redusert, ville avfallskarbonaten lettere kunne brukes som et supplement i forbindelse med overdekning. Dagens rørsystem kunne f.eks. forlenges slik at overdekningen av kalkavfall kunne spesielt skje i det grunne området i Eitrheimsvågen. Kalkavfallets fysiske konsistens ville trolig være gunstig mht. diffusjonstetthet. Men også her ville det være behov for å teste brukbarheten i et modellsystem (fase II).

Den tredje muligheten for bruk av industriproduisert avfall til overdekning, er transport inn til Sørfjorden fra andre områder. For noen år siden ble spørsmålet om utvinning av aluminium fra anorthositt (feltspatmineral) utredet. Store anorthosittforekomster i Sognefjordsområdet var av spesiell interesse. Hvis en slik produksjon skulle komme igang ville det bety store mengder med fast avfall, hovedsakelig nedmalt grovberg. Deler av dette ville teoretisk kunne lektres til Sørfjorden og brukes som overdekningsmateriale. Sannsynligheten for at denne produksjonen vil komme i gang er imidlertid usikker.

Det bør også legges til at bruk av gruveavgang med egnet sammensetning, konsistens og mengde bør vurderes som potensielle overdekningsmateriale. Kravet må imidlertid være at materialet er fritt for miljøskadelige stoffer.

Et ytterligere alternativ er å velge en kombinasjon av mudring og overdekning, på samme måte som japanerne har gjort i Minamata Bay (se 4.1.2., 4.2.2 og vedlegg). Man kunne tenke seg å bygge en spuntvegg ytterst i Eitrheimsvågen på ca. 10-15 m dyp etter mønster fra Minamata

Bay. Ved bruk av cutter-suction metoden vil de øvre 25-50 cm av sedimentene innenfor Lindeneset kunne mudres opp og transporteres i rørsystemer bak spuntveggen. På samme måte som i Minamata måtte vann på baksiden av veggen gå gjennom et renseanlegg før det ble pumpet ut i sjøen. Etter at mudringsoperasjonen var over burde muddermassene overdekkes f.eks. med breslam eller annen egnet masse til at hele Eitrheimsvågen var oppfylt og kunne utnyttets til byggearealer for industrien. I lys av erfaringene fra Minamata Bay ville dette være klart gjennomførbart, men dog dyrt.

## 5. ANBEFALINGER

På grunnlag av en literaturoversikt, korrespondanse og en studietur til USA og Japan kan følgende anbefalinger gis med hensyn til alternative rehabiliteringstiltak i indre Sørfjord:

- (i) Det bør ikke tas beslutninger om tiltak før all nødvendig informasjon om problemets størrelse og tiltakets effektivitet er utredet.
- (ii) Det anbefales å gjennomføre en fase II av prosjektet som har som siktemål å skalere problemet utfra en kvantifisering av sedimentenes betydning som forurensningskilde i årene som kommer.
- (iii) På grunnlag av erfaringer fra andre områder (i utlandet), synes det å være klart allerede nå at overdekning (capping) er det mest realistiske tiltak, eventuelt kombinert med mudring. Det videre arbeid bør derfor konsentrere seg om disse mulighetene.
- (iv) Ut fra samtaler og diskusjoner i inn- og utland (ide-dugnader i Oslo og Odda, studiereise etc.) synes det klart at bruk av breslam fra Sandvinvannet eller Buardalen er mest nærliggende som overdekningsmateriale. Bruk av industrielle avfallsprodukter kan være et brukbart supplement.
- (v) De to alternativene som på nåværende tidspunkt synes å være mest aktuelle er (i) overdekning med 50 cm uforurenset breslam i området Lindeneset-Odda eller (ii) sugemudring og deponering bak ny spuntvegg ytterst i Eitrheimsvågen og deretter full oppfylling av vågen med breslam eller annen egnet masse. Det oppfylte området ville kunne brukes til industriformål.

## 6. FORSLAG TIL VIDEREFØRING

Målsettingen med fase 1 var å utrede hvilke alternative rehabiliteringstiltak som kan være aktuelle i Sørfjorden, basert på erfaringer fra andre steder og forholdene lokalt i Sørfjorden. En slik utredning vil nødvendigvis gi grunnlag for å påpeke hvilken informasjon som mangler, for å komme med endelige anbefalinger. Det sentrale spørsmålet som må besvares først er hvilken rolle de forurensede sedimentene i Sørfjorden spiller for forurensningen av fjorden i årene som kommer. Her kommer skaleringen av problemet inn som må legges til grunn for avgjørelsen om tiltak er nødvendig. Dette vil kreve eksperimentelt arbeid for å kvantifisere problemet med forurensede sedimenter. Likeså vil det være behov for å gjøre en del registreringer i selve fjorden. Dette arbeidet bør ha langsiktig karakter, delvis for å kunne gi tid til å overvåke grad av forbedring i fjorden som følge av tiltakene som gjennomføres i 1986. Hvis det skulle vise seg at disse tiltakene er så effektive at normale forhold etableres i løpet av kort tid, er det i seg selv indikasjoner nok på at tiltak overfor de forurensede sedimentene ikke er nødvendige.

Videreføringen av prosjektet kan deles i to hovedelementer som tidsmessig bør gå parallellt; (i) eksperimentelle undersøkelser på NIVAs marinbiologiske forskningsstasjon, Solbergstrand og (ii) registreringer og målinger i sedimentene i Sørfjorden.

De eksperimentelle undersøkelsene på Solbergstrand bør ha som mål å få kvantifisert forurensningsbidraget som sedimentene i Sørfjorden representerer. Det bør tas sikte på å få kvantifisert det totale bidraget som følge av kjemisk mobilisering av tungmetaller i sedimentene (diffusjon) og bidrag som følge av dyrs aktivitet i sedimentet (bioturbasjon). Ideelt sett bør sedimentprøver tas med box-corer fra 3 forskjellige områder i indre Sørfjord med ulik forurensningsgrad. I tillegg tas en box-corer fra et ikke forurenset område (f.eks. ytre Oslofjord) som kontroll. Disse sedimentprøvene som hver representerer sedimentflater på 60x60 cm bringes til Solbergstrand, hvor de plasseres i dertil egnede bassenger. Konsentrasjonene av metaller i vann som strømmer kontinuerlig over sedimentflatene måles og transport av metaller fra sediment til vann registreres. Disse eksperimentene gjøres både på sedimenter med og uten overdekning av ulik type og tykkelse. På den måten vil det være mulig å fastslå hvilken rate metallene avgis med og hvilken effekt overdekning har. Disse eksperimentene krever imidlertid en betydelig detaljplanlegging for å sikre tolkbare resultater.

Parallellt med de eksperimentelle undersøkelsene er det nødvendig å

innhente tilleggsinformasjon om sedimentforholdene i indre Sørfjord. Nivået av metaller i sedimentenes porevann er ikke kjent og må derfor måles. Hvis nivåene i porevann er høye er dette en indikasjon på at det foregår en aktiv remobilisering av metaller fra fast til løst form. Jo høyere konsentrasjonene av metaller er i porevannet jo høyere vil frigivelsesraten og transporten ut av sedimentet være.

Det er også nødvendig å foreta en del fysiske målinger i sedimentet, f.eks. sedimentenes vanninnhold, skjærfasthet, tykkelse av det forurensede laget og sedimentenes kornstørrelse og sortering. Disse parametrene vil være nødvendige for å kunne forutsi hva som skjer hvis sedimentene overdekkes.

Som konklusjon på spørsmålet om videreføring av prosjektet og oppstarting av fase II synes det å være viktig å bruke tid på å avgrense og skalere problemet med forurensede sedimenter. Dette fordi et hvert tiltak vil bety en betydelig investering. Av den grunn er det viktig at beslutningen tas på et best mulig solid grunnlag. Oppfølgingen bør skje i denne rekkefølgen:

1. Avklare betydningen av sedimentet i indre Sørfjord som sekundær forurensingskilde og effekten av ulike typer dekkmasse. Dette innebærer laboratorieforsøk i både liten og stor skala (f.eks. Solbergstrand forsøksstasjon).
2. Nøyere sedimentkartlegging i indre Sørfjord.
3. Grovt kostnadsoverslag for mudring og for overdekking.
4. Kost - nytte vurderinger. Dette innebærer vurderinger av hva konsekvensen er av ikke å gjøre noe med sedimentene i indre Sørfjorden, likeledes hva som oppnås ved å eliminere sedimentene som sekundær forurensningskilde.
5. Pilotforsøk i indre Sørfjord.



## 7. LITTERATUR

- Baba, K. 1974. Environmental laws and regulations in Japan. Environment Agency, Japan, 1974. 317 p.
- Bokuniewicz, H. 1982. Burial of dredged sediment beneath the floor of New York harbor, OCEANS, september 1982. pp 1016-1020.
- Bokuniewicz, H., R. Cerrato, and A. Mitchell, 1981. Criteria for caps on subaqueous disposal sites. Proc. Dredging and related problems in the mid-atlantic region 1981. 7 p.
- Bokuniewicz, H.J. and J.T. Liu. Stability of layered dredged sediment deposits at subaqueous sites. OCEANS 81 Conference Record, Vol. Two. IEEE, New York and Marine Technology Society, Washington, D.C.: 752-754. 3 p.
- Brannon, J.M., R.E. Hoeppe1, T.C. Sturgis, I. Smith jr. and D. Gunnison. 1985. Effectiveness of capping in isolating contaminated dredged material from biota and the overlying water. Departement of the army, US Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000.
- de Kock, W. Chr. and Marquenie, J.M. 1982. The effects of discharges of certain metals and of organochlorine compounds such as PCB's and pesticides on marine ecosystems. A literature survey. TNO-rapport, 178 s. + appendiks.
- Førstner, U. and G.T.W. Wittmann 1979. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 486p.
- Førstner, U., Ahlf, W., Calmano, W. and Kersten, M. 1986. Mobility of pollutants in dredged materials - implications for selectory disposal options. In: Kullenberg, G. (ed.) The Role of the Oceans as a Waste Disposal Option, p. 597-615.
- Haar, H.R. jr. 1983. An updating of special care measures for safe disposal of polluted dredged material in the marine environment. International Association of Ports and Harbors, for consideration of the ad hoc scientific group on dumping at its seventh meeting, october 1983, London, England.

- Hatano, R., and A. Yasuo (unpubl.). The use of Anti-turbidity Curtains at a Sand Compaction Piling Area in Yokohama Harbor. Japan Sediments Management Association. 21 p.
- Hudson, R.E. and R.G. Vann, 1982. An overview of a dredging demonstration in contaminated material, James River, Virginia. U.S./Japan Experts meeting, on Management of bottom sediments containing toxic substances, 8, Tokyo 1982. pp. 312-325.
- Inada, T. 1978. Dredging and treatment of sediments in the Port of Tagondura. 4. U.S./Japan experts' Meeting on Management of Bottom sediments containing toxic substances, Tokyo 1978. Proc. Ed. by S.A. Peterson and K.K. Randolph. 10 p.
- Ishikawa, T. and Y. Ikegaki, 1980. Control of mercury pollution in Japan and the Minamata Bay cleanup. Journal WPCF, vol. 52, no. 5. pp. 1013-1018.
- Kaneko, A., Y. Watari and N. Aritomi, 1982. Specialized dredges designed for bottom sediment dredging. U.S./Japan experts' meeting (8th) on Management of bottom sediments containing toxic substances, Tokyo 8-10, 1982. pp. 450-4766.
- Kirkerud, L. and Knutzen, J. 1986. Tiltaksorienterte miljøundersøkelser i Sørfjorden og Hardangerfjorden 1984-1985. Delrapport 2. Metaller i tang. Toksisitetstester, NIVA-rapport 0-8000309, 56 s.
- Koba, H. and S. Toyoaki, 1981. Test dredging of bottom sediments in Osaka Bay. U.S./Japan Experts' Meeting on Management of bottom sediments containing toxic substance, 7, New York City 2-4 nov. 1981. pp. 225-251.
- Kvalvågnæs, K., Berglind, L. and Knutzen, J. 1986. Undersøkelser i Sørfjorden i forbindelse med PAH-utslipp fra Odda Smelteverk A/S. NIVA-rapport 0-85165, 27 s.
- Mansky, J.M. and D.J. Suszkowski, 1983. Capping of contaminated dredged material. Proceedings Ocean '83. pp. 422-424.
- Matsubara, M. 1978. The improvement of water quality at Lake Kasumigaura by the dredging of polluted sediments. 4. U.S./Japan Experts' Meeting on Management of Bottom sediments containing toxic substances, Tokyo 1978. Ed. by S.A.

Peterson and K.K. Randolph. pp. 11-30.

Miljøplan A/S 1981. Ilmenittverk i Tyssedal. Konsekvensanalyse av 20 s.

Morton, R.W. 1981. "Capping" procedures as an alternative technique to isolate contaminated dredge material in the marine environment. U.S./Japan experts' meeting on management of bottom sediments containing toxic substances, 7, New York, NY 1981. Morton, H.W. 1983, pp. 108-133.

Muller, G. 1933. Chemical decontamination: A concept for the final disposal of dredged materials and sludges contaminated by heavy metals. Proc. Heavy metals in the environment, Heidelberg, pp. 948-950. CEP Consultants Ltd, Edinburgh.

Næs, K. og Rygg, B. 1982. Supplerende basisundersøkelse i Sørfjorden. NIVA-rapport 0-8000309, 39 s.

O'Connor, J.M. and O'Connor, S.G. 1983. Evaluation of the 1980 capping operations at the experimental mud dump site, New York bight apex. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Environmental Laboratory, Vicksburg. 76 p.

Sato, E. 1982. Bottom sediment dredge "clean up" - principles and results. U.S./Japan experts meeting (8th) on Management of bottom sediments containing toxic substances, Tokyo 1982. pp. 403-418.

Seki, S. (unpubl.). Bottom sediments control in Japan. Japan International Cooperation Agency. Japan Society on Water Pollution Research. 19 p.

Shimoda, M. Productive use of sediment calcination. Japan Bottom Sediment Management Association. No. 15 Sankyo Bldg. No. 7-12, 2-Chome, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo, Japan.

Skei, J.M. 1975. The Marine Chemistry of Sørfjorden, West Norway. Ph.D. thesis, University of Edinburgh, 207s.

Skei, J.M. 1979. Nasjonalt program for overvåking av vannressurser. Pilotprosjekt Sørfjorden (Hardanger) 1978. NIVA-rapport 0-75038, 32 s.

Skei, J.M. 1981. Dispersal and retention of pollutants in Norwegian

- fjords. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer, 181, 78-86.
- Skei, J.M., Price, N.B., Calvert, S.E. and Holtedahl, H. 1972. The distribution of heavy metals in sediments of Sørfjord, West Norway. Water, Air and Soil Pollut. 1, 452-461.
- Skei, J.M., Rygg, B. og Næs, K. 1986. Tiltaksorienterte miljøundersøkelser i Sørfjorden og Hardangerfjorden 1984-85. Delrapport 1: Sedimentfeller, bunnsedimenter og bløtbunnsfauna. NIVA-rapport 0-8000309, 62 s.
- Suszowski, D.J. 1981. Studies on capping of contaminated dredged material by the New York district, corps of engineers. U.S./Japan experts meeting on management of bottom sediments containing toxic substances, 7, New York City 1981. Proc. 1983, pp. 134-145.
- U.S. Department of Commerce, 1983. Environmental investigations of dredging activities in Mobile Bay, Alabama. (Final report) July 1983. Prep. for the Conferees of the Conference "in the matter of pollution of the navigable waters of Mobile Bay and its tributaries, 27-28 jan. 1970. Environmental Protection Agency. 53 p.
- Vann, R.G. 1981. James River, Virginia; dredging demonstration in contaminated material (Kepone) dustpan versus cutterhead. U.S./Japan Experts meeting (7th) on Management of bottom sediments containing toxic substances, New York City on 2-4 november 1981. pp. 211-224.2.

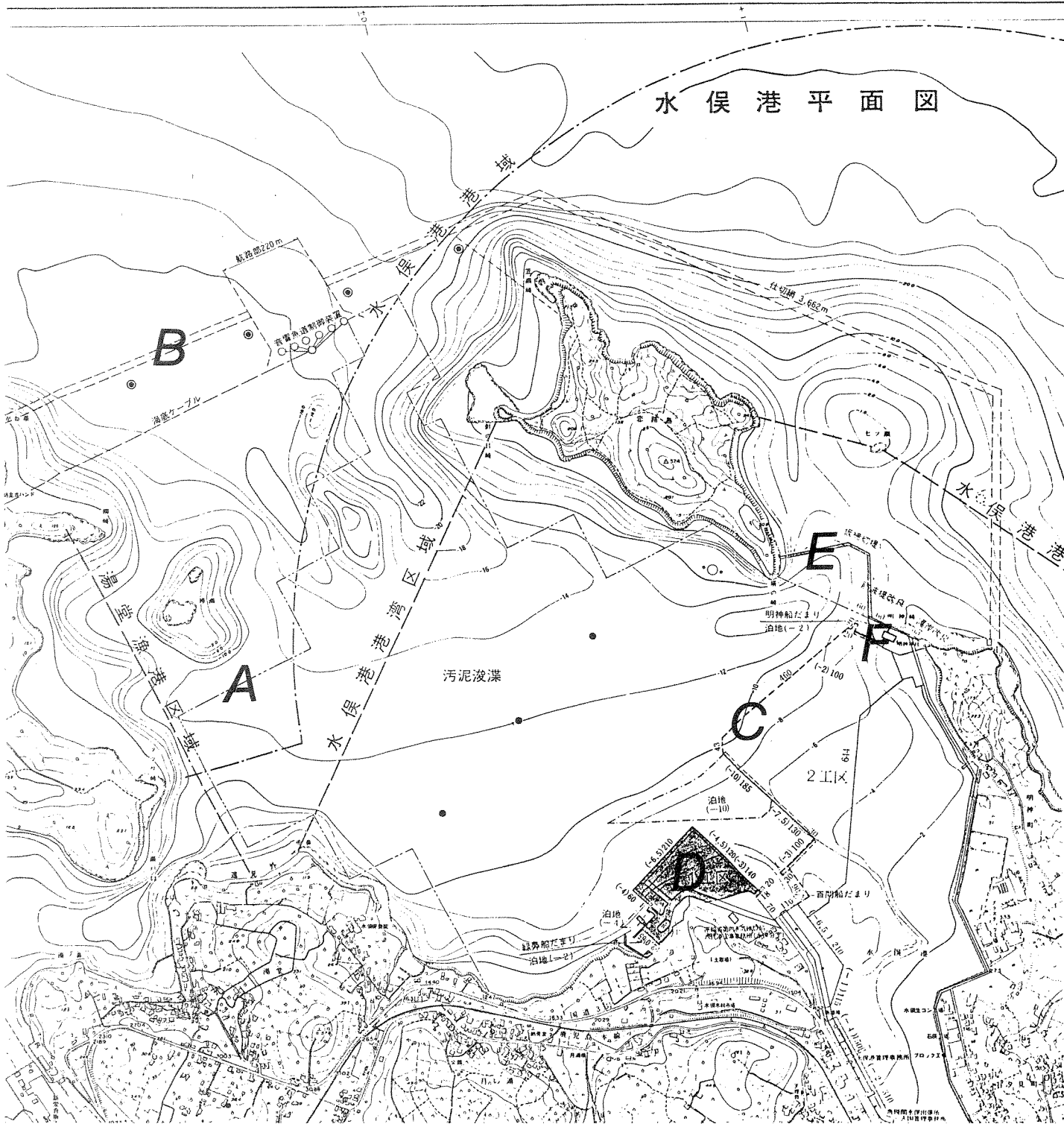
## 8. VEDLEGG

Vedlegg 1. Kart over Minamata Bay.

- A: utbredelse av mudreamrådet
- B: dobbel not som hindrer fisk å komme utenfra inn i det forurensede området. Nota har en åpning med akustisk sperre.
- C: spuntvegg
- D: pilotområde for deponering (tjener nå som kaianlegg)
- E: betongmur som stenger sundet for å hindre vannutveksling så lenge mudring pågår
- F: renseanlegg for vann som følger muddermassen

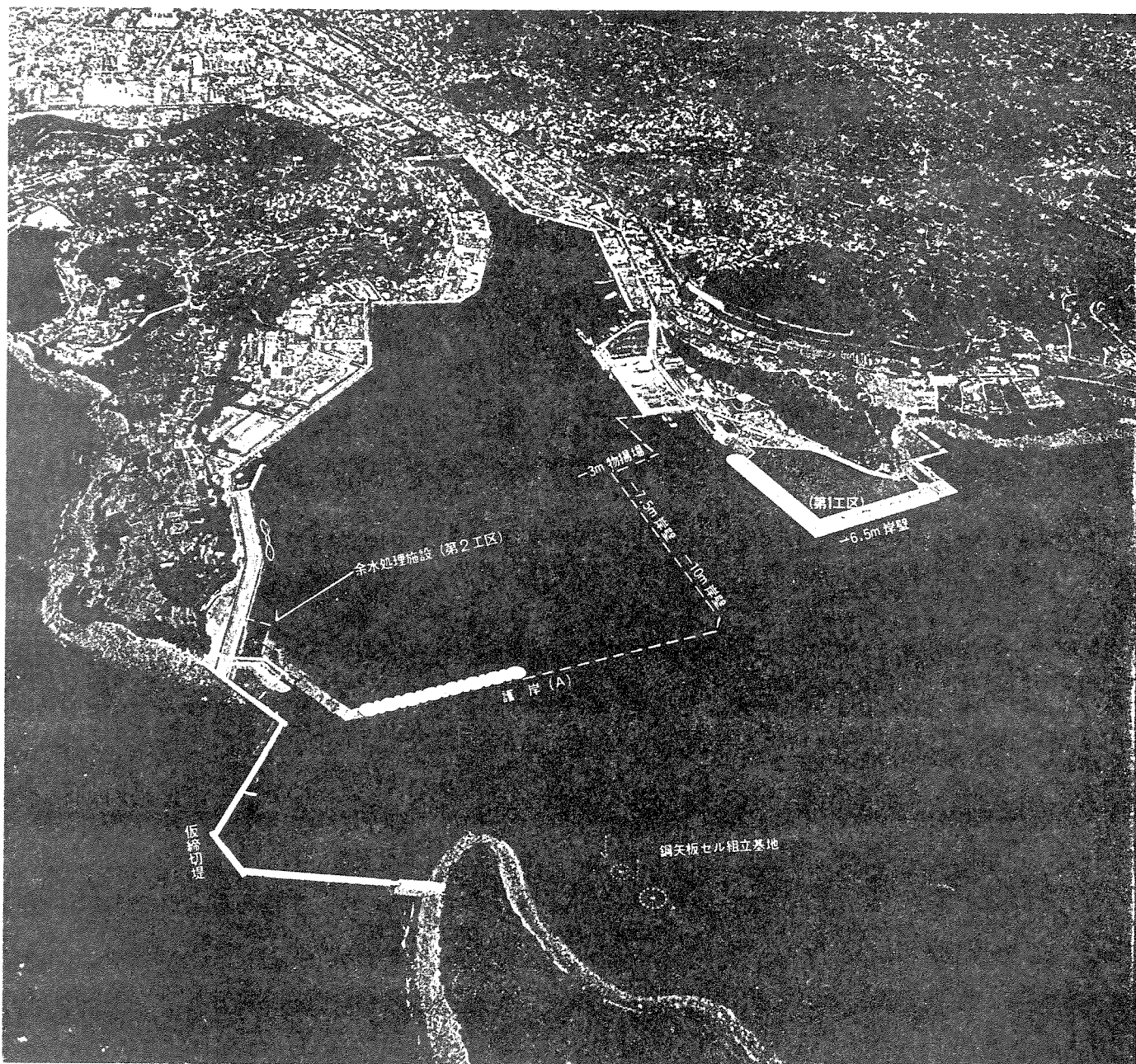


# 水俣港平面図



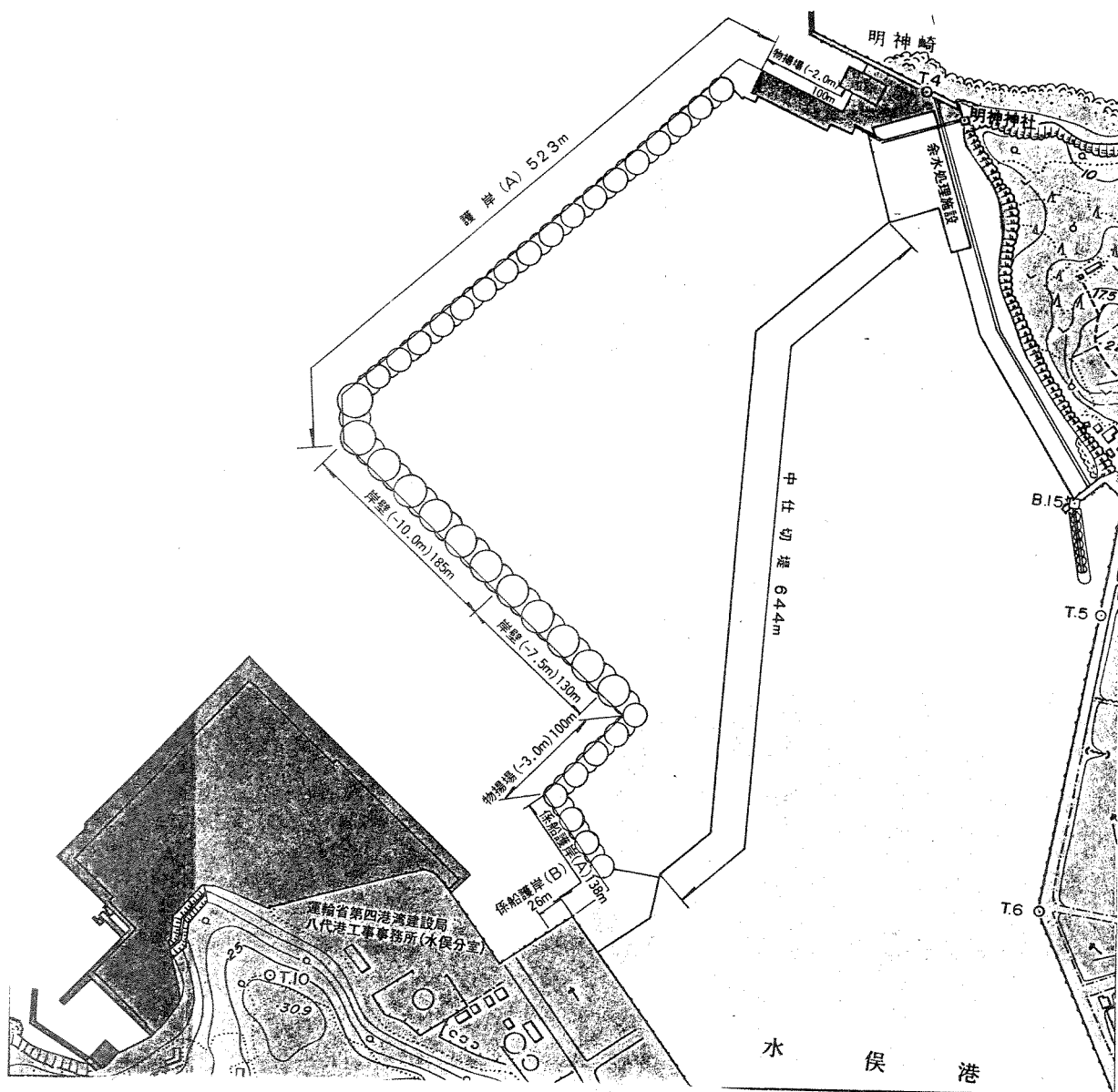
Vedlegg 2. Oversiktsbilde av indre del av Minamata Bay.

Betongsperran sees nederst til venstre. Spuntvegg (under oppføring) midt i bildet, med pilotområdet til høyre. De sirkulære innhegningene (nederst, midt i bildet) er fiskemærer, hvor fisk tjener som overvåkningsobjekt under mudringsoperasjonen.

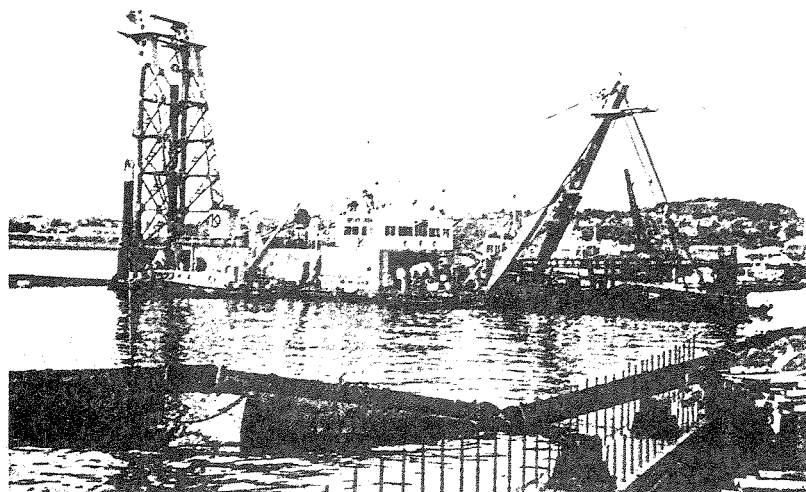
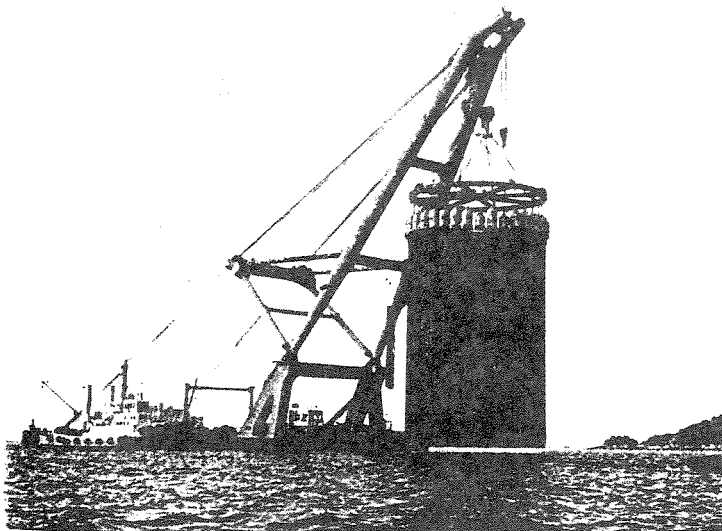


Vedlegg 3. Kart som viser deponi-området innenfor spuntvegg i Minamata Bay.

Spuntveggen er nærmere 1 km lang og består av stålsylindre. Pilotområdet sees nederst til venstre og renseanlegget øverst til høyre.



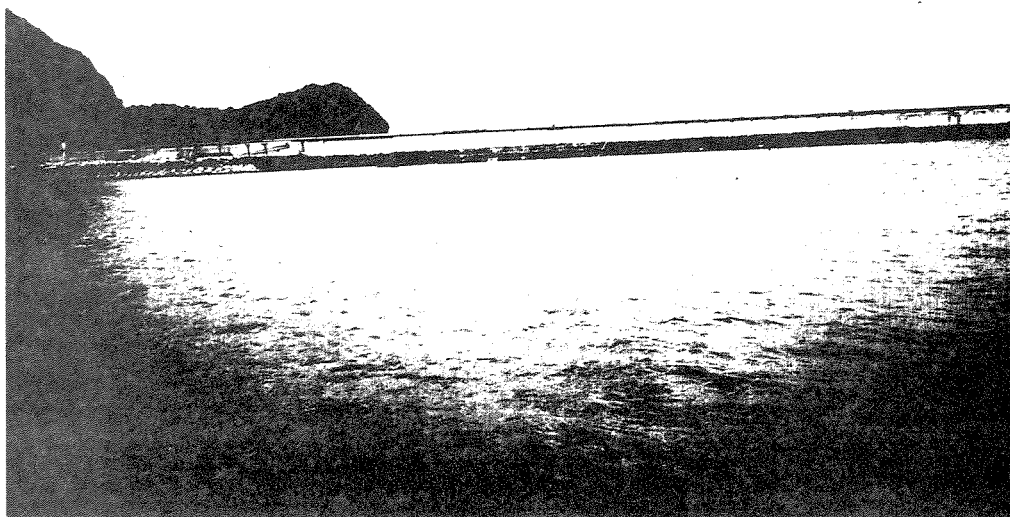
Vedlegg 4. Bilde av spuntelementene (ca. 29m i diameter og 50m høye) til venstre. Mudringsfartøy nederst, med flyteledning som transporterer muddermasse bak spuntveggen.



Vedlegg 5. Fotografier (4) fra besøk i Minamata Bay  
(fargebilder i 10 eksemplarer av rapporten).



Spuntvegg med slamledning.



Betongsperre (ca. 500 m lang) mellom øya og fastlandet.





Mudringsfartøy i operasjon. Flyteledningen med slam i forgrunnen.



Visuell inspeksjon av vannkvalitet ut av rensanlegget på deponeringsstedet.



Vedlegg 6. Diverse møtereferater og notater.

NOTAT  
til  
møte i Stortinget 18.04.86.

#### REHABILITERING AV INDRE SØRFJORD

- sedimentenes betydning for tungmetall forurensning i miljøet og mulighetene for tiltak.

Utarbeidet av Jens Skei, NIVA.

1. Bakgrunn for prosjektet.
2. Faglig innledning.
  - 2.1 Sedimentene som kilde eller deponi for tungmetaller?
  - 2.2 Faktorer som påvirker metallenes bevegelighet.
  - 2.3 Koblingen mellom bunnsedimenter og biologiske forhold.
3. Skalering av problemet i Sørfjorden.
4. Sluttkommentarer.

## 1. Bakgrunn for prosjektet.

Odda - samfunnet har en lang historie som industristed på både godt og vondt. I en periode på over 50 år har industrivirksomhet gitt arbeidsplasser og sysselsetting, mens Sjørfjorden har vært den skadelidende part som mottaker av store mengder industriavfall. Først i begynnelsen av 70 åra, i forbindelse med arbeidet utført av Miljøvernkomiteen i Odde, ble man klar over alvoret i forurensnings-situasjonen i Sjørfjorden. I de senere år er det gjort en rekke undersøkelser i fjorden som bekrefter alvoret. I tillegg er det nylig stadfestet at forurensningsproblemet ikke begrenser seg til Sjørfjorden, men ser ut til å ha innvirkning på store deler av Hardangerfjorden. I lys av omfanget av forurensningen både geografisk og i form av effekter på biologiske resurser, har vi her å gjøre med landets alvorligste fjordforurensningsproblem.

Året 1986 vil være et merkeår i Sjørfjordens forurensningshistorie. I løpet av sommeren vil jarosittutslippet fra Norzink opphøre og overføres til fjellhaller. Dette vil bety en meget stor reduksjon i metalltilførselene til fjorden. I løpet av året vil det også bygges en spunsvegg i Eitrheimsvågen som har som formål å redusere utlekkingen av tungmetaller fra gamle residue-masser som ligger innerst i vågen. Til sammen vil disse to tiltakene definitivt føre til en merkbar bedring av forurensningsproblemet i fjorden.

I tillegg til disse forurensningsbegrensende tiltakene, må man forvente en viss økning i avfallsproduksjonen som følge av økt produksjon ved Odde Smelteverk og Norzink, mens Illeminittverket vil være opphav til et nytt utslipp. I hvilken grad disse endringene vil bety en økt belastning på fjorden vil avhenge av avfallshåndteringen. Det som imidlertid er sikkert er at det i første rekke er tungmetaller som er hovedproblemet i Sjørfjorden og at dette problemet forventes å avta dramatisk som følge av tiltak innværende år.

Usikkerheten omkring spørsmålet om hvor raskt Sjørfjorden vil rehabiliteres etter at tiltakene er satt i verk, skyldes de store mengder tungmetaller som er lagret i fjordens bunnsedimenter. Det er dette som er bakgrunn for at Kontaktutvalget for Miljøspørsmål i Odde tok initiativ til prosjektet "Indre Sjørfjord". Dette prosjektet har som mål å vurdere hvilke praktiske tiltak som kan gjøres for å hindre at utlekking av tungmetaller fra bunnsedimentene reduserer rehabiliteringsmuligheten. Det man vet er at når primære forurensningskilder fjernes, vil sekundære kilder bli relativt viktigere. I dette prosjektet vil det derfor bli gjort en vurdering av:

- I. sannsynligheten for at bunnsedimentene i indre Sjørfjord vil representere en signifikant forurensningskilde for tungmetaller og
- II. hvilke alternative tekniske tiltak kan være realistisk gjennomførbare for å hindre utlekking av tungmetaller.

På grunn av vanskelighetsgraden i prosjektet er det hensiktsmessig å dele prosjektet opp i faser. Første fase som er påbegynt og som skal avsluttes innen 30. august d.å. omfatter en teoretisk utredning av alternative tiltak. I denne fasen er det viktig å skalere problemet og få fram en del tallstørrelser som setter det hele i et realistisk perspektiv.

Dette notatet er ment som et foreløpig innspill i diskusjonen om prosjektets framdrift, med vekt på faglig bakgrunnsinformasjon.

## 2. Faglig innledning.

Før alternative tiltak vurderes er det viktig å utrede hvilke faglige forhold som bestemmer hvor stort problemet med forurensede sedimenter er. Kunnskapsnivået er her spinkelt og bygger ofte på teoretiske, kjemiske betraktninger (metallforbindelsers løslighet, kompleksbinding, diffusjon etc.). Det som i første rekke er viktig å få avklart er om problemet er så stort at tiltak er nødvendig. Uansett hvilke tiltak som ble gjennomført ville dette representere en meget stor investering og det er derfor viktig å vurdere denne investeringen mot gevinsten. (cost-benefit-prinsippet). Mao. tiltak synes kun å være aktuelt hvis man med nokså stor sikkerhet kan fastslå at de forurensede bunnsedimentene vil forurense Sørfjorden i lang tid etter at jarositt-utslippet overføres til fjellhaller.

### 2.1. Sedimentene som kilde eller deponi for tungmetaller?

Det er velkjent at en stor del av de tungmetaller som tilføres det marine miljø ender opp i bunnsedimentene. Det skyldes tiltrekningskraften mellom metaller og små partikler. Som følge av dette skjer det en opphopning av tungmetaller i de i de utslippsnære områdene, med eksepsjonelt høye metallkonsentrasjoner i sedimentene. I Sørfjorden strekker det sterkeste påvirkede området seg fra Lindeneset og til Oddas havnebasseng.

I hvilken grad bunnsedimentene er et permanent lagersted for tungmetaller avhenger av en rekke faktorer (se 2.2). Hvis metallene er bundet på en slik måte at de ikke utløses fra sedimentene, vil de forbli i sedimentene, med mindre det skjer fysiske påvirkninger som vivler opp bunnmateriale (bølger i de øvre 5 m, bunnstrømmer, aktivitet av dyr etc.).

Det er ofte vanskelig å måle graden av utlekking fra sedimentene. Økning av metallinnholdet i vannet over sedimentet kan være et tegn på at det skjer en aktiv transport ut av sedimentene. Gradientene som måles i bunnvannet vil imidlertid være avhengig av oppholdstiden av bunnvannet og de strømforhold som råder over bunnen. Bruk av "klokker" som settes ned på bunnen og som registrerer utlekkingen av metaller har også vært brukt, med blandet hell. Et indirekte mål for sannsynligheten for at forurensede sedimenter avgir metaller får man ved å analysere sedimentene for å finne hvor sterkt bundet metallene er (ekstraksjonsforsøk). Analyser av porevannet i sedimentet kan også gi nyttig informasjon.

Det finnes således ikke noe enkelt svar på om sedimentene er et permanent deponi for metaller eller om sedimentene er en kilde til forurensning. Noen av de faktorer som er bestemmende for dette er beskrevet nedenfor (2.2).

## 2.2 Faktorer som påvirker metallenes bevegelighet.

De faktorer som i første rekke bestemmer hvor bevegelig et metall er i et sediment er følgende:

- I metallenes tilstandsform i sedimentet (kompleksert, adsorbent sulfid, karbonat, hydroksyd etc.)
- II sedimentets redoksforhold (dvs. om sedimentet inneholder oksygen eller sulfid)
- III biologisk aktivitet i sedimentet (bioturbasjon)
- IV fysisk omrøring i sedimentet (oppvirvling)

Tilstandsformen vil ofte avhenge av hvilken form metallene tilføres resipienten. Med det er også kjent at metallforbindelsene kan gjennomgå en omdanning etter at de er avsatt i sedimentene (f.eks. dannelsen av tungtløslige sulfidforbindelser eller lettløslige klorokomplekser).

Sedimentets redoksydforhold har stor betydning for metallenes bevegelighet. Generelt gjelder at tilstedeværelse av sulfid (reduserende forhold) binder metaller bedre enn om oksygen er til stede. Men unntak finnes.

Dyrs aktivitet i sedimentet er oftest med og bidrar til større bevegelighet av metaller. Dette skjer både ved den fysiske oppvirvlingen og ved at sedimenter passerer tarmen til dyr hvor oppløsningsprosesser kan skje. Biologisk aktivitet omfatter også mikrobiologisk aktivitet. Bakterier kan f.eks. metyllere metaller, deriblant kvikksølv, og omforme uorganiske forbindelser til lett biotilgjengelige stoffer.

## 2.3. Koblingen mellom bunnsedimenter og biologiske forhold.

Det er hovedsaklig tre måter koblingen mellom bunnsedimenter og biologiske forhold kan skje på:

- I direkte utlekking av metaller fra sedimentene til vannmassene og opptak i plankton, fisk etc.
- II oppvirvling av metallholdige partikler som tas opp av organismer som lever på partikler (f.eks. blåskjell)
- III direkte opptak i organismer som lever i sedimentet eller på sedimentflaten.

Dette kan foruten å gi opphav til forhøyede metallkonsentrasjoner i organismer og næringskjeder også føre til sykdom og stress-symptomer hos organismer.

Dagens kunnskapsnivå innenfor området biotilgjengelighet av metaller i sedimenter er lavt.

### 3. Skalering av problemet i Sørfjorden.

Det er viktig helt fra starten av i prosjektet å dimensjonere problemet og tallfeste nøkkelfaktorene. Størrelser som er sentrale hvis tiltak skal iverettes er:

- I arealet av bunn hvor tiltak kan være aktuelt (arealer mellom forskjellige dybdekoter etc.)
- II mengden av metaller som befinner seg i dette området i de øvre f.eks. 10 cm av sedimentet.
- III hva slags utlekkingsrater som kan være realistiske ut fra erfaringsmateriale fra andre områder
- IV hvor mye masse som ville gå med hvis man dekket til dette området med 20, 40 eller 50 cm ukontaminert materiale.
- V hvilke muligheter man har til å skaffe masser i slike mengder
- VI hvor stort volum det ville dreie seg om hvis 50 cm av sjøbunnen i dag ble mudret.

Alle disse overslagene utført på et tidlig stadium i prosjektet vil kunne bidra til å luke ut hva som er realistisk og hva som er urealistisk. I denne prosessen er det imidlertid viktig å se på mulighetene før man ser på problemene.

### 4. Sluttkommentarer.

Reparerende tiltak i naturen er lite utprøvet. Naturen har selv en viss selvrensningsevne, men vanligvis skjer dette sakte. Når bunnen i en fjord er forurenset skjer selvrensingen ved at naturlige, ukontaminerte sedimenter gradvis overdekker de forurensete sedimentene. Hvor raskt dette vil skje avhenger av sedimenttransporten i tilførselselvene. Oppe som renner ut i Odda frakter små sedimentmengder til fjorden. Mesteparten av silt og leire avsettes i Sandvinvannet, ovenfor Odda. Det innebærer at fjordbunnens naturlige rehabiliteringssevne er liten. Av den grunn bør menneskelige inngrep vurderes for så raskt som mulig forvandle Sørfjorden fra å være en av verdens mest metallforurensete fjorder til et klassisk eksempel på at miljøtiltak nytter.

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
NIVA

SKE/VMG

KAN SØRFJORDEN GJØRES RASKERE REIN ?

Referat fra idè-dugnad på NIVA  
10 juni 1986 kl 1000-1300.

Tilstede: Tor Løken	NGI
Trygve Dekko	NOTEBY A/S
Jan Erik Sørli	NOTEBY A/S
Jon Rytter Hasle	MILJØPLAN A/S
Juul Låg	NHL
Per Strømsnes	NORZINK A/S
Johannes Erdal	ODDA SMELTEVERK A/S
Olav Skeie	K/S ILMENITTVERKET
Bjørn Sveen	INDUSTRIFORBUNDET
Per Åge Beck	SFT
Morten Svelle	SFT
Anne Marie Skjold	MD
Øyvind Tryland	STRØMME A/S
Lasse Vråle	NIVA
Kristoffer Næs	NIVA(Sørlandsavdelingen)
Egil Iversen	NIVA
Arne Erlandsen	NIVA
Ingvar Tveit	ODDA
Jon Knutzen	NIVA
Jens Skei	NIVA

Referent: Arne Erlandsen

Ordstyrer: Jens Skei

En orientering om forholdene innerst i Sørfjorden ble gitt av Jens Skei, som en innledning til møtet.



Utgangspunktet for diskusjonen var at

- sedimentene i Sørfjorden er en betydelig forurensningskilde og at
- tiltak er nødvendig.

Følgende alternative tiltak ble diskutert:

- mudring (utnyttning/gjenvinning, deponering på land)
- avgifting /avbinding
- overdekking (type overdekkingsmateriale, tykkelse etc.)

Nedenfor følger en oppsummering av diskusjonen om disse tre alternativene.

### Mudring

Sugemudring er mere skånsom enn grabbmudring. Problemet med sugemudring er de store vannmengdene som må behandles. Problemet med grabbmudring er at de finkornige sedimentene lekker ut av grabben. Landarealer for deponering er ikke disponible. Eneste mulighet er deponering i fjellhaller. Dette vil hindre avrenning fra deponiene. Deponering i havet er utelukket pga. internasjonale avtaler.

Massetak på bunnen forskjellige steder og trinnvis overdekking bør vurderes. Hvis massen kan suges, kan den også redeponeres (styrt lagring).

Norzink har ikke funnet det aktuelt å gjenvinne metaller fra sedimentene pga. produksjonstekniske årsaker (problemer med klor). Gjenvinning vil kreve ny teknologi.

Mektigheten av de forurensede sedimentene må kartlegges. Dette kan gjøres seismisk (Boomer), hvis ikke innholdet av organisk materiale er for stort slik at det dannes mye gasslommer.

Sedimentene innerst i Sørfjorden inneholder foruten metaller også tjærestoffer (PAH). Forekomst av PCB bør også undersøkes. Kan bli et problem ved mudring.

Konklusjonen på dette punktet var at det er betenkelig å uroe sedimentene ved å mudre. Dette kan føre til akutt forurensningsfare. Dette må veies mot ulempen med en moderat men langvarig forurensning som følge av frigivelse av miljøgifter fra sedimentene. Men i og med at deponeringsmulighetene er små og beheftet med store problemer er det neppe tilrådelig å anbefale mudring som restaureringstiltak i indre Sørfjord.

#### Avgiftning/avbinding.

Liten erfaring med avbinding av denne type slam. Dessuten er det lite realistisk å avbinde så store masser. En mulighet er sugemudring, tilsats av egnede kjemikalier og redeponering.

Konklusjonen på dette punktet var at man anså mulighetene for denne type restaurering for små. Erfaringer fra utlandet må imidlertid innhentes.

#### Overdekning

Hensikten med overdekning er to-delt:

(I) legge over et uforurenset lag som er så tykt at dyr ikke når ned i det forurensete sedimentet (bioturbasjonsdypet).

(II) hindre diffusjon av miljøgifter fra sedimentet til vannmassen over.

For å gjennomføre overdekning er det nødvendig å vite mere om slammets fysiske konsistens (vanninnhold, skjærfasthet, organisk innhold etc.). Likeså er det viktig å kartlegge slammets tykkelse for å kunne avgjøre tykkelsen av overdekningen. Kravet til overdekkingsmateriale må være at det er mest mulig diffusjonstett og minst mulig bioturberbart og eroderbart. De forurensete sedimentene bør sannsynligvis overdekkes med minimum 20-30 cm. Skal hele bunnområdet innenfor Lindeneset dekkes til med 25 cm vil det kreve ca.  $0.65 \times 10^6 \text{ m}^3$  med masse. De forskjellige typer masse som kan være aktuell for tildekning er:

1) Breslam (Sandvinvann/Buarbreen)

2) Kalkslam fra Odda smelteverk

3) Steinmasser fra utsprengning av fjellhaller ( $60000 \text{ m}^3/\text{år}$ ).

#### 4) Folgefonn-tunnel (bruk av steinmasser)

Konklusjonen på dette punktet var at bruk av breslam - enten ved oppmudring i Sandvinvannet eller transport av breslam i rør fra Buardalen - synes mest aktuelt. Den beste effekten vil man om breslam transporteres i rør som dykkes ned under sprangsjiktet i Sørfjorden. På den måten får man en rask flokkulering pga. blandingen mellom brevann og saltvann og overflatevannet vil ikke bli blakket. Denne metoden vil også sikre at breslammet i første rekke avsettes i Oddas havnebasseng, hvor forurensningen er størst. Ved flytting av rør kan bunnområder tildekkes etter tur. Ved denne metoden vil man ha minst problemer med stabiliteten av de underliggende massene ettersom avsetningen av breslam vil skje relativt sakte (noen få cm pr. år) og sedimentene vil få tid til å stabilisere seg. Hvor lang tid en slik overdekning ville ta vil avhenge av mengdene av breslam som tilføres hvert år.

Kan Sørfjorden gjøres raskere rein?

Referat fra idé-dugnad i Odda, torsdag 12. juni 1986.

Ordstyrer: Ingvar Tveit

Referent: Jens Skei

Målsettingen med idé-dugnaden i Odda var å trekke med lokal-samfunnet inn i de vurderinger som gjøres i forbindelse med opprensning i indre Sørfjord. Tilstede på møtet var 30 personer, inkludert representanter fra industribedriftene i Odda, Aksjon Rein Fjord, SFT, presse og lokalradio.

Møtet startet med en innledning av Ingvar Tveit fra Kontaktutvalget for miljøspørsmål i Odda. Deretter gav Jens Skei, NIVA en faglig orientering.

Diskusjonen på idé-dugnaden kan oppsummeres på følgende måte:

- (i) De forslag til tiltak som ble diskutert begrenset seg til overdekningsmuligheter.
- (ii) Et konkret forslag ble i detalj lagt fram om hvordan man kunne stemme opp avsatt breslam i Sandvinvannet og føre dette i rørsystem til Sørfjorden. En overdekning av de forurensede sedimentene innenfor Lindeneset i Sørfjorden ville kunne skje i løpet av en 3-årsperiode til en kostnad av 15-20 mill. kr., i følge forslagsstiller.
- (iii) Det ble reist en rekke spørsmål om hva som vil skje når industriavleieringer overdekkes med uforurensede sedimenter.
- (iv) Det ble påpekt at for å få full virkning av en overdekning må de resterende utslipp til havnebassenget opphøre (f.eks. Odda smelteverks utslipp, kommunale utslipp etc.).
- (v) Bruk av kalkslammet til Odda Smelteverk som overdekningsmateriale ble diskutert. For at dette skal være akseptabelt må slammets innhold av PAH og nitrogen reduseres.

- (vi) På slutten av møtet ble spørsmålet om Kontaktutvalgets berettigelse reist av ordstyrer. De uttalelser som ble gitt tyder på at utvalget spiller en viktig rolle i miljøvernarbeidet i Odda. Men det ble påpekt at arbeidet med en opprensning av eldre industriavleiringer i Odda ikke måtte ta bort oppmerksomheten fra eksisterende utslipp.
- (vii) Spørsmålet om å lage en messe i Odda som demonstrerer hva som foregår innenfor miljøvern lokalt ble også diskutert.

Konklusjonen på møtet var at tildekning av de forurensede sedimentene er et brukbart tiltak, men at det trengs betydelige forprosjekt for å utrede alle konsekvenser. Ingen andre former for opprensningstiltak ble foreslått.

## PROSJEKT INDRE SØRFJORD

Sedimentenes betydning for tungmetallforurensning i miljøet og mulighetene for tiltak.

Status og fremdriftsplan.

---

Kontaktutvalget for miljøspørsmål i Odda fikk i 1986 tildelt midler fra Statsbudsjettet, kap. 1448, post 21 (utredningsmidler), til gjennomføring av fase I i prosjektet. Fase I omfatter en teoretisk utredning om sedimentenes rolle som forurensningskilde i indre Sørfjord og hvilke alternative tiltak som eksisterer hvis denne forurensningskilden er betydelig. Utredningen utføres av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og skal være sluttført 31. august 1986 i henhold til kontrakt.

Arbeidet så langt med utredningen har vist at det vil være behov for en fase II for å skalere problemet. For å kunne vurdere om tiltak er nødvendig, vil det være behov for å kvantifisere mengden av tungmetaller som frigis fra sedimentene pr m<sup>2</sup> sjøbunn. Dette vil utgjøre fase II i prosjektet. NIVA har sagt seg villig til å utføre disse forsøkene ved NIVAs marine forskningsstasjon, Solbergstrand.

Utvekslingen av tungmetaller mellom sediment og vann med og uten tildekning av forskjellige typer materiale (breslam, industriavfall etc.) vil bli studert. En bred internasjonal kontaktflate er i ferd med å etableres blant annet med en studietur til USA og Japan i juli d.å.

Reparerende tiltak i naturen av den type som det kan bli snakk om i Sørfjorden vil være enestående i verden, og vil utvilsomt vekke internasjonal oppmerksomhet. Imidlertid vil reparerende tiltak også bety betydelige investeringer, slik at det er viktig at forsøk blir utført på forhånd for å teste om innsatsen vil stå i rimelig forhold til gevinsten.

Miljøverndepartementet vil få tilsendt utredningen fra fase I første uken i september d.å. Dette vil danne grunnlag for vurdering av økonomisk støtte til fase II, i henhold til departementets brev av 23. januar 1986 til Kontaktutvalget for miljøspørsmål i Odda.

Odda/Oslo, den 16. juni 1986

KONTAKTUTVALGET FOR MILJØSPØRSMÅL I ODDA