

Sammendrag

Fem pilotprosjekter ble startet opp i 2001/2002 for å skaffe mer kunnskap om hvordan opprydding i forurensede sedimenter best kan organiseres og gjennomføres, og for å få mer praktisk erfaring fra ulike typer prosjekter.

- Tromsø
- Trondheim
- Sandefjord
- Kristiansand
- Horten

Denne rapporten beskriver resultater og erfaringer fra arbeidene med disse pilotprosjektene i 2002, slik de ble presentert på statusmøtet i Sandefjord 14 - 15 mai 2003.

Erfaringene fra oppryddingen utenfor Haakonsværn marinebase ble også presentert på dette møtet og er tatt med i denne rapporten.

Til slutt identifiseres kunnskapshull på følgende områder:

- Metoder for overvåkning som gir svar på miljøeffekten av tiltak
- Miljøeffekten av ulike tiltak (under og etter tiltaket)
- Effekter av endringer i kjemisk/fysiske forhold på mobilitet av miljøgifter

Disse problemstillingene bør vies oppmerksomhet i det videre arbeidet med pilotprosjektene og eventuelt i separate utredninger.

Innhold

1	INNLEDNING	4
2	TROMSØ	5
2.1	Bakgrunn.....	5
2.2	Målsetning	5
2.3	Resultater og erfaringer	5
3	TRONDHEIM.....	7
3.1	Bakgrunn.....	7
3.2	Målsetning	8
3.3	Resultater og erfaringer	9
4	SANDEFJORD	13
4.1	Bakgrunn.....	13
4.2	Målsetning	14
4.3	Resultater og erfaringer	14
5	KRISTIANSAND	18
5.1	Bakgrunn.....	19
5.2	Målsetning	19
5.3	Resultater og erfaringer	19
6	HORTEN.....	21
6.1	Bakgrunn.....	21
6.2	Målsetning	21
6.3	Resultater og erfaringer	21
7	HAAKONSVERN	22
7.1	Bakgrunn.....	22
7.2	Målsetning	23
7.3	Resultater og erfaringer	23
8	OPPSUMMERING AV MILJØMÅL, KOSTNADER OG METODER ..	25
8.1	Miljømål	25
8.2	Metoder.....	27
9	DISKUSJONEN PÅ MØTET I SANDEFJORD	27
9.1	Problemer med søppel på sjøbunnen	27
9.2	Overvåkning av tiltak	28
10	KUNNSKAPSMANGLER.....	29
11	REFERANSER	31

Kontroll- og referanseside

1 INNLEDNING

Fem pilotprosjekter ble startet opp i 2001/2002 for å skaffe mer kunnskap om hvordan opprydding i forurensete sedimenter best kan organiseres og gjennomføres, og for å få mer praktisk erfaring fra ulike typer prosjekter:

Tabell 1 SFTs pilotprosjekter

Pilotprosjekt	Tema og metoder i prosjektene	SFTs bidrag 2001 -2002 (MNOK)	Totale kostnader i prosjektet
• Tromsø	Risikovurdering vha. biologiske effektstudier	0,8	
• Trondheim	Mudring, stabilisering og deponering	9	50
• Sandefjord	Mudring og deponering under vann (gruntvannsdeponi)	16	26
• Kristiansand	Opprydding i "hotspots", effektvurderinger, in situ tildekking	2	
• Horten	Disponering av TBT-forurensede sedimenter på land	1,2	

Staten bidro med ca. 29 mill. kr til prosjektene i 2001 og 2002. I tillegg til midler fra SFT, bidrar hvert prosjekt med egne midler. Samlet bidrag fra SFT i 2003 er om lag 25 mill. kr. Prosjektene har ulik varighet, men de fleste skal være avsluttet innen utgangen av 2004. Foreløpig status og erfaringer fra arbeidet som er gjort i disse prosjektene så langt ble presentert og diskutert på et to dagers møte i Sandefjord 14 – 15 mai 2003.

Denne rapporten gir en oppsummering av disse erfaringene. Det er lagt vekt på å sammenstille data og erfaringer fra prosjektene slik at viktig lærdom med betydning for praktisk gjennomføring av andre prosjekter kommer tydelig frem. Det er også gjort en mer enhetlig sammenstilling av nøkkelinformasjon for prosjektene til slutt.

Kapittel 2-7 gir en kort presentasjon av bakgrunn, målsetning og foreløpige resultater fra alle pilotprosjektene. Bakgrunnen beskriver forurensningssituasjonen som danner grunnlaget for tiltaket. Under målsetning beskrives hvilke temaer som pilotprosjektet skal skaffe ny kunnskap og erfaringer om. Resultatene som så langt foreligger er omtalt til slutt for hvert prosjekt.

Kapittel 8 gir en oversikt over arbeids- og tiltaksmetoder som er brukt i de ulike fasene i pilotprosjektene (tiltaksplan, tiltaksgjennomføring og overvåking).

I kapittel 9 er det referert de viktigste momentene fra diskusjonen som kom i forbindelse med presentasjonene.

Kapittel 10 diskuterer kunnskapsmangler som er identifisert gjennom arbeidet med pilotprosjektene.

2 TROMSØ



2.1 Bakgrunn

Sedimentet i ulike deler av Tromsø havn er forurensset blant annet av PAH og TBT. Dette er bakgrunnen for behovet for vurdering av tiltak i dette prosjektet. Det er ikke identifisert noe klart oppryddingsbehov i Tromsø havn før pilotprosjektet startet, men pilotprosjektet skal teste biologiske metoder for å vurdere risiko og eventuelt behov for tiltak.

2.2 Målsetning

Pilotprosjektet i Tromsø har fått støtte av SFT for å gjøre en risikovurdering av forurensningen i sedimentet ved hjelp av biologiske effektstudier og for å vurdere risiko og behov for tiltak i et område med sterk strøm. Prosjektet skiller seg derfor en del fra de andre pilotprosjektene ved at det foreløpig er mindre fokus på teknologi for selve oppryddingen, men mye fokus på vurdering av behov for tiltak.

På bakgrunn av resultatene fra risikovurderingen skal det lages en tiltaksplan som beskriver behovene for tiltak for å redusere påvist miljørisiko.

2.3 Resultater og erfaringer

Det er tre hovedproblemer knyttet til miljøgifter i marine sediment:

1. Skade på økosystemet
2. Fysisk og kjemisk transport til vannmassene
3. Trofisk transport av miljøgifter til marine næringskjeder

For å løse disse spørsmålene må en benytte både kjemiske og biologiske metoder. En av hovedmålsetningene til det pågående pilot-prosjektet i Tromsø havn er å prøve ut biologisk effekt som grunnlag for risikovurdering av marine sediment.

Det har blitt samlet inn sediment-prøver fra rundt 50 lokaliteter i Tromsø-sundet, og det er utviklet metoder for opparbeiding og ekstraksjon slik at giftigheten av sedimentene kan testes med *in vitro* metoder. Det gjøres både ekstraksjon i en organisk fase, der en vil finne miljøgifter som PAH og klororganiske stoffer, og porevann, der en vil finne metaller og mer vannløselige miljøgifter. Målet med ekstraksjonsmetodene er å få ut så mye som mulig av miljøgiftene i sedimentet for derved å kunne tallfeste den potensielle giftigheten i sedimentet i det undersøkte området. Metodene som blir benyttet i den første kartleggingen av giftigheten til sediment i Tromsø havn har blitt valgt med utgangspunkt i NIVAs erfaringer og erfaringer fra andre land. Det er både valgt metoder som gir indikasjoner om spesifikke virkningsmekanismer (celletester, Microtox™) og metoder som viser mer generelle gift-effekter (hel-organisme tester). Til sammen skal de valgte metodene vise eventuelle effekter av de fleste kjente miljøgifter i sedimentet. Både den organiske fasen og porevannet blir testet med hel-organisme tester, med Microtox™ og med leverceller fra fisk. Hel-organisme testene gjennomføres med algen *Skeletonema costatum* og krepsdyret *Acartia tonsa*. Microtox™ vil vise effekter som skyldes tilstedeværelse av stoffer som kan gi skader på DNA. Testene med leverceller viser generell giftighet og cytotoksisitet (som vil påvirkes av blant annet TBT), samt tilstedeværelsen av plane organiske miljøgifter og miljø-østrogener.

Den innledende kartleggingen av giftighet vil danne grunnlag for å velge ut sediment som testes videre både med hensyn til biotilgjengelighet og giftighet av helt sediment (ikke ekstrakter). Biotilgjengeligheten av utvalgte miljøgifter vil kunne benyttes til å modellere risiko for trofisk transport.

For å avklare problemer knyttet til eventuell fysisk eller kjemisk mobilisering av miljøgifter i sedimentene vil det bli gjennomført en undersøkelse med utsetting av blåskjell på utvalgte stasjoner. Samlet vil programmet ta opp alle tre hovedproblemene knyttet til forurenset sediment.

Analysene av ekstraktene pågår fremdeles. Det er ønskelig å se alle resultatene samlet før en trekker konklusjoner om miljørisiko. Resultatene som ble presentert på møtet i Sandfjord viser at det er både samsvar og sprik mellom resultatene fra de ulike metoder for måling av toksisitet og mellom forventet forurensning i sedimentet.

3 TRONDHEIM



3.1 Bakgrunn

Trondheim havn er en trafikkhavn hvor det er påvist sterkt forurensede sedimenter i store deler av havneområdet (PCB, PAH, TBT og tungmetaller).

Pilotprosjektet i Trondheim havn inneholder følgende hovedaktiviteter:

- Tiltaksanalyse (systematisk vurdering og prioritering av tiltaksområder)
- Tiltaksgjennomføring (massestabilisering og rensing)
- Økonomisk/juridisk analyse (kost-nytte vurdering samt vurdering av tiltaksfond)
- Overvåking, dokumentasjon og informasjon

Tiltaksanalyse gjennomført av DNV konkluderer med at det er behov for tiltak på lokalitetene Fagervika – Ilsvika og i Nyhavn, og at det sannsynligvis er behov for tiltak på lokaliteten Ladehammeren-Østmarkneset (DNV, 2003). Det er videre anbefalt at det gjøres nærmere undersøkelser på alle disse områdene for planlegging av tiltak og avgrensning av forurensningen.

Overkonsentrasjon i fisk/skalldyr	Kostholds faktor				
	1	2	3	4	5
<2x					
2x til 4x					
4x til 6x		4. Brattøyra	3. Ilabassenget 7. Nyhavna 8. Ladehammeren	5. Kanalen 6. Nidelva	2. Fagervika - Ilsvika
6x til 8x					
>8x					

S1

S2

S3

Figur 1 Risikomatrise for lokalitetene i Trondheim havn

Tiltaksanalysen viser også at det er størst miljørisiko i Fagervika – Ilsvika. Basert på tiltaksanalysen er derfor området Ila-bassenget mot Ilsvika valgt for gjennomføring av første tiltaksfase. Denne tiltaksfasen har bestått i å mudre 15 000 – 20 000 m³ fra Ilsvika, og uttesting av stabilisering av de mudrede massene med sement og flyveaske i full skala. Stabiliseringen skal gi massene bedre geotekniske egenskaper og hindre utlekking fra sedimentene. De stabiliserte massene deponeres i strandkantdeponi i havneområdet. Fase 1 av pilotprosjektet slutføres i 2003.

I 2003 skal det mudres 45 000 m³ masser. Det meste av disse massene skal stabiliseres, mens noe av massene skal brukes i et storskala renseforsøk. Videre skal det arbeides med en juridisk analyse av muligheten for å etablere lokale tiltaksfond for å få økonomisk grunnlag til å gjennomføre helhetlig opprydding i norske havner.

I tillegg inngår overvåking og dokumentasjon som en sentral del av arbeidet i prosjektet i løpet av 2003.

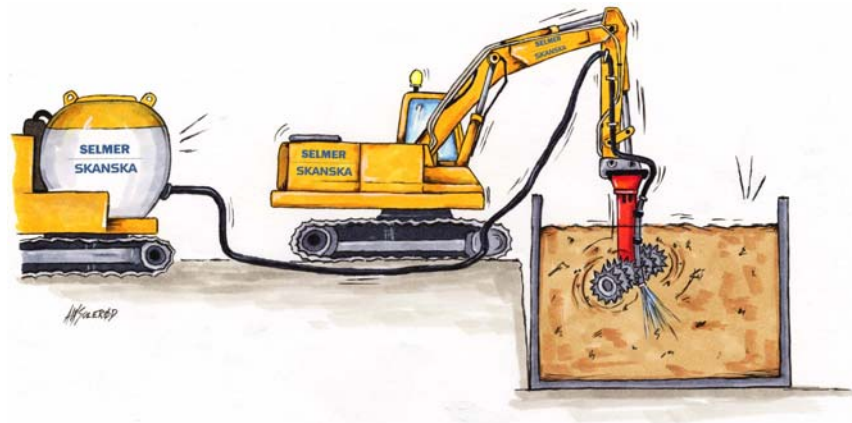
De tekniske oppgavene omfatter hovedsakelig følgende:

- Vurdering av gjennomført mudringsmetode i forhold til alternativ mudringsteknologi.
- Videreutvikling av metoder for fysisk/kjemisk stabilisering basert på erfaringer etter fase 1. Derav vil det bli lagt vekt på å utrede andre typer produksjonsavfall som bindemiddel i tillegg til sement.
- Utredning av ulike renseteknologier. Testing av sedimentenes egenskaper vil danne grunnlag for valg av renseteknologi for storskala forsøk.

3.2 Målsetning

En av hovedhensiktene med fase 1 av prosjektet har vært å gi økte kunnskaper og erfaringer med stabilisering av forurensede sedimenter og deponering av disse med tanke på bruk av deponiområdet som byggegrunn.

Formålet med stabiliseringen er både å oppnå byggegrunn med tilstrekkelig geoteknisk kvalitet og å stabilisere miljøgiftene i sedimentet. Stabiliseringen kan også gi en redusert vanngjennomstrømning (permeabilitet) i de deponerte massene og dermed mindre transport av miljøgifter ut av deponiet.



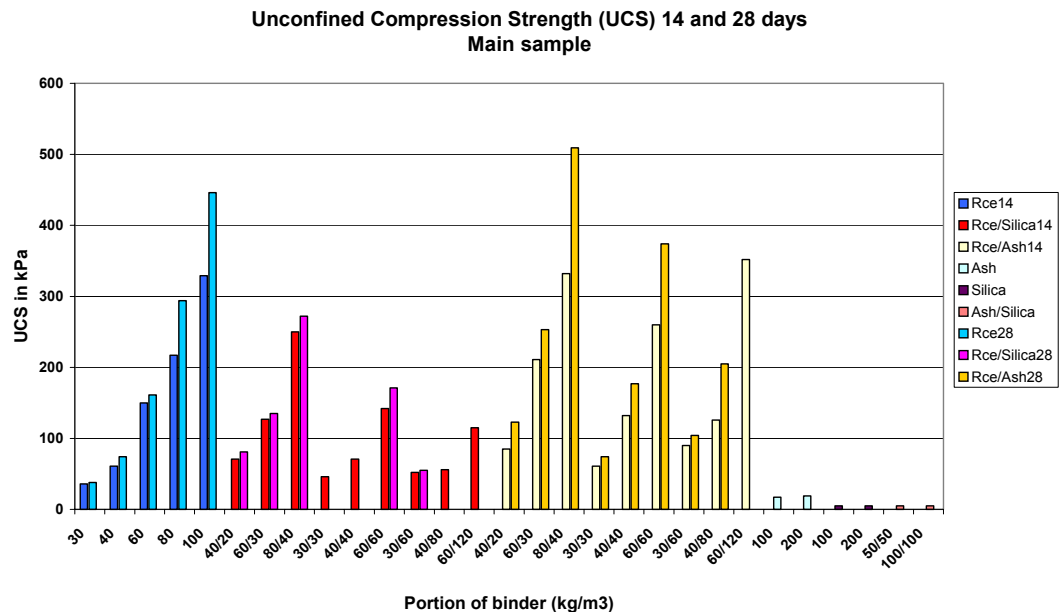
3.3 Resultater og erfaringer

Prosjektet har i fase 1 gjennomført stabilisering og deponering av 10 800 m³ forurensset sediment. Erfaringene fra dette prosjektet skal rapporteres av prosjektgruppen i nær fremtid.

I løpet av prosjektet har det blitt gjennomført en rekke tester av geotekniske egenskaper og utlekking fra stabiliserte masser.

Det er også gjort overvåking av turbiditet og satt ut sedimentfeller for å overvåke spredning av miljøgifter under tiltaket.

3.3.1 Stabilisering



Figur 2 Styrke målt på stabilisert sediment med ulike blandingsforhold mellom ulike bindemiddel og sediment

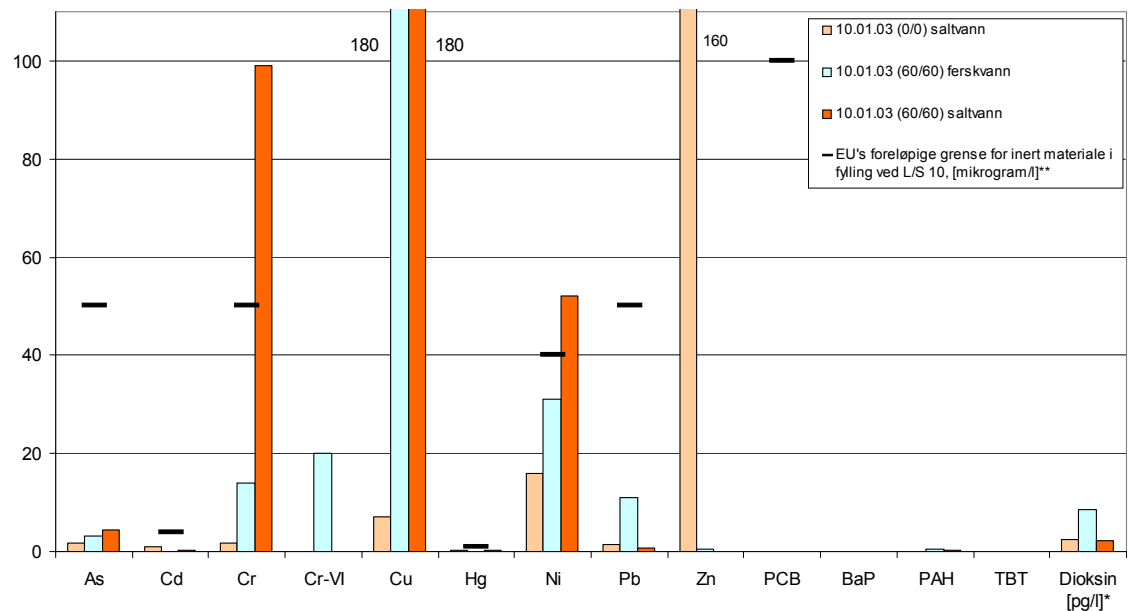
Figuren viser resultater fra test av styrke til sediment fra Trondheim, stabilisert med ulike typer bindemiddel.

Følgende bindemiddel ble testet:

- Filteraske fra forbrenningsanlegg
- Mikrosilika
- Industrisement

Testene viste at sement (Rce) var nødvendig for å oppnå tilstrekkelig styrke. Høyest styrke ble oppnådd med en blanding av sement og filteraske som bindemiddel (Rce/Ash). I gjennomføringen av stabilisering i pilotprosjektet brukes sement med ulike innblandingsforhold av filteraske. Innblanding av mikrosilika gav ikke noen vesentlig økning av styrke og ble derfor sløyet som bindemiddel.

3.3.2 Utlekking

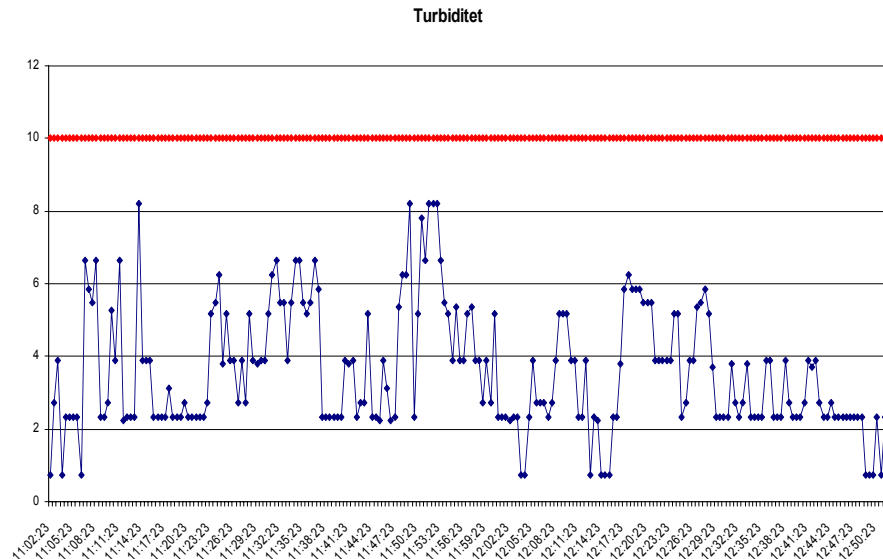


Figur 3 Utlekking fra stabilisert sediment (µg/l)

Utlekking fra stabilisert sediment ble analysert med utlekkningstester på knust materiale. Analysen av utlekkingsvæske fra disse forsøkene er vist i fig. 3. Resultatene viser at særlig Cr, Cu og Ni lekker ut i større grad fra stabilisert sediment enn fra ikke stabilisert sediment. Dette kan skyldes at høy pH i det stabiliserte sedimentet gir utlekking av amfotere metaller, at sementen inneholder lett løselige fraksjoner av f.eks. Cr og Cu, eller at det høye innholdet av ioner i sjøvann gir ionebytting av tungmetaller fra sediment, sement eller flyveaske.

Utlekkingstestene som er benyttet her gjøres også etter en nedknusing som massene ikke vil bli utsatt for i deponiet. Denne problemstillingen vil bli diskutert nærmere i rapporter fra pilotprosjektet.

3.3.3 Overvåking turbiditet



Figur 4 Eksempel på overvåking av turbiditet

Prosjektet melder om små problemer med å overholde grensen på 10 NTU. Overvåking med måling av turbiditet ble tatt opp i diskusjonen etter flere av innleggene. Dette temaet er nærmere behandlet i kapittel 9.

Overvåking sedimentfeller

Resultatene fra overvåking med sedimentfeller nærmest mudringsstedet viser at det er partikler i vannmassene med betydelig innhold av miljøgifter, spesielt PAH og PCB. I sedimentfeller utenfor deponiområdet er det registrert betydelig mindre partikler og lavere innhold av miljøgifter. Årsaken til at det er betydelig innhold av partikler og miljøgifter i sedimentfeller ved mudringsområdet antas å være påvirkning av mudringsaktiviteten.

4 SANDEFJORD

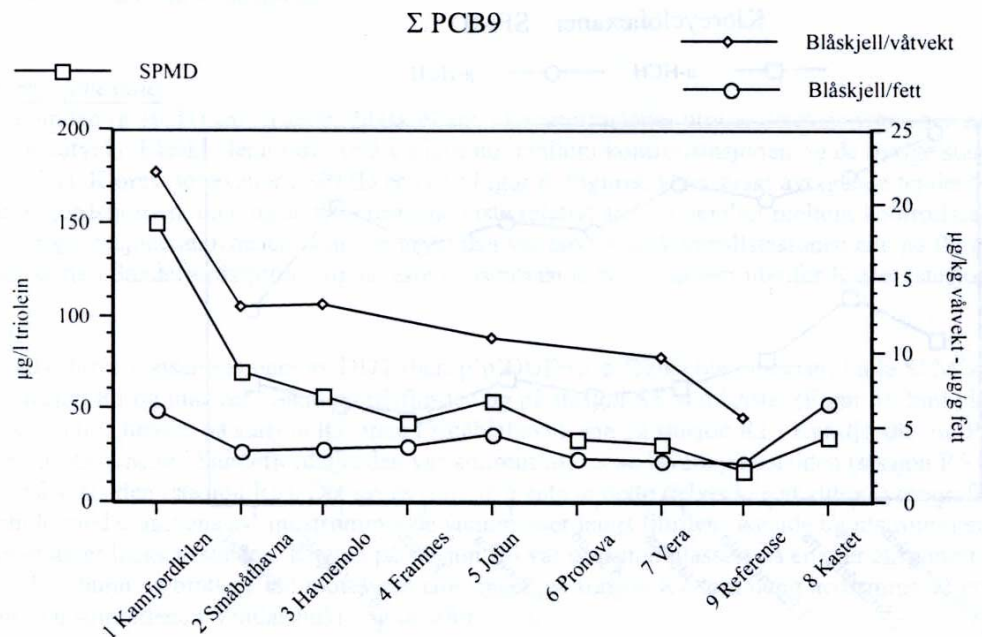


4.1 Bakgrunn

Sandefjordsfjorden er forurensset fra industri, verftsvirksomhet og avrenning fra forurensset grunn. I tillegg bidrar skipstrafikken til oppvirvling og spredning av forurensete sedimenter.

Kartlegging av miljøgiftinnholdet i sedimentet og undersøkelser med passive prøvetakere og blåskjell gjennomført av NIVA (1998), viste at den høyeste konsentrasjonen av PCB i vann i Sandfjordsfjorden ble funnet i Kamfjordkilen innerst i Sandefjordsfjorden. Dette er bakgrunnen for at tiltak i sedimentet i Kamfjordkilen med parallelle tiltak for begrensning av kilder på land.

Tiltaket i sedimentet består i å mudre de øverste 0,5 m av sedimentet og deponere dette i et gruntvannsdeponi som dekkes til med rene masser.



Figur 5 Undersøkelse av PCB i passive prøvetakere og blåskjell i Sandefjordsfjorden

4.2 Målsetning

Dette prosjektet skal høste erfaringer med bruk av ulike mudringsmetoder, metoder for deponering av mudrede masser under vann og tildekking av disse.

4.3 Resultater og erfaringer

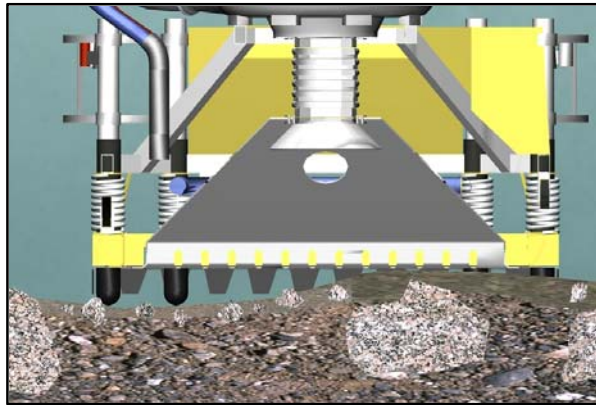
Det ble på SFTs fellesmøte presentert resultater fra overvåking av turbiditet, erfaringer med de ulike mudringsmetodene og deponering av mudrede sedimenter i geotekstilposer.

4.3.1 Turbiditet

Omfattende automatisk overvåking av turbiditet har fungert godt og har ikke gitt store problemer med å holde grensen på 15 NTU. Det har likevel vært noen problemer med tilgroing på utstyret. Noen ganger har det vært behov for å måle turbiditet i andre dybder eller områder enn der de automatiske sondene er plassert. Dette løses ved å bruke en manuell turbiditetssonde i tillegg til de automatiske.

4.3.2 Mudringsmetoder

Sugemudring



Det er brukt to sugemudringsapparater i dette prosjektet:

1. Watermaster
2. Miljøhav

1. Watermaster

Lite selvgående apparat

Oppnådd kapasitet 400 – 500 m³/dag

Fordeler

- Den største fordelen med Watermaster er at den kan gå på tørt land, dvs. at den kan mudre helt opp i strandsonen. Dette er områder hvor større mudringsfartøy har problemer med adkomst.
- Etter utbedring fungerer maskinen bedre til miljømudring og til deponering i poser.
- Fungerer under forhold med tykk is.

Ulemper

- Det er ikke påmontert noe "avansert" system for dokumentasjon av mudringen på dette fartøyet. Selve maskinen posisjoneres ved hjelp av merkede bøyer. I forkant av hvert område som skal mudres blir det gjennomført en manuell opploddig av dybdene. Denne dybden blir så nyttet under selve mudringen, hvor det er plassert en målestav på gravestikken som operatøren leser av.
- Siden Watermaster ikke er konstruert for miljømudring og det må gjøres spesielle tilpasninger, går kapasiteten på mudringsutstyret ned. Dette er mudringsmetodens største ulemper.
- Maskinen er ømtålelig for søppel og andre obstruksjoner på bunnen.

2. Miljøhav

Miljøhav er et mudringsapparat som ble laget for mudringen i Haakonssvern. Miljøhav består av en flåte med spuds, samt en maskin

som bærer av munnstykket. Teoretisk pumpekapasitet på Miljøhav er 500 - 2 500 m³/h, mens det under mudringen i Sandefjord blir nyttet en kapasitet på ca. 500 - 600 m²/dag, tilsvarende 250-300 m³/dag insitu sediment (inkl. porevann).

Fordeler

- Miljøhav fungerer meget godt under alle typer bunnforhold hvor det skal fjernes lag av forurenset sediment.
- Miljøhav er utstyrt med posisjoneringssystem basert på GPS, samt kamera på munnstykket som gir ekstra informasjon til operatøren.
- Miljøhav har en rekkevidde ned til minus 20 m.

Ulemper

- Svakheten til Miljøhav slik den fremstår i dag er mudring på svært grunne områder, dvs. grunnere enn minus 2,5 m.
- Tilfører mye vann til sedimentet, noe som setter begrensninger på deponerings- og behandlingsmetodene.

Pneumamudring

Denne pumpetypen har ikke vært prøvd i Norge tidligere. Pneumapumpen består av tre tanker koblet sammen på ett munnstykke, samt en distributor som fordeler trykkluft og vakuum mellom tankene. Systemet fungerer ved at massene suges inn i tankene ved hjelp av vakuum og skyves videre med trykkluft.



Figur 6 Pneumapumpe som er nyttet i forbindelse med mudringen i Kamfjordkilen

Fordeler

- Grunnet den store innløpshastigheten til sedimentet, blir det ikke tilført "noe" ekstra vann under mudringen i forhold til den vannmengden som er naturlig i sedimentet.

- Ved normal drift er det lite oppvirvling ved selve munnstykket.
- Pumpen har stor kapasitet og har "ingen" begrensninger på arbeidsdybde.
- Kan trolig deponere direkte i sjø uten sikring, dersom nødvendige tilpasninger gjøres.

Ulemper

- Søppel og obstruksjoner som befinner seg nede i sedimentet er det største problemet og forårsaker driftsproblemer. I forkant av selve munnstykket er det plassert en rist som kan bli tett av søppel. Innledningsvis la det seg også søppel/skrot i ventilen i innløpet til tankene. Dette førte til at ventilen ikke ble skikkelig tett, og det ble da en form for tilbakespyling. Etter nødvendige utbedringer er dette problemet løst.
- Pneumapumpen kan/bør ikke mudre på grunnere vann enn ca. 1,5 m.

Tabell 2 Oppsummering mudringsmetoder

Mudringsmetode	Søppel	Innblanding av vann	Oppvirvling på mudringsstedet
Pneumametoden	Gir problemer	Liten innblanding	Liten (etter tilpasning av ventil)
Watermaster (sugemudring med kuttehode)	Gir problemer	Stor innblanding	Liten (etter tilpasning av graveskuff)
Miljøhav (sugemudring med vannspyling)	Problemer med store objekter eller objekter som følger de mudrede massene	Stor innblanding	Liten
Grabbmudring	Problemer med store objekter	Liten innblanding	Noe

Ulike mudringsmetoder er egnet til ulike forhold. Innblanding av vann vil ofte bestemme hvilken mudringsmetode som kreves. Ved deponering direkte under vann eller ved mudring for stabilisering, må det velges en metode som gir liten innblanding av vann.

Søppel er et problem ved alle metoder, også ved grabbmudring. Det er derfor viktig å kartlegge og eventuelt fjerne søppel så langt mulig før oppstart. Dette ble diskutert i forbindelse med flere av innleggene, og temaet er diskutert nærmere i kapittel 9.

4.3.3 Deponering

De mudrede massene er deponert i et gruntvannsdeponi i Kamfjordkilen. Deponiet er etablert ved å lage en barriere av sprengt stein som avgrenser deponiet mot vest, mens topografien avgrenser deponiet i de andre himmelretningene. Under barrieren er det lagt ut en geotekstil av typen Televev 200/200.

Polyesterduken virker både som en armering i bunnen av barrieren, samt at den hindrer oppvirvling av sediment ved utlegging av barrieren. Både polyesterduk og pukk ble lagt ut med splittlekter og gravemaskin, noe som fungerte meget godt.

Deponering i geotekstilposer

Geotekstilposer skal brukes til å deponere masser fra sugemudring som inneholder så mye vann at de ikke kan deponeres direkte under vann. Sedimenter mudret med sugemudring blir pumpet i en hel-sveiset polyetylen ledning fra mudringsfartøylene til geotekstilposer i deponeringsområdet. Bagene blir produsert på stedet. Bagene som brukes består av fiberduk klasse 4 med reduksjonskammer og overtrykksventil og har et volum på ca. 100 m³. Bagene kan til- og frakobles på overflaten, og kontrolleres jevnlig med dykker.

Bagene må utformes etter type mudringsfartøy og type sedimenter som skal deponeres i bagene. Det er nødvendig med et jevnt overtrykk for å avvanne sedimentene.

Det er meget arbeidskrevende å bruke disse posene til deponering av større mengder sediment. Denne løsningen vil derfor være best egnet for deponering av mindre volumer sediment.

Tildekkingen av deponiet forventes å bli gjennomført i løpet av høsten 2003.

5 KRISTIANSAND



5.1 Bakgrunn

Kristiansandsfjorden er særlig forurenset fra tungindustri, men også fra verfts-virksomhet, militære aktiviteter og avfallsfyllinger. I tillegg er det en betydelig trafikkhavn og flere småbåthavner i området. Sedimentene i fjorden er forurenset med dioksiner, heksaklorbensen (HCB), PCB, PAH, TBT og flere tungmetaller.

Tiltaksanalyse gjennomført av Veritas i 2001 viste at Hanneviksbukta ved Falconbridge fabrikk var et av de områdene med størst miljørisiko.

Ved bygging av tunnel for utbygging av E18 gjennom Kristiansand er det tilgjengelige sandmasser som brukes til tildekking av bløte forurensede sedimenter i Hanneviksbukta.

Hovedaktiviteten i 2002 har vært tildekking av forurensede sedimenter i Hanneviksbukta.

Pilotprosjektet i Kristiansand skal vurdere og gjennomføre tiltak for å forbedre situasjonen i hele Kristiansandsfjorden. Det videre arbeidet med pilotprosjektet består av følgende delprosjekter:

- Etablering av strandkantdeponi for forurensede sedimenter
- Miljøsikring av avfallsdeponi i Kongsgårdsbukta
- Opprydding av forurensede sedimenter i Kongsgårdsbukta/Torsvika
- Opprydding av forurensede sedimenter i minst 3 småbåthavner
- Fullføre tildekking i Hannevika

5.2 Målsetning

I tillegg til å være et miljøforbedrende tiltak i Kristiansandsfjorden, er den viktigste oppgaven, i den delen av pilotprosjektet som ble gjennomført i 2002, å skaffe erfaringer om tildekking av bløte forurensede sedimenter med rene masser.

Det er gjort geotekniske undersøkelser av styrken til sedimentet som skal dekkes til, og spredning av miljøgifter og reetablering av fauna skal overvåkes for å vurdere effekten av tiltaket.

5.3 Resultater og erfaringer

Erfaringer med utleggingsmetoder

Basert på erfaringer fra prøvedumping med fallbunnlekter høsten 1998 i Hannevika, ble følgende prinsipp lagt til grunn for utarbeiding av tildekkingsplan:

- Massen legges ut i flere tynne lag som krysser hverandre. For det første, mest kritiske laget var kravet 5 cm tykkelse, for de neste lagene 10 cm.

- Tildekking bør generelt starte på de dypeste partiene og fortsette oppover mot grunnere vann. Dette reduserer risikoen for utgliding av bløte sedimenter der bunnen heller mer enn 7 – 10 %. Dette er etter beregninger og anbefalinger fra NGI.
- I Hannevika er det en del bratte partier på 10 – 15 m dyp langs land. Tildekking startet her med 25 cm masse for å provosere frem eventuelle lokale utrasinger så tidlig at de ikke skulle ødelegge allerede tildekkede områder på større dyp.
- Langs og nær land er det vanskelig å få til kryssende lag. Her må utleggingen tilpasses landkonturene.

Utstyret som skal brukes til utlegging av tildekkingsmasse må oppfylle noen funksjonelle krav:

- Lekteren eller fartøyet må slippe massen jevnt ut.
- Hvert slipp av masse må skje på riktig sted etter en på forhånd oppsatt plan, og hvert slipp skal registreres. Dette krever at det brukes et posisjoneringssystem med nøyaktighet $\pm 1 - 2$ m både til manøvrering og til registrering av tildekket areal.

Erfaringene fra Hannevika har vært:

- Slepebåt med fallbunnlekter har vist seg godt egnet til utførelse.
- Bruk av GPS i slepebåten har fungert meget bra både til navigering og til registrering av tildekkede areal.
- Dykkerinspeksjoner har til nå ikke vist større utrasninger av bløte sedimenter. På bratte fjellpartier har imidlertid dekkmassen sklidd ned på bunnen av skråningen.

Utleggingen skal kontrolleres etter ferdigstillelse med dykkerinspeksjon av utsatte målepinner.

Endring i spredning av miljøgifter

På forhånd er det satt opp følgende suksesskriterier for tildekkingen i Hanneviksbukta:

- Ikke spredning av miljøgifter under tildekkingsoperasjonen
- Geoteknisk stabilitet
- Ikke utlekking gjennom tildekkingslag
- Konsentrasjoner av miljøgifter i overflatesediment ikke over klasse II
- Ikke akkumulering av miljøgifter i nyetablerte byttedyr
- Økt diversitet av bunnlevende fauna
- Minimal spredning av miljøgifter ved oppankring på fast oppankringssted

Følgende målinger er planlagt for å dokumentere effekten av prosjektet:

Etter utførelse:

- Verifisering av minimal utlekking av miljøgifter gjennom tildekkingslag

Langsiktig etterkontroll:

- Geoteknikk
- Sedimentasjon av forurensede partikler
- Miljøgifter i fauna
- Diversitet av bunnlevende fauna

Det er gjennomført forundersøkelse av oppvirvling av sedimenter ved ankring av store båter og akkumulering av miljøgifter i sedimentlevende fauna i Hanneviksbukta

6 HORTEN

6.1 Bakgrunn

I forbindelse med anlegging av et nytt anløpspunkt i Horten havn, har dette pilotprosjektet undersøkt effekter av disponering av TBT-forurensset sediment på land.

6.2 Målsetning

Dette pilotprosjektet skulle teste teknologi for å behandle sediment som er forurensset med TBT. I den forbindelse er det gjort vurderinger av mobiliteten til TBT og målinger av utlekking av TBT fra sedimentet.

6.3 Resultater og erfaringer

Det er gjort laboratorietester av utlekking og toksisitet. I tillegg er det gjort modellberegning av TBT-mobilitet med geokjemisk modelleringsverktøy (PHREEQC).

Laboratorietester:

- Karakterisering av partikkelstørrelse, mineralsammensetning, organisk materiale og TBT-konsentrasjon i TBT-forurensset sediment.
- Utlekkingsforsøk med kunstig regnvann
- Økotokskologiske tester med jordlevende invertebrater (spretthaler og encytraeider)

Modellberegninger

- Litteraturgjennomgang
- Modellering av transport/spredning med PHREEQC

Resultatene fra laboratorieundersøkelsen viser bl.a. at mer enn 50 % av den totale mengden TBT i det undersøkte sedimentet er knyttet til partikkelfraksjonen $< 6\mu\text{m}$. Utlekkingsforsøkene viste at TBT er svært utlekkbart, samtidig som forsøkene indikerer lav nedbrytningshastighet.

Effektnivået (10 % reduksjon i reproduksjon) for enchytaeider var $200\ \mu\text{g/kg}$ og for spretthaler ($1\ 200\ \mu\text{g/kg}$).

Modellberegningene viser sammen med utlekkingsforsøkene at det kan forventes en hurtig utlekking i den første fasen av eksponeringen av sedimentene, deretter vil utlekkingen være mindre, men varig.

Det er også gjort estimater av utlekking fra et tenkt landdeponi med TBT-forurensede sedimenter basert på resultatene fra utlekkingsforsøkene. Dersom det meste av utlekket TBT binder seg i de 20 øverste cm under deponiet, vil den gjennomsnittlige TBT-konsentrasjonen i jorden under deponiet bli $2,6\ \mu\text{g/kg}$. Denne konsentrasjonen er langt lavere enn effektnivåene målt i toksisitetstestene.

7 HAAKONSVERN



7.1 Bakgrunn

Sjøbunnen utenfor marinebasen på Haakonvern har i perioden etter at basen kom i drift blitt sterkt forurensset av PAH, PCB og tungmetaller. Forurens-

ningen har bidratt til kostholdsråd i området. Mudring av forurenset sjøbunn og deponering i strandkantdeponi er gjennomført med målsetning om at kostholdsrestriksjonene på sikt skal kunne fjernes.

Dette prosjektet er ikke et pilotprosjekt finansiert av SFT, men en opprydding finansiert av Forsvarsdepartementet. Det er likevel et viktig prosjekt som det er viktig å høste så mye erfaring fra som mulig.

7.2 Målsetning

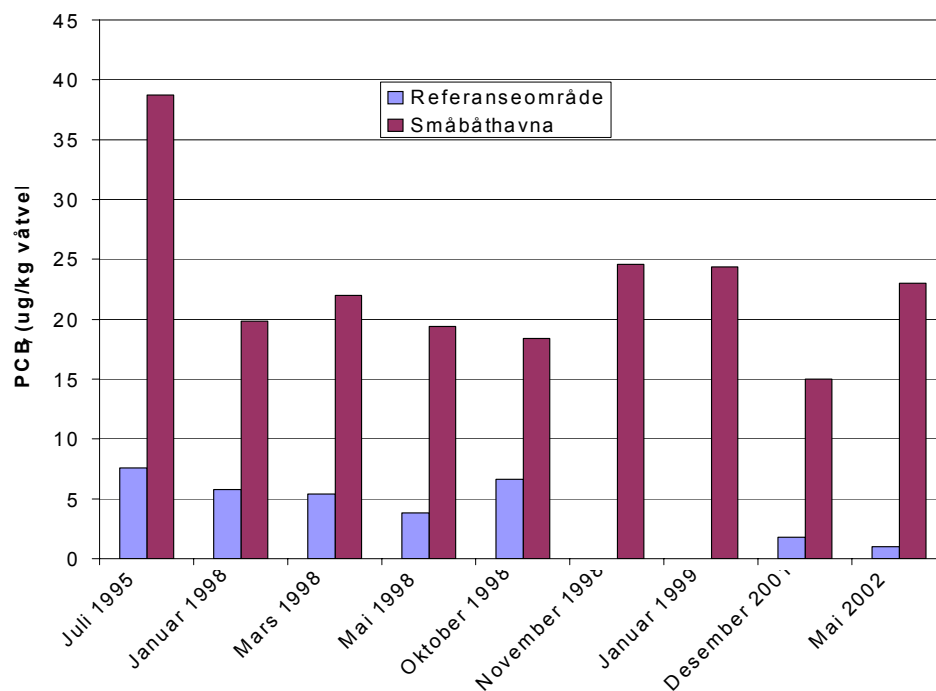
Tiltaket ble gjennomført fra 1998 til 2002 og har bestått i å mudre/støvsuge sjøbunnen for å fjerne det forurensede sedimentet i et område på 320 000 m², og pumpe det direkte til to strandkantdeponier som er etablert inne på marinebasen. Mudringen har dekket områder fra kaiene og helt ned til >50 m dyp, og totalt er volumet av masser ca. 100 000 m³. Man valgte å mudre hele området for å unngå noen form for restriksjoner for ankring av fartøyer i området. Deponiene dekkes til og overvåkes. Under hele prosjektet har det vært utført et stort kontroll- og overvåkingsprogram.

7.3 Resultater og erfaringer

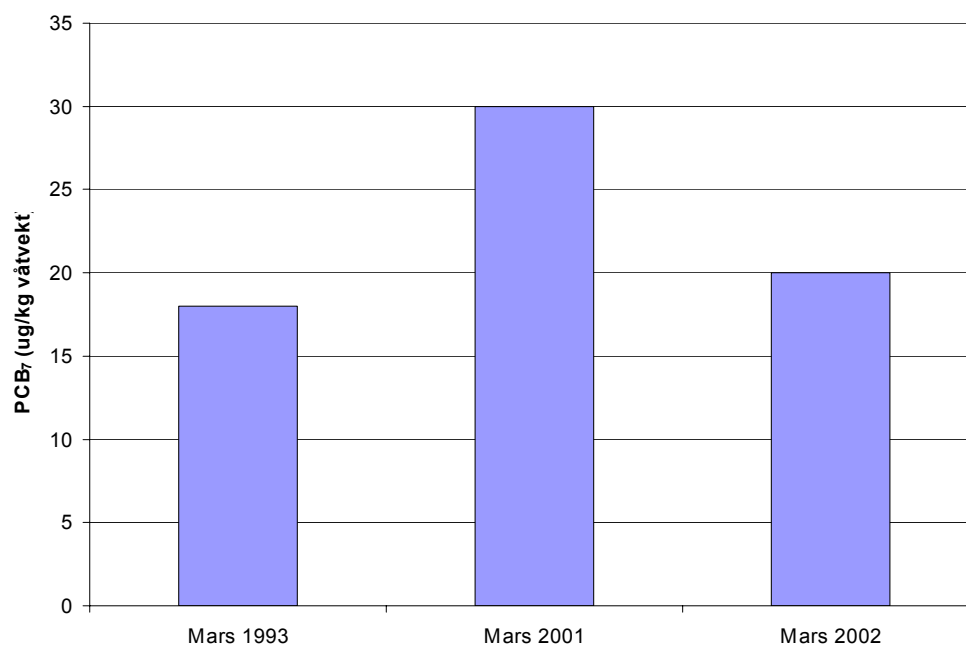
320 000 m² er mudret og ca. 100 000 m³ er deponert i strandkantdeponiene. Effekten av dette tiltaket dokumenteres med følgende metoder:

- I sedimentet
 - Reduksjon av PCB fra mg-konsentrasjon måles med prøvetaking og kjemisk analyse.
- I mudringsområdet:
 - kontroll av spredning ved måling av turbiditet
- Strandkantdeponiene:
 - måling av turbiditet i sjøen
 - kjemisk analyse av vann fra brønner i demning/sjeté

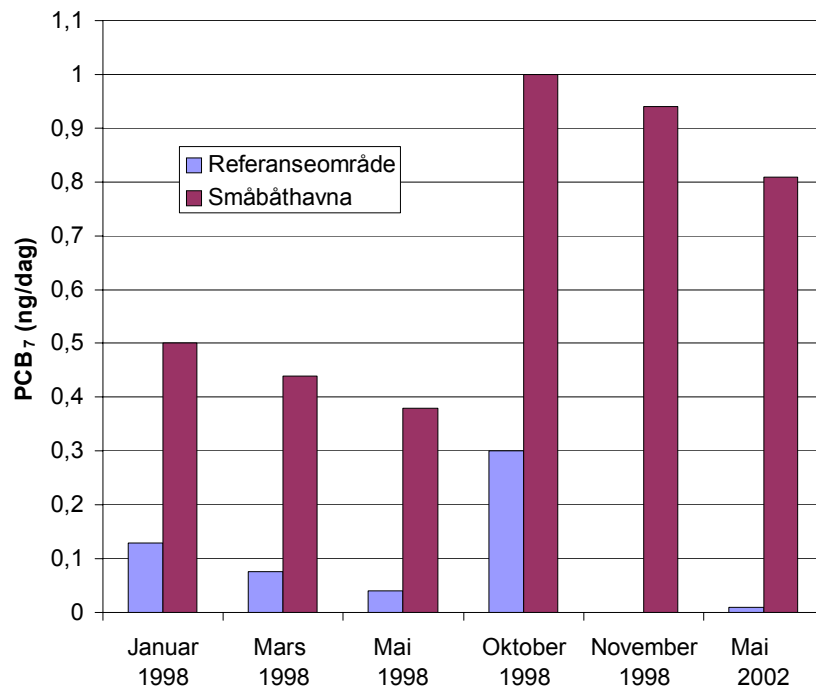
Figur 7-9 viser utdrag av resultater fra overvåking og etterkontroll.



Figur 7 PCB i blåskjell i bur



Figur 8 PCB i viltvoksende blåskjell



Figur 9 PCB i passive prøvetakere (SPMD)

Resultatene tyder på at det har vært en økning i spredning i begynnelsen av tiltaket. Overvåkingen de nærmeste årene vil vise hvordan effekten av tiltaket har vært.

8 OPPSUMMERING AV MILJØMÅL, KOSTNADER OG METODER

Dette kapittelet gir en oppsummering av miljømål, metoder, produksjon og kostnader i de ulike prosjektene. Det er betydelige forskjeller i hvordan kostnader og produksjon (areal og volum som tiltaket omfatter) er presentert, og dette er derfor ikke tatt med i denne rapporten. Kostnader og produksjon er imidlertid sammen med resultater fra overvåking av miljøeffekt et viktig grunnlag for å diskutere kost-nytt av de ulike metodene. Fremstilling av prosjektenes totale kostnader og produksjon på en enhetlig måte bør derfor være en viktig del av den endelige rapporteringen av de ulike prosjektene.

8.1 Miljømål

Tabellen nedenfor beskriver målsetning og eventuelt eksplisitt definerte miljømål for de forskjellige prosjektene.

Tabell 3 Miljømål for de ulike pilotprosjektene

• Tromsø	Redusere eller stoppe • Skade på økosystemet • Fysisk og kjemisk transport til vannmassene • Trofisk transport av miljøgifter til marine næringskjeder
• Trondheim	• Ambisjonsnivå 1: Stoppe spredning • Ambisjonsnivå 2: Kostholdsråd heves innen 10 år • Ambisjonsnivå 3: Ingen økologiske effekter på biota
• Sandefjord	• Bunnsedimentene skal ikke ha konsentrasjoner av miljøgifter over en definert konsentrasjonsgrense etter at tiltakene er gjennomført • Tiltakene skal redusere spredning av miljøgifter fra sedimenter til biota
• Kristiansand (Tildekking i Hanneviksbukta)	• Ikke spredning av miljøgifter under tildekkingsoperasjonen • Geoteknisk stabilitet • Ikke utlekking gjennom tildekkingslag • Konsentrasjoner av miljøgifter i overflatesediment ikke over klasse II • Ikke akkumulering av miljøgifter i nyetablerte byttedyr • Økt diversitet av bunnlevende fauna • Minimal spredning av miljøgifter ved oppankring på fast oppankringssted
• Horten	Forsvarlig deponering av mudrede masser
• Haakonvern	Kostholdsråd på fisk og skalldyr skal på sikt kunne oppheves

8.2 Metoder

De ulike pilotprosjektene har benyttet ulike metoder til vurdering av behovet for tiltak og i selve utførelsen av tiltaket. Dette er oppsummert i tabell 4.

Tabell 4 Metoder benyttet i pilotprosjektene

	Grunnlag for tiltaksplan	Tiltaksmetode(r)	Overvåkingsmetoder
Tromsø	Tidligere kartlegging Biologiske effektstudier som danner grunnlag for risikovurderingen	Ikke avgjort	Ikke avgjort
Trondheim	Tiltaksanalyse basert på kjemiske analyser av sediment, fisk og blåskjell	Mudring, stabilisering og rensing	Turbiditet og sedimentfeller
Sandefjord	Tidligere undersøkelse av opptak i blåskjell og passiv prøvetaker. Tiltaksplan basert på kjemiske analyser av sedimentet.	Mudring og deponering i gruntvannsdeponi	Turbiditet
Kristiansand	Tiltaksanalyse basert på analyser av sediment	Tildekking av forurenset sediment på stedet, strandkantdeponi	Blåskjell, mm
Horten	Utlekkingstester og kjemisk modellering		
Haakonvern	Analyse av PCB i sedimentet	Mudring og deponering i strandkantdeponi	Turbiditet og blåskjell

9 DISKUSJONEN PÅ MØTET I SANDEFJORD

To praktiske problemstillinger ble relativt grundig diskutert på møtet i Sandefjord:

1. Søppel på sjøbunnen og hvilke problemer det skaper for mudring
2. Måling av turbiditet for overvåking under gjennomføring av tiltak

Disse problemstillingene er diskutert nedenfor med utgangspunkt i den diskusjonen som var på møtet.

9.1 Problemer med søppel på sjøbunnen

For de fleste mudringsmetodene er det rapportert at søppel på sjøbunnen skaper problemer. Hovedproblemene knyttet til søppel er:

- Effekten av mudringen reduseres eller at stopper helt opp
- Utstyret fungerer dårlig og gir større spredning av forurenset sediment omkring mudringen
- Slitasje på utstyret

Dette problemet er håndtert i pilotprosjektene ved å gjennomføre kartlegging av synlig søppel på sjøbunnen før mudringen starter med dykker eller miniubåt (ROV). Påvist søppel kan da ryddes opp eller tas hensyn til ved mudringen. Mye søppel ligger imidlertid begravd under sjøbunnen og oppdages derfor ikke ved en slik opprydding.

Det er sannsynlig at søppel vil være et problem ved de fleste mudringsoperasjoner i forurenset sediment, særlig i havneområder. Dette må derfor legges inn som en kostnad og eventuelt vurderes i forhold til miljøhensyn (oppvirvling under oppryddingen).

9.2 Overvåking av tiltak

De fleste tiltak i pilotprosjektene overvåkes med turbiditet og suppleres med målinger av miljøgifter i vann, sediment, blåskjell, SPMD-membraner eller sedimentfeller.

Prinsippet bak overvåking ved måling av turbiditet er at miljøgiftene er knyttet til partikler, og suspenderte partikler er viktigste bidrag til turbiditet i vann.

Fordelen med overvåking med turbiditet er at dette kan gjøres med måleinstrument som gir kontinuerlige sanntidsmålinger. Oppvirvling av partikler pga. arbeidet med tiltaket (f.eks. mudring) kan oppdages, og arbeidene kan korrigeres med en gang.

Et viktig problem med overvåking med turbiditet er at det er vanskelig å vite om høye turbiditetsverdier skyldes oppvirvling av forurensede partikler fra gjennomføringen av tiltaket eller partikler fra andre kilder, som:

- Algeoppblomstring
- Bølgeerosjon
- Oppvirvling pga. båttrafikk som ikke er relatert til tiltaket
- Utslipp av kloakk/overvann i sjøen

Dette problemet håndteres ved tiltak i forurensede sedimenter hovedsakelig på to måter:

1. Det etableres en verdi for bakgrunnsturbiditet ved målinger før tiltaket starter, og det velges en alarmgrense som ligger 2 – 3 × bakgrunnsnivået
2. Det etableres en referansestasjon som ikke er påvirket av arbeidene med tiltaket. Denne måles samtidig som det måles på målestasjoner like ved arbeidet (mudringen). Alarmgrensen settes ofte til 3 × verdien på referansestasjonen.

Det er også viktig å vite noe om strømforholdene og båttrafikk for å kunne plassere målestasjonene riktig og for å kunne bruke turbiditetsmålinger til å korrigere arbeidet.

En annen viktig usikkerhet med turbiditetsmålinger er hvor stor turbiditet som i de forskjellige situasjonene representerer et miljøproblem/uakseptabel spredning av miljøgifter. Dette kan løses ved å måle innhold av miljøgifter i vannet ved høye turbiditetsverdier.

Det ble ikke presentert noen store problemer med å overholde turbiditetskravet i pilotprosjektene.

10 KUNNSKAPSMANGLER

Presentasjonene tyder på at det gjøres mye godt arbeide med å dokumentere pilotprosjektene. Det er likevel noen tema der pilotprosjektene har vist at enda mer kunnskaper er viktig for å kunne ta de riktige beslutningene om hvilke tiltak som er nødvendige og hvilke tiltak som gir best miljøeffekt og best kostnytte.

Den totale effekten av tiltaket på biota er selvfølgelig svært viktig. Det er kostnadskreven, men viktig å samle inn slike data, og det blir derfor viktig for fremtidig opprydding at det finnes retningslinjer for omfang og metoder som skal benyttes i denne overvåkingen. Et enhetlig system for dokumentering av effekten av tiltak vil sikre en bedre evaluering og sammenligning av disse.

Det er gjort en del sammenligninger av PCB-fluks fra ulike kilder, også diffuse, i Haakonsvern-prosjektet. Det vil være nyttig å få gode data for slik miljøgiftspredning også for de andre prosjektene, slik at effekten av tiltakene kan sammenlignes med belastningen fra andre kilder. Overvåkingen etter Haakonsvern-prosjektet viser at det kan være vanskelig å påvise positiv effekt på miljøgiftinnhold i biota ved tiltak i forurensede sedimenter. Dette kan skyldes flere forhold:

- Det tar lang tid før effekten vises i biota
- Andre kilder kan være viktigere enn sedimentet
- Tiltaket kan ha vært mindre effektivt enn ønsket

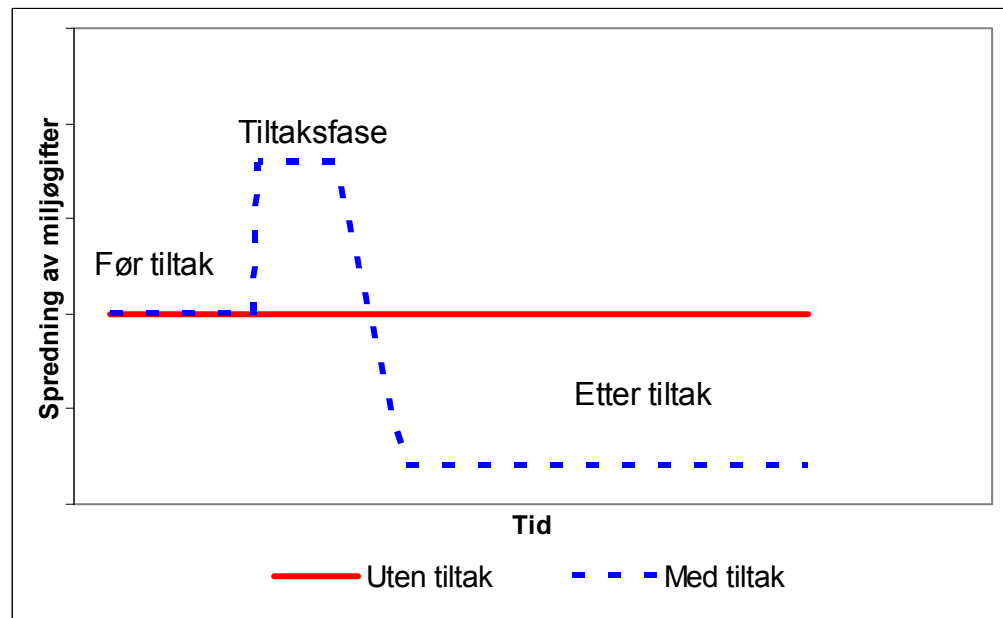
Utlekkingsforsøk som er gjort i prosjektene fra Horten og Trondheim viser at utlekking av metaller og organiske miljøgifter påvirkes i stor grad av kjemiske og fysiske forhold i sedimentet og under tiltaket. Dette temaet finnes det mye informasjon og litteratur om, men kan likevel med fordel studeres nærmere i forhold til de inngrep som et tiltak representerer. Slike inngrep kan endre det fysiske og kjemiske miljøet i et forurenset sediment og dermed mobiliteten til miljøgiftene i sedimentet. Bedre forståelse av disse mekanismene vil være viktig for å kunne lage gode miljøgiftbudsjetter for ulike tiltaksalternativer.

Kost-nytte

Dokumentasjon av effekten vil være en viktig del av en kvantifisering av nytten av de ulike tiltakene. Det er også viktig at kostnadene dokumenteres på en enhetlig måte i alle prosjektene slik at kost-nytte av ulike metoder og prosjekter kan sammenlignes.

Pilotprosjektene viser at det er vanskelig å måle hva som er den direkte effekten av tiltakene på miljøet. Måling av turbiditet sier ikke nødvendigvis noe om effekten på miljøet, og det er vanskelig å korrigere tiltak etter analyse av SPMDer, blåskjell eller sedimentfeller, som må stå ute i uker eller måneder. Denne dokumentasjonen er likevel meget viktig å for kunne bevise at tiltakene

har den nytten man ønsker. Tiltakseffektiviteten er avhengig av forbedringen som oppnås på lang sikt og av spredningen, som ofte øker noe under selve tiltaket. Figur 10 illustrerer dette.



Figur 10 Illustrasjon av spredning av miljøgifter før, under og etter tiltak

- **Før tiltak gjennomføres:**
Stor spredning som motiverer planlegging av tiltak.
- **Under gjennomføring av tiltak:**
Spredning, kan være større enn før tiltaket, men må holdes så lav som mulig.
- **Etter tiltak:**
Sterk reduksjon i spredning av miljøgifter. Resterende spredning må være så lav at eventuell økt spredning under gjennomføringen av tiltaket "tjenes inn" igjen innen rimelig tid.

Tiltakseffektivitet kan uttrykkes som reduksjon i spredning av miljøgifter fra forurensning over et gitt tidsrom:

$$\text{Tiltakseffektivitet} = 1 - \frac{\sum_{t=\text{tiltakstart}}^{t=X \text{ år etter tiltaket}} \text{Spredning av miljøgifter}_{\text{under og etter tiltak}}}{\sum_{t=\text{tiltakstart}}^{t=X \text{ år etter tiltaket}} \text{Spredning av miljøgifter}_{\text{uten tiltak}}}$$

Det kan på denne måten vurderes om et tiltak har en positiv miljøeffekt (tiltakseffektivitet > 0) eller ikke. Ulike tiltak kan også vurderes opp mot hverandre ved å sammenligne tiltakseffektivitet.

For at tiltakseffektiviteten skal bli god, er det nødvendig at spredning under tiltaket kontrolleres. Denne spredningen kan skje på mange måter, og mye spredning kan skje på kort tid og er derfor vanskelig å måle:

- Mudring
- Lasting/lossing
- Transport
- Erosjon fra ujevne mudrede overflater
- Manøvrering av båter i forbindelse med arbeidet med tiltaket

Det er derfor behov for bedre metoder for overvåking av gjennomføring av tiltak. Det er sannsynlig at bedre kunnskap om spredning under tiltak kan vise hvilke metoder som egner seg best ved arbeid i forurensede sedimenter.

Skal overvåking med turbiditet kunne si noe om spredning og miljøeffekt under tiltaket, er det viktig at det også gjøres kjemiske analyser parallelt med måling av turbiditet.

Disse problemstillingene bør vies oppmerksomhet i det videre arbeidet med pilotprosjektene og eventuelt i separate utredninger.

11 REFERANSER

NIVA (1998a)

Miljøovervåking i Sandefjordsfjorden og indre Mefjorden 1997-1998

Delrapport 4. Kartlegging av kilder til miljøgifter. ISBN 82-577-3526-4. 37s.

NIVA (1998b)

Miljøovervåking i Sandefjordsfjorden og indre Mefjorden 1997-1998

Delrapport 2. miljøgi. ISBN 82-577-3526-4. 37s.

DNV (2003)

Pilotprosjektet i Trondheim havn. Tiltaksanalyse for opprydding i forurensede sedimenter i Trondheim havn og omgivelser. Delrapport til årsrapport nr 2003-01 for 2002. Rapport nr. 2003-012. Rev.: 01. Dato: 31.01.03

Veritas (2001)

Tiltaksanalyse for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Rapport nr. 2001-0807, 102 s + vedlegg.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Oppdragsgiver/Client Statens forurensningstilsyn		Dokument nr/Document No. 20031335-1
Kontraksreferanse/ Contract reference Brev 13 mai 2003		Dato/Date 27 oktober 2003
Dokumenttittel/Document title Pilotprosjekter om forurensede havnesedimenter Erfaringer fra pilotprosjektene, fellesmøte i Sandefjord 14 - 15 mai 2003 Prosjektleder/Project Manager Espen Eek Utarbeidet av/Prepared by Espen Eek		Distribusjon/Distribution ☐ Fri/Unlimited ☒ Begrenset/Limited ☐ Ingen/None
Emneord/Keywords Environmental geotechnology, sea bed, dredging		
Land, fylke/Country, County Norge Kommune/Municipality Sted/Location Kartblad/Map UTM-koordinater/UTM-coordinates Ikke sted bundet		Havområde/Offshore area Feltnavn/Field name Sted/Location Felt, blokknr./Field, Block No.

Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001								
Kon- trollert av/ Reviewed by	Kontrolltype/ Type of review		Dokument/Document		Revisjon 1/Revision 1		Revisjon 2/Revision 2	
			Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed	
			Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.
GBr	Helhetsvurdering/ General Evaluation *							
WUT	Språk/Style							
GBr	Teknisk/Technical - Skjønn/Intelligence - Total/Extensive - Tverrfaglig/ Interdisciplinary							
WUT	Utforming/Layout							
EE	Slutt/Final							
JGS	Kopiering/Copy quality							
* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/ On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation								
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release			Dato/Date			Sign.		