

# Rapport

Oppdrag: **Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden**

Emne: **Opprydding, miljøgifter i sedimenter**

Rapport: **Sluttrapport for gjennomførte prosjekter**

Oppdragsgiver: **Fylkesmannen i Vest-Agder**

Dato: **29. november 2007**

Oppdrag- /  
Rapportnr. **311089 – 2007/1**

Tilgjengelighet **Åpen**

Utarbeidet av: **Jon Egil Vinje** Fag/Fagområde: **Miljø og utredning**

Kontrollert av: **Øyvind Sivertsen** Ansvarlig enhet:

Godkjent av: **Jon Egil Vinje** Emneord:

## Sammendrag:

Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden er gjennomført i perioden 2002-2006, og omfatter en rekke delprosjekter.

- I Hannevika er det gjennomført en tildekking av over 330 daa sterkt forurenset sediment, i tillegg er det gjennomført tildekking av sterkt forurenset sediment ved kaianlegg tilhørende Falconbridge nikkelverk. Før tiltak var området ved Hannevika ett av landets mest forurensete sjøområder.

- Det er etablert strandkantdeponi for mottak av forurenset sediment i Kongsgårdbukta. Deponiet har et volum på 70.000 m<sup>3</sup>. I Kongsgårdbukta er det også gjennomført omfattende miljøsikring av et gammelt avfallsdeponi, hvor opprydding var blant de høyest prioriterte nasjonale prosjektene mht grunnforurensning.

- Ved Bredalsholmen veteranskipsverft er det gjennomført oppryddingstiltak på land, og tiltak i sedimentene startes ved kommende årsskifte.

- Det er gjennomført oppryddingstiltak i sedimentene i 3 småbåthavner.

- I Torsvika og Marvika er det gjennomført oppryddingstiltak på land, for å stanse tilførsler til sjøområdet utenfor. Det skal her også ryddes opp i sedimentene, arbeidet er forsinket men planlegges nå startet ved årsskiftet 2007-08.

- Pilotprosjektet avdekket store PAH-utslipp fra Elkem, og det er her gjennomført store utslippsreduksjoner.

Det er gjennom prosjektet utprøvd en rekke tekniske løsninger, og innhentet erfaring både på "godt og vondt", som bør benyttes ved oppryddingsprosjekter i andre deler av landet. Av metodene som er utprøvd, nevnes her tildekking med sand, tildekking med duk og pukk, tildekking med betongmadrasser, og sugemudring med levering til deponi. I tillegg til de rent tekniske erfaringene, viser arbeidet at økt fokus på sedimenter også har gitt økt fokus på tilførsler fra land. Det er samlet investert ca 140 mill. kroner i miljøtiltak.

Det er gjennom arbeidet oppnådd mange gode resultater mht lokale miljøeffekter. I tillegg viser en avsluttende undersøkelse av miljøgifter forbedringer også i fjordsystemet som sådan. Forbedringene er imidlertid ikke så store at det forventes opphevelse av kostholdsradene som gjelder i fjorden.

|             |             |              |                  |                 |                 |                 |
|-------------|-------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             |             |              |                  |                 |                 |                 |
|             |             |              |                  |                 |                 |                 |
|             |             |              |                  |                 |                 |                 |
| <b>Utg.</b> | <b>Dato</b> | <b>Tekst</b> | <b>Ant.sider</b> | <b>Utarb.av</b> | <b>Kontr.av</b> | <b>Godkj.av</b> |

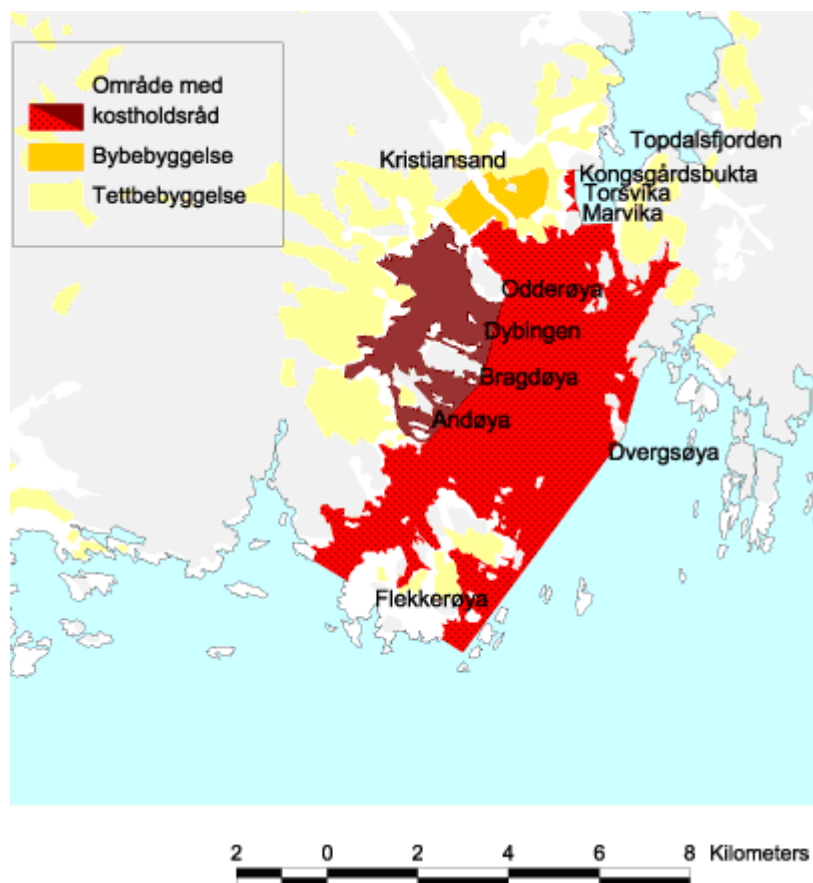
## Innholdsfortegnelse

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Bakgrunn og målsetting .....                                      | 3  |
| 1.1 | Bakgrunn .....                                                    | 3  |
| 1.2 | Mål .....                                                         | 5  |
| 2   | Organisering.....                                                 | 6  |
| 3   | Metoder for sedimenttiltak brukt i Kristiansand .....             | 7  |
| 3.1 | Tildekking av sediment med armert fiberduk og pukkestein .....    | 7  |
| 3.2 | Tildekking av sediment med betongmadrasser .....                  | 8  |
| 3.3 | Lagvis tildekking av sediment med sand .....                      | 9  |
| 3.4 | Sugemudring .....                                                 | 11 |
| 3.5 | Grabbmudring .....                                                | 13 |
| 3.6 | Kombinasjonsløsninger, mudring og tildekking ("flip-flop") .....  | 14 |
| 4   | Mottaksanlegg for sedimenter - strandkantdeponi .....             | 15 |
| 5   | Oppryddingstiltak på land .....                                   | 20 |
| 6   | Beskrivelse av delprosjektene .....                               | 21 |
| 6.1 | Tiltak ved industrikanaler –Xstrata Falconbridge nikkelverk ..... | 21 |
| 6.2 | Hannevika .....                                                   | 25 |
| 6.3 | Tiltak ved Bredalsholmen veteranskipsverft .....                  | 33 |
| 6.4 | Tiltak i Kongsgårdbukta .....                                     | 36 |
| 6.5 | Tiltak i Torsvika og Marvika .....                                | 39 |
| 6.6 | Opprydding i småbåthavner .....                                   | 43 |
| 6.7 | Tiltak ved Elkem Fiskå .....                                      | 50 |
| 6.8 | Andre gjennomførte tiltak .....                                   | 53 |
| 7   | Erfaringer med overvåking og etterkontroll .....                  | 55 |
| 7.1 | Overvåking av tiltak under arbeid .....                           | 55 |
| 7.2 | Etterkontroll av tiltak .....                                     | 56 |
| 8   | Erfaring med ulike sedimentoppryddingsmetoder, anbefalinger ..... | 62 |
| 8.1 | Tildekking av sediment med armert fiberduk og pukkestein .....    | 62 |
| 8.2 | Tildekking av sediment med betongmadrasser .....                  | 62 |
| 8.3 | Lagvis tildekking av sediment med sand .....                      | 62 |
| 8.4 | Sugemudring .....                                                 | 63 |
| 8.5 | Grabbmudring .....                                                | 64 |
| 8.6 | Kombinasjonsløsninger, mudring og tildekking ("flip-flop") .....  | 65 |
| 8.7 | Strandkantdeponi .....                                            | 65 |
| 9   | Sammenfatning, miljøeffekter og økonomi .....                     | 66 |
| 9.1 | Erfaring og miljøeffekter .....                                   | 66 |
| 9.2 | Kostnader og finansiering .....                                   | 69 |
| 10  | Referanser .....                                                  | 70 |

## 1 Bakgrunn og målsetting

### 1.1 Bakgrunn

Det har lenge vært en alvorlig situasjon med forurensning av miljøgifter (dioksin, HCB, PAH mfl) i Kristiansandsfjorden, og det har vært kostholdsråd og omsetningsforbud for fisk siden 1980-tallet. Kostholdsrådene omfatter store deler av fjordsystemet, og er vist på kart under.



Figur 1.1. Oversikt over områder med kostholdsråd. Kilde: mattilsynet.

Sterkt reduserte industriutslipp på 1980- og 90-tallet resulterte ikke i like store forbedringer mht miljøgifter i fisk og skalldyr. Sedimentene ble trukket fram som en mulig årsak til dette. Fra tidlig på 90-tallet har det derfor vært arbeidet med ulike planer for miljøsikring av forurenset sediment.

Den sterkeste forurensningen var påvist i Fiskåbukta, Hannevika og Vestre havn i indre del av fjorden, og i hele dette området var det innført omsetningsforbud for fisk. De klart dominerende forurensningskildene var Xstrata Falconbridge nikkelverk og Elkem Fiskå/Elkem Carbon. Hele

fjordområdet var imidlertid sterkt forurensset av miljøgifter, og på slutten av 90-tallet ble det et økende fokus også på "hot-spots" og forurensningskilder utenfor det indre fjordområdet.

I forbindelse med planlegging og utbygging av ny E18 gjennom byen ble det klart at det ville bli et betydelig masseoverskudd i forbindelse med bygging av en løsmassetunnel (angitt på figur 1.2.), og det ble i 2000 bestemt å bruke disse til en enkel "miljøtildekking" av sjøbunnen i Hannevika.

For å få en helhetlig tilnærming til problemstillingene i Kristiansandsfjorden ble det i 2000 utnevnt en arbeidsgruppe med representanter for de viktigste aktørene og forurensningskildene. I denne forbindelse ble det også vedtatt å utarbeide en tiltaksplan for opprydding i hele fjordområdet. Denne ble fremlagt av Det norske Veritas i 2001, og har vært hovedgrunnlaget for de tiltakene som er gjennomført.

Parallelt med arbeidet i Kristiansand pågikk det også vurderinger nasjonalt om hvordan oppryddingsarbeid i forurensede sedimenter skulle foretas. Fra 2001 inngikk derfor Kristiansandsfjorden som ett av fem nasjonale pilotprosjekter, hvor det skulle innhentes erfaring med ulike metoder for opprydding.



Figur1.2. Oversikt over tiltaksområder i pilotprosjektet.

## **1.2 Mål**

Tiltaksplanen for Kristiansandsfjorden (DNV 2001) drøfter følgende ambisjonsnivåer:

1. Ingen tiltak
2. Stanse spredning av miljøgifter fra de mest forurensede arealene
3. Oppheve kostholdsråd innen 10 år etter at tiltak er gjennomført
4. Ingen økologiske effekter

Bystyret i Kristiansand behandlet denne planen i 2002, og vedtok da ambisjonsnivå 2. Det foreligger ikke andre overordnede mål for arbeidet i Kristiansandsfjorden, mens det for enkelte delprosjekter i tillegg er arbeidet ut fra et sett suksesskriterier.

## 2 Organisering

Pilotprosjektet i Kristiansand er ett av flere pilotprosjekter som har vært delfinansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT) som en oppfølging av Stortingsmelding nr 12 (2001-2002) "Rent og rikt hav". Prosjektet bygger på det samarbeidet mellom kommunen, industrien og Fylkesmannen som allerede var etablert i Kristiansand fra sommeren 2000 knyttet til utarbeidningen av en samlet tiltaksplan for oppryddingen i forurensede sedimenter i fjorden. Prosjektet skiller seg fra de øvrige pilotprosjektene ved at det omfatter flere større og relativt uavhengige delprosjekter. Det overordnede målet er å samle erfaringer med å følge opp en samlet tiltaksplan og sikre opprydding i en hel fjord.

Arbeidet i Kristiansandsfjorden har inngått som et nasjonalt pilotprosjekt i perioden 2003-2006.

Prosjektet har vært organisert med en koordineringsgruppe hvor de ansvarlige for alle delprosjektene er representert, og hvor Fylkesmannens miljøvernavdeling har hatt oppgaven som leder og sekretariat. De samme etater/virksomheter har deltatt i koordineringsgruppa i hele perioden, mens det har vært utskiftning av de personer som har deltatt. Ved utløpet av prosjektperioden 31.12.2006 hadde gruppen følgende medlemmer:

| <b>Etat/virksomhet</b>           | <b>Medlem(mer)</b>                       |
|----------------------------------|------------------------------------------|
| Forsvarsbygg/Skifte eiendom      | Egil Danielsen                           |
| Xstrata, Falconbridge nikkelverk | Harald Eik                               |
| Elkem                            | Johannes Tofte, Erle Grieg Astrup        |
| Kristiansand Havn                | Svein Inge Larsen                        |
| Kristiansand kommune             | Øystein Holvik, Bjørg Kari Haugland      |
| Fylkesmannen i Vest-Agder        | Solvår Reiten (prosjektleder fra 1.4.06) |

Multiconsult v/Jon Egil Vinje har fra april 2006 vært innleid som sekretær og for bistand med prosjektledelse.

Koordineringsgruppen hovedoppgave har vært å sørge for at mulige stordriftsfordeler gjennom samarbeid om for eksempel prøvetaking har blitt utnyttet, og annen koordinering av de ulike prosjektene og arbeidene. Fylkesmannen og gruppa har også hatt et ansvar for framdrift, samt vurdering av aktuelle nye tiltak og avgrensning/overlapp av tiltak.

Ansvarsdelingen er avtalt slik at delprosjektene er ansvarlig for alt som bare angår det enkelte prosjekt, inkludert overvåking og rapportering, informasjon og pressekontakt. Fylkesmannen er ansvarlig for fellesaktiviteter som går på tvers av delprosjektene. Dette omfatter etablering av hjemmeside på internett, overvåking i fjorden rettet mot effekten av alle tiltakene på kostholdsråd mm., samordning og koordinering av faglig rapportering, og felles informasjon om pilotprosjektet.

### 3 Metoder for sedimenttiltak brukt i Kristiansand

Oversikt over referanser er gitt i kapittel 10. De viktigste referansene knyttet til beskrivelse av metoder finnes i ref 6, 7, 9, 11, 18, 19, 38, 39, 40, 42 og 43.

#### 3.1 Tildekking av sediment med armert fiberduk og pukkstein

##### 3.1.1 Beskrivelse

Tildekking er gjennomført ved bruk av geotekstilduk med et armeringsnett i plast overdekket med et min. 30 cm lag pukkstein fraksjon 20 - 200 mm.

Duken ble levert i rull, og sydd sammen på land før den gradvis ble "fløtet" ut på fjordoverflaten. Grove armeringsjern ble sydd inn i ytterkant av duken som synkeelement.



Figur 3.1. Bilder fra utlegging av armert fiberduk

Etter at duken var ferdig sydd og lagt i posisjon, ble den senket ned til bunnen og dekket med pukkstein. Pukkstein ble dels fylt over fra kai, og dels fra lekter.

Metoden er benyttet ved industrikai, hvor det var behov for tiltak som kunne motstå propellstrømmer på opptil 0,5 m/s. Vandypet ved kaia var 11-15 meter og bunnen relativt flat. Nivå på propellstrømmer var verifisert med målinger før tiltak ble gjennomført.

##### 3.1.2 Kostnader

Armert fiberduk og pukkstein ble benyttet ved et kaiområde med behov for en viss erosjonssikring. Tiltaket ble gjennomført i 2003, og arealet som ble dekket til utgjorde ca 7500 m<sup>2</sup>. De totale kostnadene kom på ca. kr. 1.500.000. Dette gir en enhetspris på ca kr 200/ m<sup>2</sup>. Oppjustert til 2007-priser vurderes enhetsprisen for tiltaket til kr 400 pr m<sup>2</sup>. I tillegg må det regnes kostnader til for- og etterundersøkelser, planlegging, anbud, søknader m.m., slik at for tiltak i den aktuelle størrelsesorden bør det regnes en dobling av den oppgitte enhetsprisen.

## 3.2 Tildekking av sediment med betongmadrasser

### 3.2.1 Beskrivelse

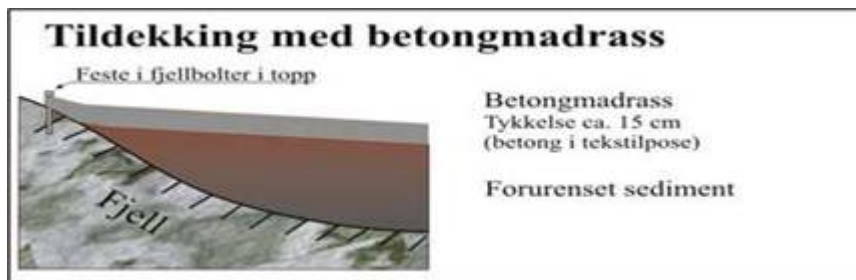
Det er prøvd ut to ulike varianter av tildekking med betongmadrass. I begge tilfeller er betong pumpet ut i tekstilpose.

#### ”Fast betongmadrass”

I det ene tilfellet ble det benyttet en 14 cm tykk betongmadrass av med vekt  $220 \text{ kg/m}^2$ , av type ”Foreshore Protection FP 240”. Betongmadrassen ble levert i ett stykke med mål på 30x90 m. Vedheftet betongmadrassen i underkant ble det festet en filterduk type SI 70, med poreåpning mindre enn 0,15 mm for 95 % av duken.

Madrass ble plassert ut på skrånende bunn fra 15 til 27 m dyp og forankret i toppen til fjellbolter med wire mellom. Karabinkroker festet i overkant av madrassen ble så festet til wiren. Dette ga en viss fleksibilitet og mulighet for å justere madrassen under fylling med betong. I tillegg er det lagt ut store steinblokker i det dypeste hjørnet. Prinsipp for løsning er vist i følgende skisse:

Den beskrevne varianten av betongmadrass ble benyttet ved kai med høye strømhastigheter pga reversering av hovedpropell. Dimensjonerende strømhastighet ble satt til 6 m/s.



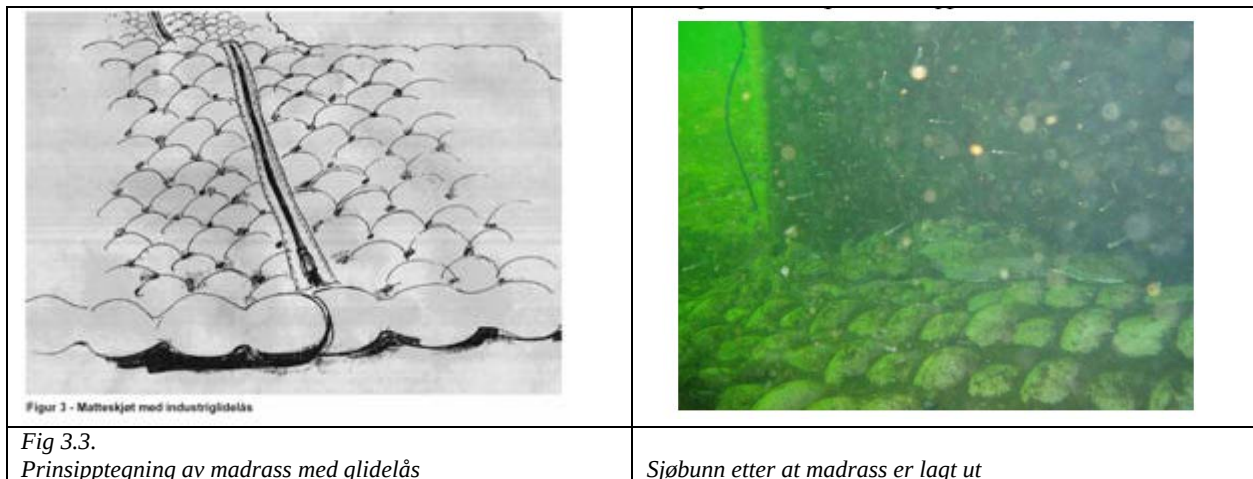
Figur 3.1. Prinsipp for betongmadrass

#### ”Fleksibel betongmadrass”

Det ble også benyttet en variant av betongmadrass med mindre duker/matter som ble festet sammen med industriglidelås. Hver matte hadde et mål på 22,0 x 3,8 meter. Denne varianten var enklere å tilpasse konstruksjoner på bunnen, som f.eks. søyler og pilarer til kaier.

Det ble benyttet duk med distansetråder for å oppnå diffusjonstett overflate, og en vekt med betong på  $300 \text{ kg/m}^2$ . Mattene ble festet i bakkant med bolter i fjell.

Denne varianten av betongmadrass ble benyttet ved et kaiområde med flere søyler som madrassen skulle slutte tett inntil. Mattene ble derfor sydd etter mål fra inspeksjonsdykk, med utsparinger og strammebånd for søyler i duken. Der det var behov ble ekstra søylekraver benyttet rundt søyler, som en ekstra sikkerhet ved en eventuell ufullstendig søylesikring.



### 3.2.2 Kostnader

Fast betongmadrass ble benyttet på et areal på 90 x 30 meter (2.700 m<sup>2</sup>), og kostnadene var i 2003 kr.1.100.000. Dette gir en enhetspris på ca 400 kr/ m<sup>2</sup>

Fleksibel betongmadrass ble benyttet på et areal over 60 x 22 meter (1.320 m<sup>2</sup>), og kostnadene var i 2004 ca 800.000 kroner. Dette gir en enhetspris på ca 600 kr/ m<sup>2</sup>

Oppjustert til 2007-priser vurderes enhetsprisen for tiltaket til kr 600-800 pr m2. I tillegg må det regnes kostnader til for- og etterundersøkelser, planlegging, anbud, søknader m.m., slik at for tiltak i den aktuelle størrelsesorden bør det regnes en dobling av den oppgitte enhetsprisen.

## 3.3 Lagvis tildekking av sediment med sand

### 3.3.1 Beskrivelse

Tildekking av bunnsediment er utført med løsmasse fra fallbunnslekter trukket av slepebåt med differensiert GPS som navigasjonsutstyr. Lukene på lekteren ble åpnet forsiktig med slepefart 2 – 3 knop..

Plan for tildekking forutsatte at det ble lagt ut minimum 25 cm over hele tiltaksområdet.

Tildekking ble foretatt etter en spredningsplan hvor området var inndelt i et rutenett, og lagene ble lagt ut parallelt fra dypere til grunnere vann. For å oppnå en jevnest mulig tildekking, ble de ulike lagene lagt med spredningsretning vinkelrett på hverandre. Langs land ble dette tilpasset etter hvordan det var mulig å manøvrere slepebåt og lekter.

Ved bruk av beskrevet metode for utlegging av sand, bør det regnes med å legge ut ca 50 % mer masse enn teoretisk nødvendig.

Metoden er benyttet for tildekking av forurensede bunnsedimenter i et område uten spesiell påvirkning av vannstrømmer, bølger eller skipstrafikk. Det var imidlertid svært ustabile grunnforhold i området, og en lagvis tildekking i tynne lag med påfølgende konsolideringsperiode var derfor svært fordelaktig.

Kontroll av tildekkingslaget var planlagt gjennomført ved for- og etterundersøkelser med dykker og sedimentanalyser. I tillegg ble det satt ut et betydelig antall målestaver for visuell kontroll. På grunn av usikkerhet mht tildekkingsgrad etter avsluttet hovedprosjekt, ble etterkontroll supplert med flere andre metoder, bl.a. multistrålesonar, kjerneprøver og vertikalfotos av tildekkingslaget.

### **3.3.2 Kostnader**

Tildekking med sand ble gjennomført på et sterkt forurensset sjøbunnsområde med vanddyp varierende mellom 10 og 30 meter. Arealet som ble dekket til var på 330.000 m<sup>2</sup>, og volumet av utkjørt løsmasse var 181.000 m<sup>3</sup>. Hovedprosjektet ble gjennomført i 2002-2003, og teknisk sluttrapport oppgir en samlet kostnad på kr. 2.500.000.

Enhetsprisene etter dette blir kr 14 pr utkjørt m<sup>3</sup>, og kr. 8 pr m<sup>2</sup> sjøbunn tildekket.

I erfaringsnotat som Fylkesmannen la frem for "Sedimentrådet" i januar 2005 er det innarbeidet noen ekstra kostnader, og enhetspris oppgitt til kr 15 pr m<sup>2</sup>.

Det må understrekes at det i dette prosjektet ble benyttet overskuddsmasser som ble levert fritt tilkjørt kai. Massene var også av noe variabel kvalitet. Det ble benyttet et lokalt entreprenørfirma med utstyr som var tilpasset oppgaven.

Med de særlige forhold som var knyttet til leveranse av masser i dette prosjektet, må det for andre prosjekter trolig regnes en vesentlig økning av enhetsprisene foran. Oppjustert til 2007-priser anbefales det å regne med enhetspris på kr 100 pr m<sup>2</sup>. I tillegg må det regnes kostnader til for- og etterundersøkelser, planlegging, anbud, søknader m.m., slik at for tiltak i den aktuelle størrelsesorden bør det regnes en dobling av den oppgitte enhetsprisen.

## **3.4 Sugemudring**

Sugemudring har i pilotprosjektet vært benyttet på 3 områder i delprosjekt småbåthavner. I tillegg har det vært benyttet ved mudring i havneområdet (ferjeterminal), i Gravane (utbygging av konserthus) og i Narviga. Her beskrives kun arbeidet som er utført i småbåthavnene.

### **3.4.1 Beskrivelse**

For å redusere oppvirkning og spredning av miljøgifter ut av tiltaksområdet var det ved mudring av småbåthavnene forutsatt bruk av sugemudring

I Auglandsbukta utgjorde mudringsområdet ca 45.000 m<sup>2</sup>, ca 20.000 m<sup>3</sup> var planlagt mudret. Som grense mellom ikkemudret og mudret område (ytterst på tvers i havnen), skulle det etableres en voll.

I Christianholm var mudringsområdet ca 28.000 m<sup>2</sup> og det skulle mudres ca 20.000 m<sup>3</sup>. I Justvik var mudringsområdet ca 3500 m<sup>2</sup>, og det var planlagt mudret 4.500 m<sup>3</sup>.

For å fjerne de forurensede overflatesedimentene var det vurdert at det måtte mudres minimum 25-30 cm i Auglandsbukta og mer enn 60 cm i Christianholm. I Justvik var det kun planlagt vedlikeholdsmudring.

Mudringen måtte tilpasses drift av småbåthavnene, og bryggeanlegg etc måtte fjernes og legges tilbake etter avsluttet arbeid.



Figur 3.6. eksempel på bruk av mudringsutstyr i småbåthavnene

### 3.4.2 Kostnader

Mudring av småbåthavnene ble sterkt forsinket, dels p.g.a. is, og dels p.g.a. mye skrot på bunnen. I tillegg var massene til dels av en annen kvalitet enn forutsatt.

På bakgrunn av ovennevnte ble samlede kostnader for mudring av alle havnene til dels betydelig høyere enn planlagt. De samlede kostnader utgjorde 15,4 mill kr eks mva, 19,2 mill inkl mva. Kostnadsfordeling fremgår av etterflg tabell.

|                                                                                                                             | Kostnad (mill) | Ca kr pr m3 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|
| Mudrekostnader, transport av masser                                                                                         | 7,19           | 160         |
| Levering av mudremasser i strandkantdeponi (deponiavgift)                                                                   | 1,70           | 37,50       |
| Opprydding av "skrot" på sjøbunn, transport og levering av "skrotmasser" til deponi                                         | 3,68           |             |
| Omlegging av brygger, ledning, o.a. infrastruktur                                                                           | 0,50           |             |
| Forundersøkelser, forberedende arbeider, rigg og drift, kontroll under mudring (turb.målinger, sedimentfeller, prøvetaking) | 1,18           |             |
| Øvrige (uavklarte) kostnader (byggeledelse, rådgivning, etterkontroll,)                                                     | 1,14           |             |
| SUM                                                                                                                         | 15,39          | 340         |

Tab. 3.1. Kostnadsfordeling ved mudring av tre småbåthavner i Kristiansand

### 3.5 Grabbmudring

#### 3.5.1 Beskrivelse

Grabbmudring er i pilotprosjektet kun valgt på et lite område ved industrikai hvor det var behov for større seilingsdyp. Området ble etter mudring dekket til med sand, se kap 3.6.

Det ble valgt en metode med flytting av sedimentene fra grunnere til større dyp med en lukket grabb. Det ble her brukt en lukket kassegrabb (sandgrabb) med volum  $3,0 \text{ m}^3$ . Grabben var påmontert en dybdeavleser, slik at gravingen kunne utføres kontrollert.



Fig 3.7. foto fra grabbmudring ved industrikai. Kilde: Agder Marine

Rundt hele graveområdet ble det spent opp et siltgardin fra bunn til overflate. Dette skulle hindre spredning av sedimenter under graving. Totalt volum mudret masse var på  $3000 \text{ m}^3$ .

Vanndyp på deler av området var ca 9,0 meter, mens kravet til seilingsdyp var 10,5 m. Det ble derfor mudret til 11,0 meter på de arealene der krav til seilingsdyp ikke var innfridd.

#### 3.5.2 Kostnader

Oppjustert til 2007-priser vurderes enhetsprisen for grabbmudring bak siltgardin til kr 300-400 pr  $\text{m}^3$ . I tillegg må det regnes kostnader til for- og etterundersøkelser, planlegging, anbud, søknader m.m., slik at for tiltak i den aktuelle størrelsesorden bør det regnes en dobling av den oppgitte enhetsprisen.

### **3.6 Kombinasjonsløsninger, mudring og tildekking ("flip-flop")**

Metoden ble valgt for et kaiområde med behov for økt seilingsdyp, og begrenset påvirkning av propellstrøm. Vanddyp på deler av området var ca 9,0 meter, mens kravet til seilingsdyp var 10,5 m. Det ble derfor mudret til 11,0 meter på de arealene der krav til seilingsdyp ikke var innfridd.

Etter mudring ble deler av arealet dekket med fiberduk og pukk, mens andre deler ble tildekket med et 30 cm tykt lag med sand.

#### **3.6.1 Kostnader**

Etter mudring ble området tildekket etter metodene angitt i kap 3.1. og 3.3., det vises derfor til enhetskostnader oppgitt for disse.

## 4 Mottaksanlegg for sedimenter - strandkantdeponi

### 4.1.1 Beliggenhet og naboforhold

Strandkantdeponiet i Kristiansand er bygget opp ved å etablere en demning på tvers over en bukt i den ytre delen av Topdalsfjorden. Vanddypet der demning er etablert var 15-20 meter. Landarealene i bakkant av strandkantdeponiet besto for det meste av gamle industritomter, og det er flere eldre avfallsdeponier og store områder med forurenset grunn. Det var derfor også forutsatt at strandkantdeponiet skulle fungere som et sikringstiltak for å stanse/begrense utlekking fra disse forurensede områdene. Ett av disse deponiene var Kongsgårdbukta avfallsdeponi, som var høyt prioritert i nasjonale planer for opprydding i forurenset grunn ("A-liste").

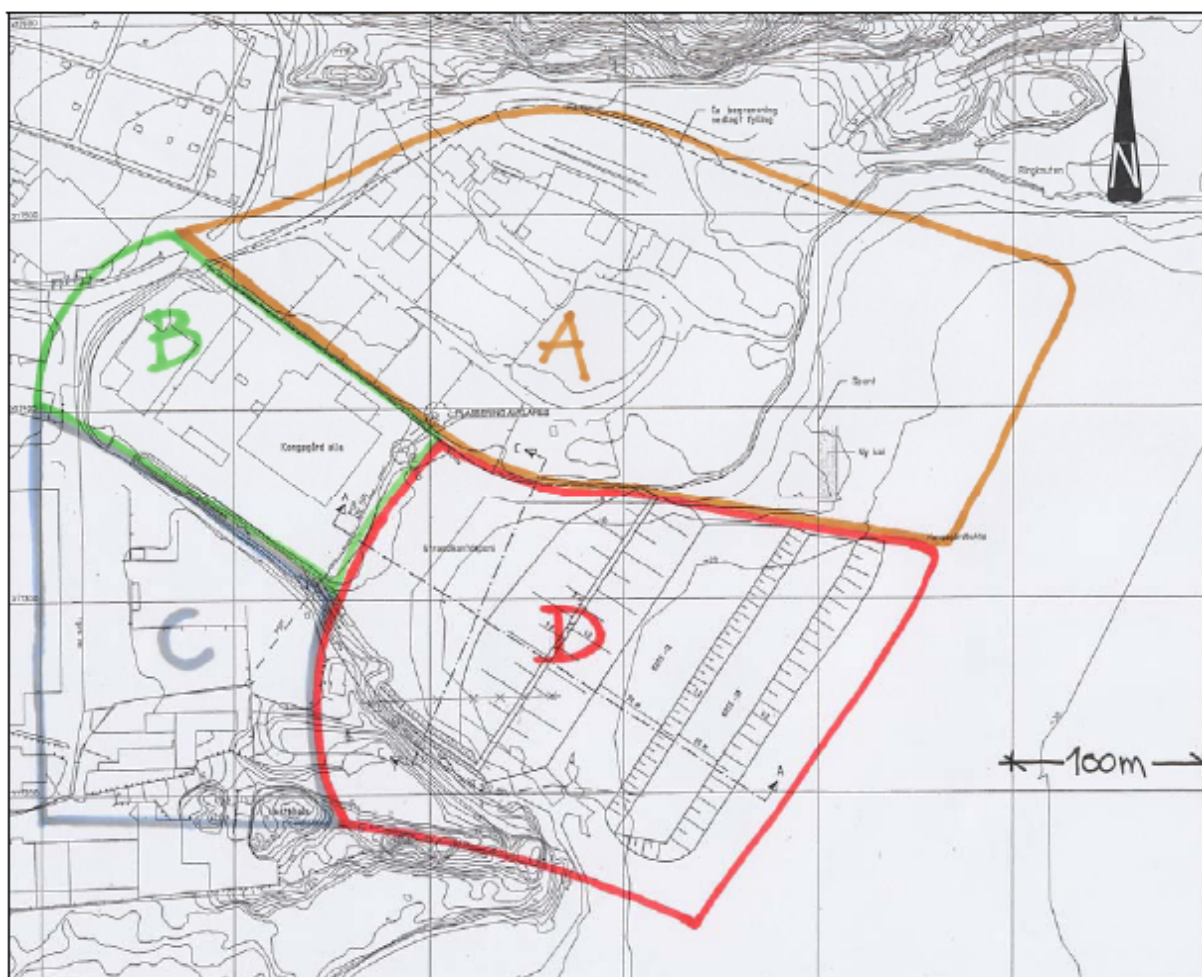


Fig 4.1., kart som viser delområder i Kongsgårdbukta

På kart over vises de ulike delområdene i Kongsgårdbukta.

- Område A: Kongsgårdbukta avfallsdeponi
- Område B og C: Områder med forurenset grunn og mindre deponier
- Område D: Areal avsatt for strandkantdeponi

Hoveddelen av arealene på kartet er regulert til havneområde.

#### 4.1.2 Teknisk beskrivelse

Demning er bygd opp av sprengstein, som er dumpet i sjøen ved hjelp av lekter. Dumpearbeidene er utført i flere faser hvor hver fase ble loddet opp og dokumentert før neste fase kunne startes. Hele oppfyllingen ble overvåket ved hjelp av poretrykksmålere satt ut før prosjektet startet. Deponiet har et volum på ca. 70.000 m<sup>3</sup>.

Topp damskråning over kote minus 2,5 er dekket med et lag molostein. Tykkelse på erosjonsvernet er 0,8m. Dette er lagt ut med gravemaskin og med stor grad av nøyaktighet med hensyn på å legge steinene tett slik at de "griper" inn i hverandre.

I bunnen av deponiet er det lagt ut en sandpute, og mot sjøen og Prestebekken er det bygd opp filtre.

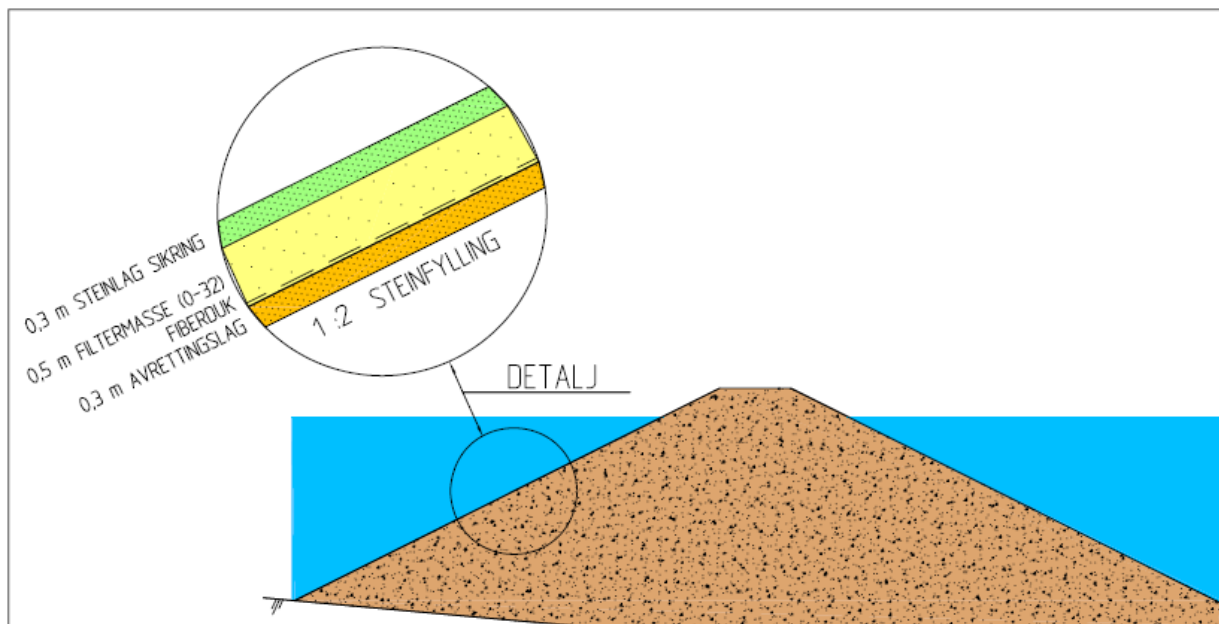


Figur4.2.. Foto som viser bygging av strandkantdeponi. Tildekking av fiberduk pågår.

Deponisiden av sprengsteinsfyllingen er etablert med helning 1:2. Deponiside og eksisterende skråninger mot strandkantdeponiet er avrettet/nedslaket med minimum 0,3m tykt lag med steinmasser, fraksjon 0-150mm. Over dette avrettingslaget er det lagt ut en fiberduk (klasse IV) før filterlag er lagt ut.

Filteret skal holde tilbake eventuelle partikler i vann som strømmer ut gjennom dammen. I tillegg vil oppløste stoffer i vannet i noen grad bindes til de ferske mineralkornene i sandfilteret. Filterlaget er lagt ut i en tykkelse på 50 cm på fyllingsdammen og i 30 cm tykkelse på fyllingen mot nedlagt deponi. Filtermassen er knust stein, fraksjon 0-30mm. Fiberduken skal hindre at filterlaget vaskes inn i de underliggende grovere massene. Oppbygging av filteret er vist i figur 4.3

Sentralt i demningen, på sjøsiden av filteret, er det etablert to kontrollbrønner for overvåking av mulige lekkasjer fra deponiet.



Figur 4.3., oppbygging av filterlag på deponisiden av moloen.

De stedlige massene (leire) i bunnen av deponiet, under den utlagte sandputen, er mye tettere enn filtermassene i dammen, og det skal ikke skje vanntransport gjennom bunnen av deponiet.



Figur 4.4. Foto som viser arbeid med strandkantdeponi pr august 2005. Arbeid med omlegging av eksisterende løp av Prestebekken pågår. Foto: Tor Kviljo, miljøvernavdelingen.

Etablering av strandkantdeponiet medførte også behov for omlegging og sikring av Prestebekken, som ses øverst i venstre kant i bildet over. Bekkeløpet har blitt tettet med hensyn på innlekking av sigevann fra omgivelsene. I bunn av nytt profil ble det lagt ut fiberduk for å hindre de overliggende filtermassene i å trenge ned i grunnen. Mellom nedre og øvre filterlag ble det lagt en membran for å skape et tett bekkeløp. Oppå dette ble det i bekkeløpet lagt ut elvegrus og større steiner som hvilesteiner for fisk. I bekkens skråninger fra nytt bekkeutløp og opp til båtgarasje har det blitt lagt ut vekstjord og sådd svartor stiklinger.

Prestebekkens utløp innerst i bukta ble forlenget til fyllingsdammen med utløp til sjø.

Det var kun 20 cm fall tilgjengelig for bekkeløpet fra kulvert og til nytt utløp. Bekken ble etablert uten fall frem til et punkt 40m oppstrøms utløpet. Herfra og ut ble fallet på 20 cm jevnt fordelt.



Figur 4.5. Foto av strandkantdeponiet i drift pr juni 2006. Foto: Tor Kviljo, Terrateknikk

Samtidig med bygging av strandkantdeponiet ble det gjennomført sikringstiltak for det store avfallsdeponiet rett øst for anlegget, se kart figur 4.1. og foto figur 4.5. Hovedprinsippet for sikring av dette gamle deponiet gikk ut på å tette deponiet mot sjøen, slik at alt sigevann dreneres gjennom strandkantdeponiet. Samtidig ble lagt avskjærende ledninger for overvann og deponioverflaten tettet. Sikring av avfallsdeponiet ble igjen kombinert med etablering av nytt kaianlegg.

Bygging av strandkantdeponi ble startet i april 2004, og ferdigstilt i desember 2005. Fremdriften ble ca 3 mnd forsinket pga vanskelige grunnforhold og høyt poretrykk underveis i arbeidet. For å unngå for store forsinkelser ble motfylling forsterket.



Figur 4.6.. Levering av masser til deponi foretas både med mudringsfartøy og lektere. Her levering av masser til deponi i mai 2006.

#### 4.1.3 Kostnader

Arbeidet med sikring av gammelt avfallsdeponi, etablering av ny kai, omlegging og restaurering av Prestebekken, samt etablering av nytt strandkantdeponi har gått parallelt. Tiltakene har med valgt organisering vært gjensidig avhengig av hverandre.

Kombinasjonen av kaibygging, sikring av gammelt avfallsdeponi og etablering av strandkantdeponi har gitt store synergieffekter. Det vises her særlig til at kaietableringen er kombinert med tetting av avfallsdeponiet mot sjøen, og at sigevann fra avfallsdeponiet ledes gjennom strandkantdeponiet med de rensetiltak som der er etablert. I tillegg har strandkantdeponiet til en viss grad redusert tilførsler til sjø fra forurensede områder bak deponiet.

De samlede kostnader for hele prosjektet, dvs både strandkantdeponi, avfallsdeponi og kai som sikring av avfallsdeponiet mot sjøen, var stipulert til kr 72.000.000. Sluttregnskapet viser at prosjektet ble gjennomført innenfor denne budsjetrammen.

Det pågår en sluttavregning mellom de ulike delprosjektene, slik at kostnadsfordelingen mellom disse p.t. ikke er endelig avklart. Basert på teknisk sluttrapport for strandkantdeponiet, og tilleggsinformasjon fra Kristiansand eiendom, tas det imidlertid utgangspunkt i at sluttkostnad for strandkantdeponiet kom på 27,0 mill kr. Dette gir en enhetspris pr m<sup>3</sup> volum i deponiet på kr.385,-

#### 4.1.4 Drift av deponiet

Det er utarbeidet driftsinstruks og driftskontrollprogram for strandkantdeponiet, og utarbeidet eget miljøkontrollprogram. I tillegg pågår løpende overvåking av setninger og poretrykk. På grunn av de vanskelige grunnforholdene er det påregnet noe setninger, og det kan bli nødvendig å løfte damkrone og filter i deponiet. Driftstiden for deponiet er avhengig av hvor mye mudringsmasser som blir levert.

Det er ved etablering av deponiet ikke tatt endelig stilling til tekniske løsninger for avslutning av dette, men ulike løsninger er skissert i driftsinstruksen. Det er foreløpig ikke vurdert stabilisering av innlagte masser underveis i prosessen, da slik stabilisering også kan redusere deponikapasiteten. Avslutningstiltakene er også avhengig av hva som er mulig og ønskelig mht trafikklast etc.

## 5 Oppryddingstiltak på land

### 5.1.1 Beskrivelse

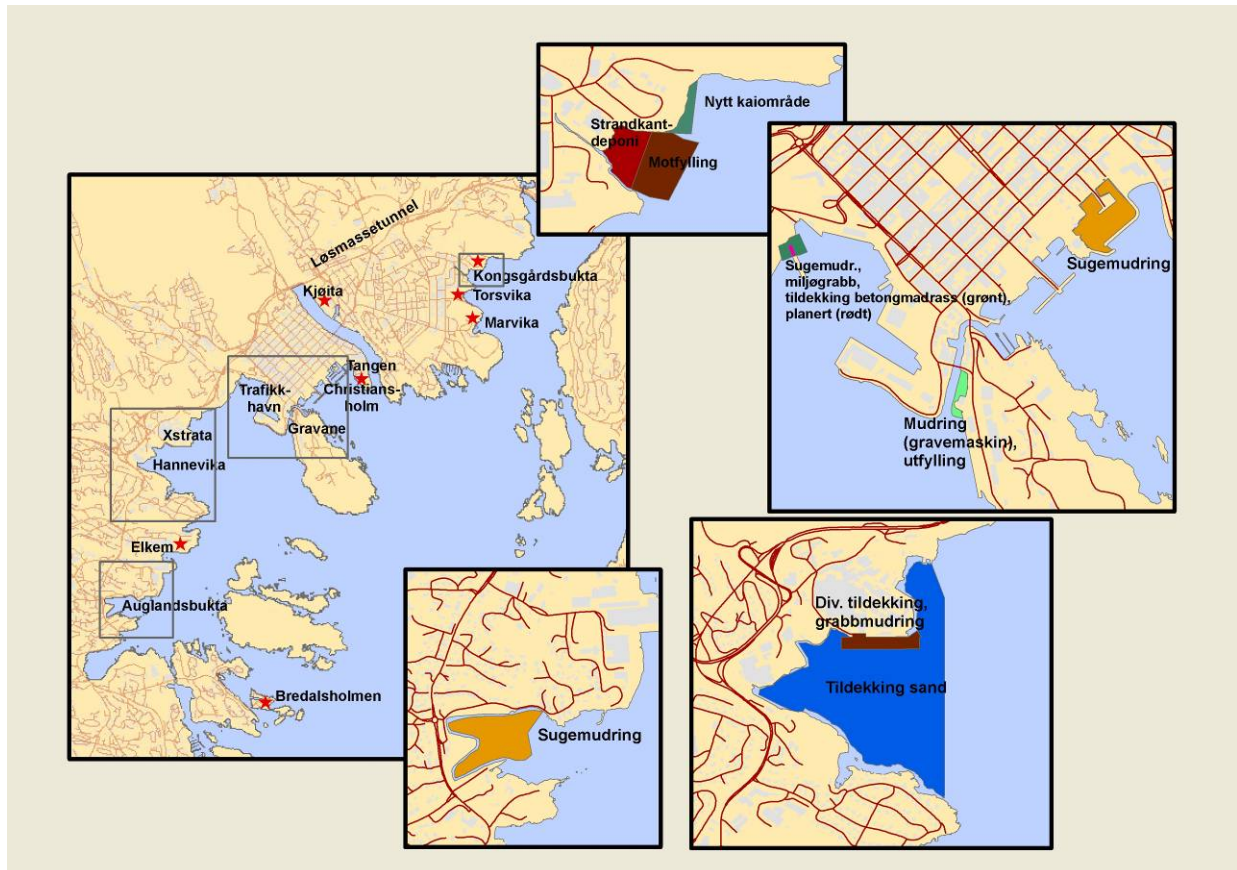
Som del av Pilotprosjekt Kristiansand har det vært gjennomført en rekke tiltak for å stanse aktive forurensningskilder. Type tiltak og valg av metode fremgår av følgende liste.

| Område         | Tiltakshaver         | Type kilde                        | Tiltak - metode                                                       | Merknad                                              |
|----------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Kongsgårdbukta | Kristiansand kommune | Avfallsdeponi                     | Sikring på stedet, rensetiltak                                        | Avsluttet                                            |
| Kongsgårdbukta | Kristiansand kommune | Forurenset grunn                  | Sikring på stedet, rensetiltak                                        | Avsluttet, ytterligere tiltak aktuelt ved utbygging. |
| Torsvika       | Kristiansand kommune | Avfallsdeponi                     | Dels sikring på stedet og rense-tiltak, dels levering til deponi      | Avsluttet                                            |
| Marvika        | Forsvarsbygg         | Forurenset grunn                  | Levering på deponi                                                    | Avsluttet                                            |
| Kjøita         | Privat utbygger      | Forurenset grunn                  | Levering på deponi                                                    | Avsluttet                                            |
| Tangen         | Kristiansand kommune | Avfallsdeponi og forurenset grunn | Hovedsakelig levering på deponi                                       | Pågår, knyttet til utbygging                         |
| Elkem          | Elkem                | Prosessutslipp, Forurenset grunn  | Prosessomlegging. Forurenset grunn til deponi eller sikret på stedet. | Ikke avsluttet                                       |
| Bredalsholmen  | Kristiansand kommune | Forurenset grunn                  | Hovedsakelig levering på deponi                                       | Hovedsakelig avsluttet                               |
| Holskogkilen   | Kristiansand kommune | Avfallsdeponi                     | Sikring på stedet, rensetiltak                                        | Hovedsakelig avsluttet                               |

Ved gjennomføring av sikringstiltak ved Holskogen, har det oppstått behov for tilførsel av ekstra masser. Dette har medført muligheter for kommunale prosjekter til å levere lettere forurenset masse til Holskogen.

## 6 Beskrivelse av delprosjektene

Det gis dette kapitlet en beskrivelse av hvert av delprosjektene, med informasjon om metodevalg, miljøeffekter og kostnader. Oversikt over delprosjektene er vist i etterfølgende figur:



Figur 6.1. oversikt over tiltak i pilotprosjektet. Fargede områder angir oppryddet areal med mudring og/eller tildekking, mens stjerner angir tiltak på land for å stanse tilførsler.

### 6.1 Tiltak ved industrikaier – Xstrata Falconbridge nikkelverk

Tiltakshaver: Xstrata Falconbridge Nikkelverk

Utførende entreprenør(er): Agder Marine, Anker Dykkerselskap og EB Marine

Henvvisning referanser: Kap 10, referanse 1, 7, 19, 24, 38, 39 og 42.

#### 6.1.1 Områdebeskrivelse

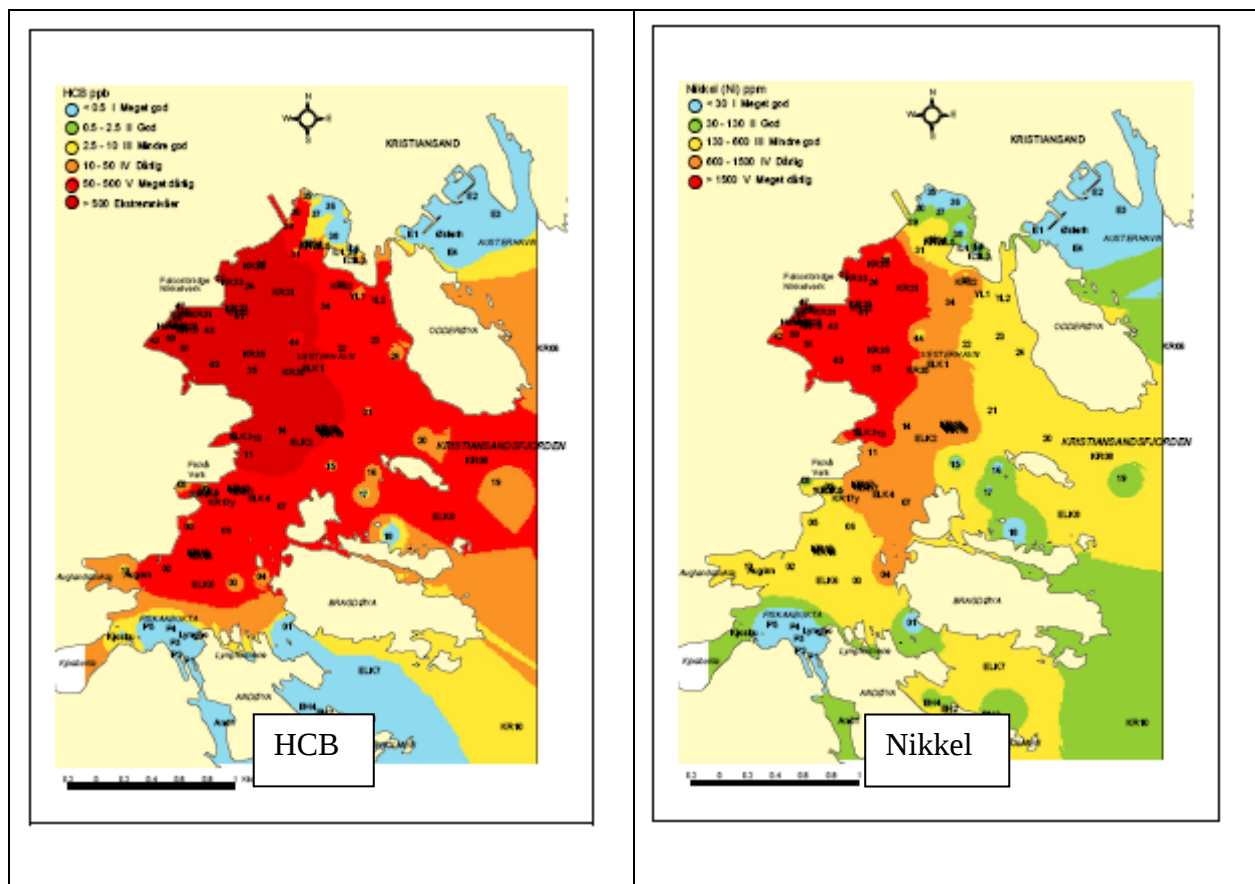
Tiltaksområdet ligger i direkte tilknytning til tildekkingsområdet i Hannevika, og omfatter samlet et areal på 12.000 m<sup>2</sup> langs bedriftens kaier. Sonen strekker seg 50 meter ut fra bedriftens kaifront. Tiltaksområdet er vist som hvitt felt på kart i figur 6.4.

På grunn av krav til seilingsdyp, og påvirkning av propellstrøm, måtte ulike metoder benyttes.

### 6.1.2 Miljøforhold før tiltak

Hele tiltaksområdet var meget sterkt forurensset av både organiske og uorganiske miljøgifter som dioksin, HCB og tungmetaller. For bl.a. HCB var konsentrasjoner i sedimentene mer enn 50 ganger høyere enn grenseverdien for meget sterk forurensning i SFTs klassifiseringssystem. Forurensningsnivåer etter SFTs klassifiseringssystem er vist for HCB og dioksin i figur 6.2. Legg merke til den mørke røde fargen som er benyttet for HCB. Denne angir "ekstremnivåer" med mer enn 10X grenseverdien for klasse 5 – meget sterkt forurensset.

Kostholdsråd og omsetningsforbud for fisk og skalldyr har primært vært knyttet til innholdet av dioksiner. Kostholdsråd gjelder hele fjordområdet ut til Flekkerøy.



Figur 6.2.. Forurensningsnivå i sedimenter for HCB og nikkel etter SFTs klassifiseringssystem. Rød farge angir meget sterkt forurensset. Kilde: NIVA

### 6.1.3 Forurensningskilder

Utslipp fra Falconbridge nikkelverk har vært og er den dominerende forurensningskilden i området. Det vises til beskrivelse i kap. 6.2.3. Etter at bedriftens utslipp har blitt betydelig redusert, har oppvirvling av sedimenter knyttet til skipsanløp blitt vurdert som den mest sentrale kilden til spredning av miljøgifter. Vanddypet ved kaia varierte før tiltak mellom 8 og 25 meter, med det grunneste partiet mot vest (til venstre på nedenstående bilde).



Figur6.3: Skipsanløp ved Falconbridge, vestre kai. Foto: NIVA

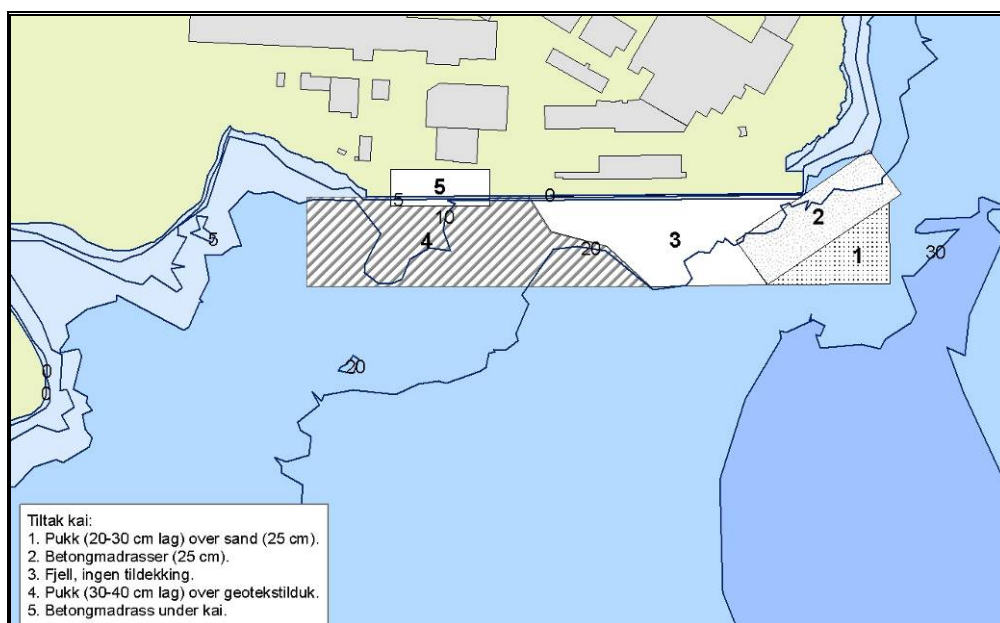
#### 6.1.4 Gjennomførte tiltak

Etter en innledende kartlegging og tiltaksvurdering, er det gjennomført ulike tiltak langs ulike deler av kaiområdet. Tiltakene som er gjennomført er:

- Sone 1: Tildekking med pukkk over sand
- Sone 2 og 5: Tildekking med betongmadrasser
- Sone 4: Tildekking med pukkk over geotekstilduk.

I sone 4 er det grabbmudret på deler av området før tildekking ("flip-flop"), se beskrivelse i kapittel 3

Tiltak i sone 5 ble gjennomført i 2004 som et supplerende/korrigerende tiltak på grunnlag av etterkontroll av hovedprosjektet i Hannevika. Tiltakene er nærmere beskrevet i kapittel 3.



Figur 6.4., kart som viser tiltaksområde og valg av metoder ved kaiene til Falconbridge

### **6.1.5 Gjennomføring og fremdrift**

Tidspunkt for tiltak i dette området var direkte avhengig av tildekkingen i bukta utenfor, som ble startet opp i april 2002 og avsluttet i november 2003. I utgangspunktet var tiltak ved bedriftens kaier tenkt gjennomført tidlig i denne perioden, slik at skipstrafikk og annen aktivitet langs bedriftens kaier ikke skulle medføre risiko for spredning av forurenset sediment ut på det store tildekkingsområdet i Hannevika. Tiltakshaver ønsket imidlertid ikke å gjennomføre dette tiltaket uten en juridisk og forvaltningsmessig prøving av ansvarsforholdet. Det ble derfor gitt pålegg fra Statens forurensningstilsyn om gjennomføring av oppryddingstiltak, og dette var også til klagebehandling i Miljøverndepartementet. Klageavgjørelse forelå i oktober 2002, og deretter ble detaljplanlegging av tiltak startet opp.

Tiltakene ble gjennomført sommeren 2003. For område 1, 2 og 3 på kart foran var tiltakene avsluttet medio august. Tiltak i område 4 var forutsatt avsluttet på samme tid, men pga problemer som oppsto ved mudrearbeid i del av området, ble dette delområdet først ferdigstilt i september/oktober s.å..

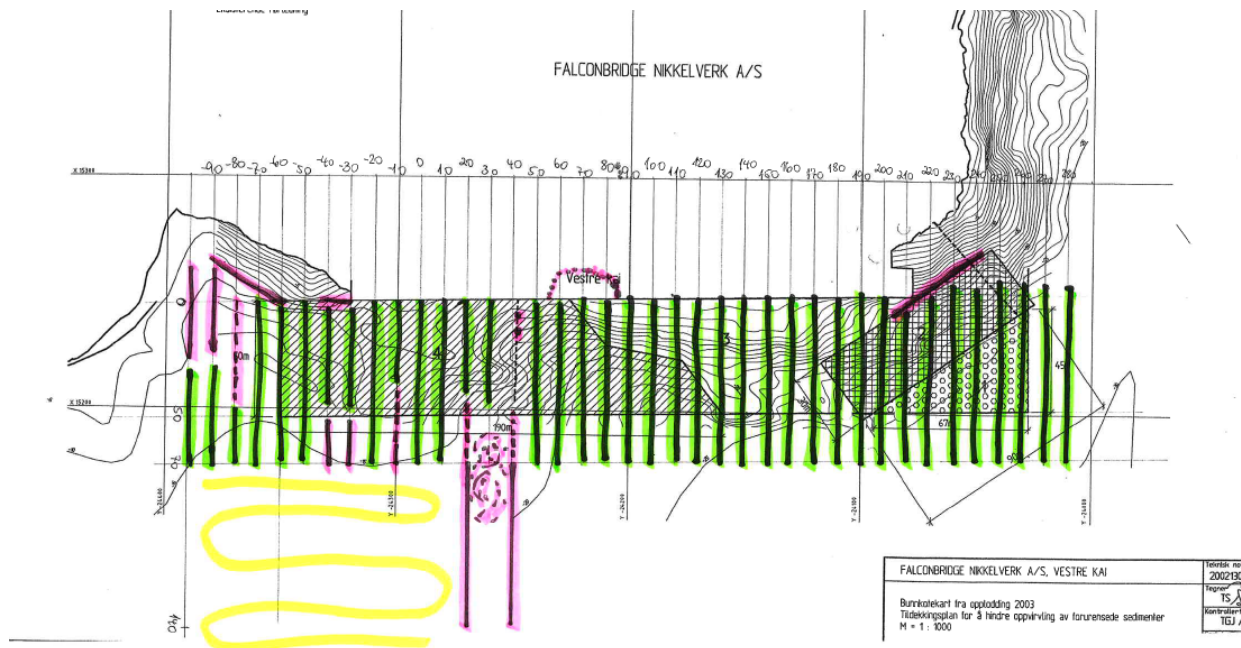
På grunn av den sene ferdigstillelsen av tiltakene langs bedriftens kaier, ble hovedprosjektet i Hannevika avsluttet med en ekstra tildekking i overgangssonen mellom bedriftens tiltaksområde og de øvrige områdene i Hannevika.

Korrigerende tiltak under bedriftens kaier ble gjennomført i 2004.

### **6.1.6 Etterkontroll og resultater**

Etterkontroll langs bedriftens kaier må leses i sammenheng med kapittel 6.2.6. som omhandler etterkontroll av hovedtildekkingen i Hannevika.

Etterkontroll av tiltaksområdet ved bedriftens kaier er avgrenset til dykkerinspeksjoner. Dykkerkontroll er gjennomført i flere runder, med hovedkonklusjon at tiltakene i alle delområdene har vært vellykket. Den mest omfattende dykkerinspeksjonen ble gjennomført i desember 2005. Det ble da lagt ut merkesnorer (kjetting) for hver 10. meter i kaiens lengderetning, og 70 meter ut fra kaifront.



Figur 6.5., kart som viser resultat fra dykker kontroll. Rød farge angir behov for utbedring, i område med gul farge kan det være behov for ekstra kontroll. Grønn farge angir god tildekning.

Hovedkonklusjonen fra dykkerkontrollen har vært at tiltakene er vellykkede, men at det er behov for mindre justeringer. Områder med behov for korrigerende tiltak er vist med rødt på kartskisse foran. Korrigerende tiltak er pr september 2007 kun delvis gjennomført, resterende korreksjoner er planlagt utført i 2008.

Behov for korrigeringer gjelder:

- Mangelfull tildekning i bukt vest for kaia (også omtalt under kap 6.2.6, utbedringsforsøk gjennomført uten hell)
- Mangelfull tildekning langs eksisterende ledningstrase ut fra kaia (de to røde strekene som går sydown på kart i figur 6.5.)
- Et mindre utildekket område under kai
- En "sprekk" i tildekkingslaget i bakkant av betongmadrass i østre ende av kai.

## 6.2 Hannevika.

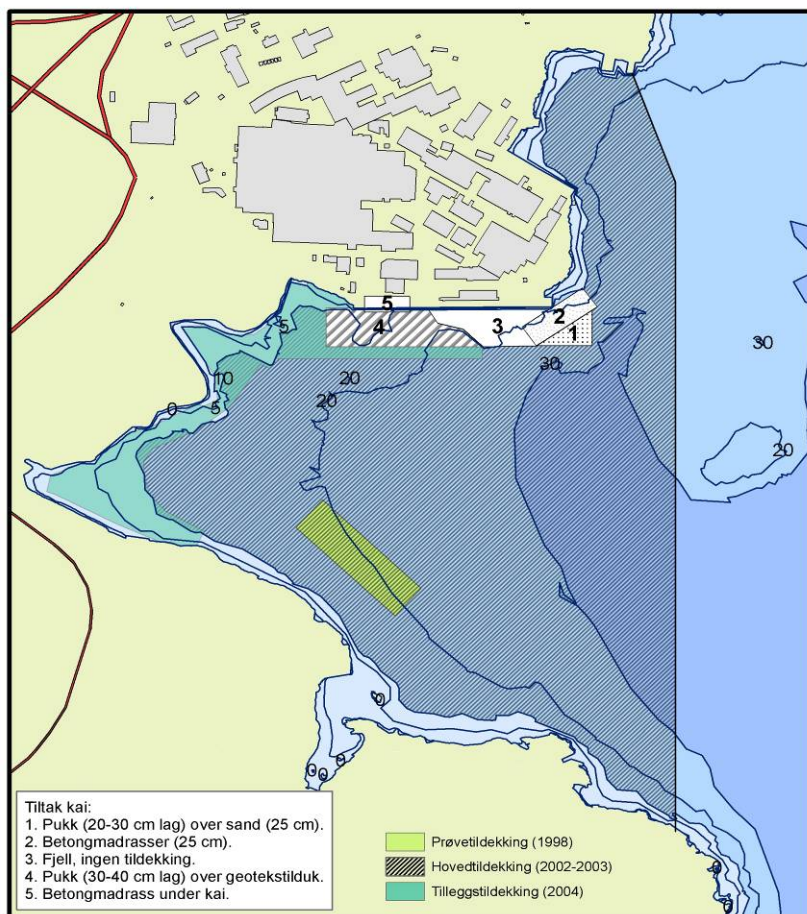
Tiltakshaver: Kristiansand kommune

Utførende entreprenør(er): Agder marine

Henvisning referanser: Kap 10, referanse 8, 9 og 42

### 6.2.1 Områdebeskrivelse

Oppryddingstiltaket ble gjennomført i en bukt i indre og vestre del av fjordområdet. Tiltaksområdet utgjorde et areal på 330.000 m<sup>2</sup>. Tiltaket omfattet hele det skravert arealet på kart i figur 6.6.



Figur 6.6., kart med tiltaksområdene i Hannevika. Skravert blått felt viser tildeckingsområdet.

Tiltaksområdet har relativt bratte skråninger i de indre partiene mot land. Opprinnelig tiltaksområde var derfor avgrenset til dyp større enn 10 meter.

Stabiliteten til sedimentene i tiltaksområdet har satt visse begrensninger på metoden. Sedimentene var bløte med ekstremt liten skjærstyrke, og tildekking medførte fare for undersjøiske ras.

Tiltaksområdet grenser til kaiene ved Falconbridge nikkerverk, hvor det er gjennomført egne tiltak, jfr kap 6.1.

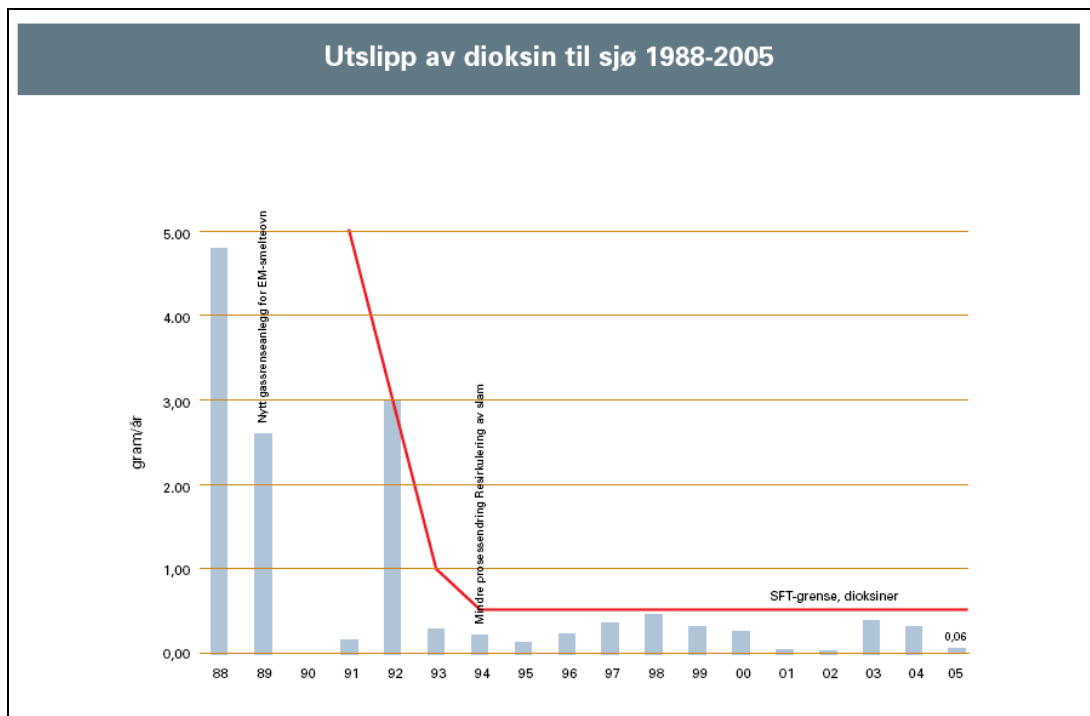
### 6.2.2 Miljøforhold før tiltak

Hele tiltaksområdet var meget sterkt forurensset av både organiske og uorganiske miljøgifter som dioksin, HCB og tungmetaller. For bl.a. HCB var konsentrasjoner i sedimentene mer enn 50 ganger høyere enn grenseverdien for meget sterk forurensning i SFTs klassifiseringssystem. Nivåer for utvalgte miljøgifter er vist på kart i kapittel 6.1.2.

Kostholdsråd og omsetningsforbud for fisk og skalldyr har primært vært knyttet til innholdet av dioksiner. Kostholdsråd gjelder hele fjordområdet ut til Flekkerøy.

### 6.2.3 Forurensningskilder

Falconbridge nikkerverk har vært den klart dominerende forurensningskilden i området, med nærmere 100 års drift og utslipp. Frem til tidlig på 1980-tallet var det svært store utslipp til fjorden, dette er senere betydelig redusert. Utviklingen for utslipp av dioksiner til sjø er vist i figur 6.7.



Figur 6.7., utvikling av dioksinutslipp fra Xstrata Falconbridge Nikkelverk

Utslipp av HCB fra bedriften skal være opphørt gjennom prosessomlegginger for mer enn 20 år siden, men før gjennomføring av tiltak var det fortsatt ekstreme høye nivåer av HCB i topplaget på bunnsedimentene. Utslipet av dioksin er tilnærmet eliminert. Utslipp av metaller er redusert, men det er fortsatt relativt store utslipp av bl.a. nikkel og arsen til fjordområdet. Sedimentene har imidlertid nivåer som første og fremst reflekterer eldre utslipp. Bedriften har i dag konsesjon fra SFT for følgende utslipp til sjø:

| Utslippskomponent | Utslippsgrenser |                           |
|-------------------|-----------------|---------------------------|
|                   | kg pr døgn      | Glidende 12-mnd mengde kg |
| Ni                | 11              | 2 200                     |
| Cu                | 8               | 1 800                     |
| Co                | 2               | 300                       |
| As                |                 | 400                       |
| Cd                |                 | 10                        |
| Fe                |                 | 2 200                     |
| Pb                |                 | 120                       |
| Zn                |                 | 700                       |
| Dioksiner         |                 | 0,5 g/år                  |

Tabell 6.1.: Konsesjonsgrenser for utslipp Xstrata Falconbridge nikkerverk (Kilde: SFT)

#### 6.2.4 Gjennomførte tiltak

I Hannevika er det gjennomført tildekking med sand. Massene som ble benyttet var overskuddsmasser fra et større utbyggingsprosjekt. Metoden er beskrevet i kap 3.3.

Krav til tildekking i Hannevika var at alle deler av arealet skulle dekkes med minst 25 cm sand. Dette var definert som tilstrekkelig til å unngå at gravende bunndyr skulle bringe forurenset sediment opp over tildekkingslaget.

De ekstremt bløte massene og den lave skjærstyrken medførte ekstra risiko. Etter innledende geotekniske undersøkelser ble det besluttet å dekke til de bratteste partiene først, for at eventuelle undersjøiske ras kunne gå tidlig i anleggsperioden og bli dekket til ved senere pålegging av masse. Ved tildekking med tynne lag, og konsolideringsperiode mellom hver tildekking, ble imidlertid risikoen for ras sterkt redusert, og det ble ikke påvist slike hendelser i prosjektet.

Resultat fra etterkontroll har medført supplerende og korrigerende tiltak i 2004, bl.a. ved tildekking av grunne områder (< 10 meters dyp) vest i bukta, samt tildekking av sterkt forurenset sediment under industrikai ved Falconbridge nikkelverk.

#### 6.2.5 Gjennomføring og fremdrift

Tildeckingsarbeidet startet i april 2002, og hovedprosjektet ble avsluttet sent på høsten 2003. Det er som planlagt dekket til et område på ca 330.000 m<sup>2</sup>, med en gjennomsnittlig tykkelse på 50 cm. Prosjektet ble gjennomført med følgende fremdriftsplan:

| Hovedtildekking | Etterkontroll   | Korrigerende tiltak | Sluttkontroll |
|-----------------|-----------------|---------------------|---------------|
| Apr 02 – nov 03 | Des 03 – mai 04 | Aug 04 -            | 2005-2006     |

#### 6.2.6 Etterkontroll og resultater

Etterkontroll av hovedtildekkingen i Hannevika må leses i sammenheng med kapittel 6.1.6, som omhandler etterkontroll langs bedriftens kaier.

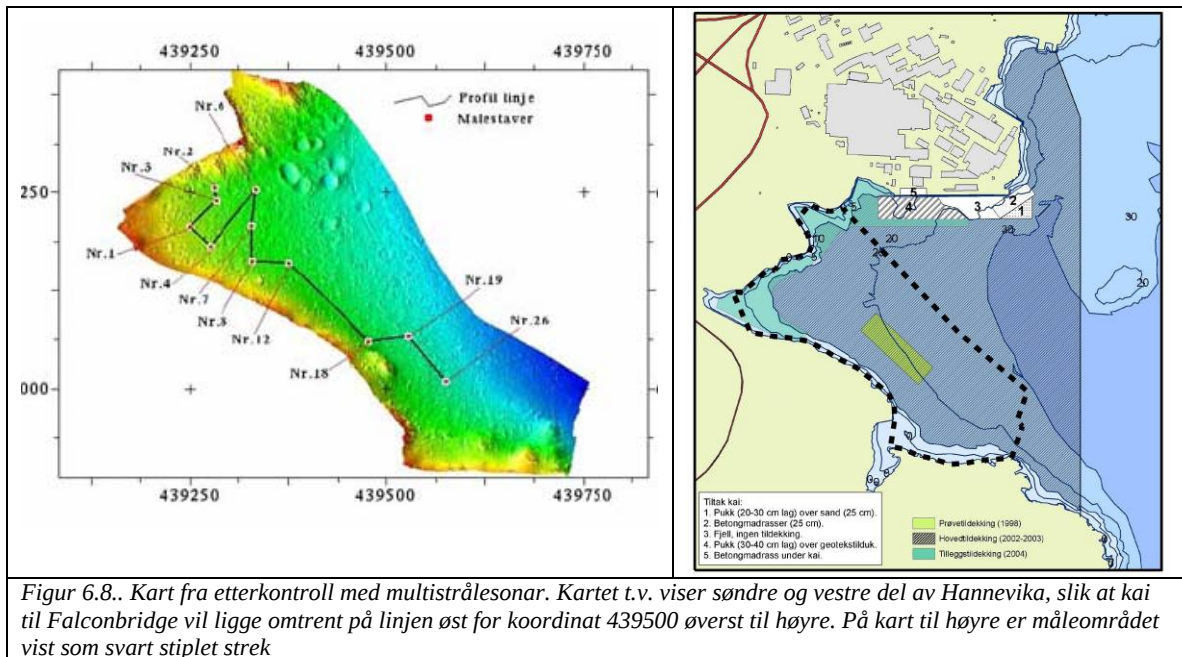
Etterkontroll ved gjennomføring av tildeckingsprosjektet i Hannevika var planlagt gjennomført med følgende elementer:

- Kontroll av fastmerker
- Dykking
- Sedimentanalyser
- Bløtbunnsundersøkelser

Dykkerkontroll, kontroll av fastmerker og sedimentanalyser, viste at hovedområdet hadde fått en tilfredsstillende overdekning. I deler av området viste etterkontrollen mangelfull tildekking, dette gjaldt et område like vest for kai ved Falconbridge, samt et område sentralt i Hannevika. Dette ga seg utslag i forhøyede verdier av miljøgifter i sedimentprøvene, og dykkeren registrert et lag med rødbrunt slam. Dette varierte fra noen millimeter til større tykkelse. Rapport fra

dykkerundersøkelse påpeker også manglende tildekking i et par grunne bukter (< 10 meter) i vestre og søndre del av Hannevika.

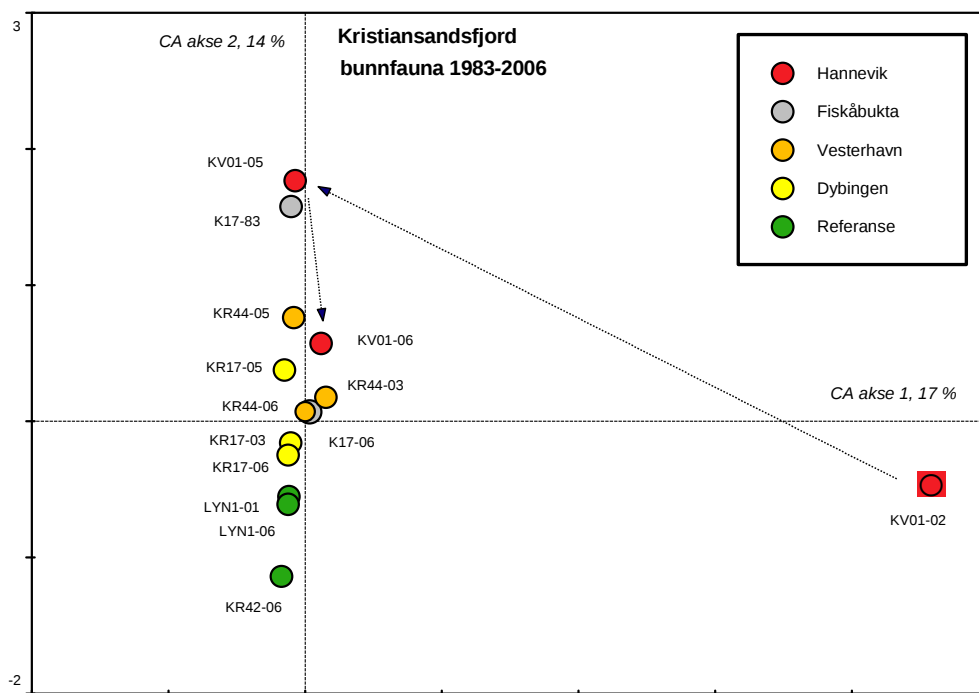
Ved kontroll av fastmerkene ble det påvist at en rekke av disse hadde veltet eller forsvunnet i løpet av tildekkingsperioden. Kontrollen av fastmerker ble i 2004 og 2005 derfor supplert med multistrålesonar. Med nøyaktig lokalisering av gjenværende fastmerker, kunne evt utglidning av disse registreres med stor grad av nøyaktighet.



På bakgrunn av bearbeidingen av data fra multistrålesonaren, ble det konkludert med at hele tiltaksområdet hadde fått en tilfredsstillende overdekking

Av kartet kan det se ut som det er noen groper øverst i bildet. Disse ligger relativt nær opp til området med mangelfull tildekking, og bør undersøkes nærmere.

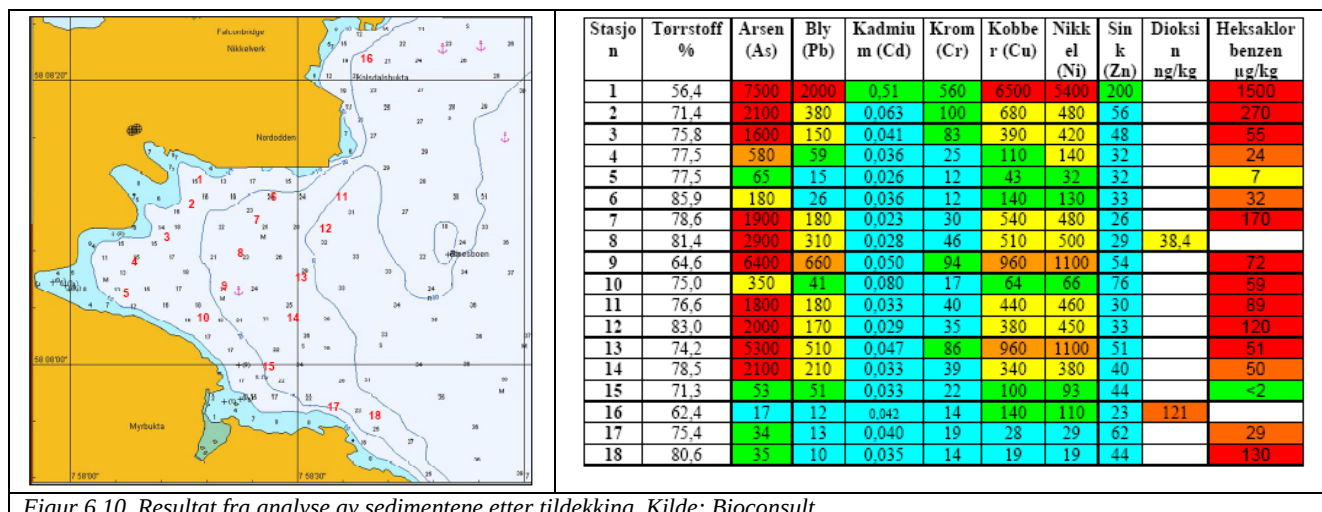
Bløtbunnsundersøkelser ble utført i 2002 og 2005 (og er senere gjentatt i 2007). Stasjonen i Hannevika skilte seg markert ut fra de andre stasjonene i 2002. Før tildekkingen (2002) var bunnfaunaen svært artsfattig og skilte seg sterkt fra resten av Kristiansandsfjorden. Etter tildekkingen har faunaen blitt mer lik den som finnes i Vesterhavn og Fiskåbukta. For å visualisere den store endringen som har skjedd, er det gjennomført en korrespondanseanalyse for likhet i faunasammensetning på stasjonene før og etter tildekking, jfr figur 6.9.



**Figur 6.9..** Korrespondanseanalyse for likhet i faunasammensetning på stasjonene i denne og tidligere undersøkelser. To siste sifre i stasjonskoden markerer år for innsamling. Pilene markerer faunautviklingen på stasjon KV01 i Hanneviksbukta fra tilstanden før tildekking (2002) til etter tildekkingen i 2005 og 2006. (kilde: NIVA)

Resultatene fra etterkontroll av sedimenter fremgår av figur 6.10. Selv om resultatene viser fortsatt høye verdier av HCB og arsen for mange stasjoner, er nivåene betydelig redusert. Før tildekking var for eksempel alle stasjoner i Hannevika ekstremt forurensert av HCB, med alle stasjoner mer enn 10 X grenseverdien for klasse V i SFTs klassifiseringssystem, jfr kap 6.1.2.

Nikkel var før tiltaket ble påbegynt valgt som en "nøkkelparameter" for kontroll av tildekkingslaget. Før tildekking var sedimentene i hele bukta meget sterkt forurensert av nikkel (klasse V). Etterkontrollen viser at det gjenstår en "hot-spot" mot bukt i nordvest, samt relativt høye verdier på to stasjoner sentralt i bukta. Arsen var ikke analysert før tiltaket ble gjennomført.



**Figur 6.10.** Resultat fra analyse av sedimentene etter tildekking. Kilde: Bioconsult

Den planlagte etterkontrollen viste at tildekking var vellykket, selv om det på ca 1/3-del av tiltaksområdet fortsatt var forurensninger i topplaget av sedimentene. For parametrene HCB og arsen ble det påvist høye nivåer over en større del av bukta.

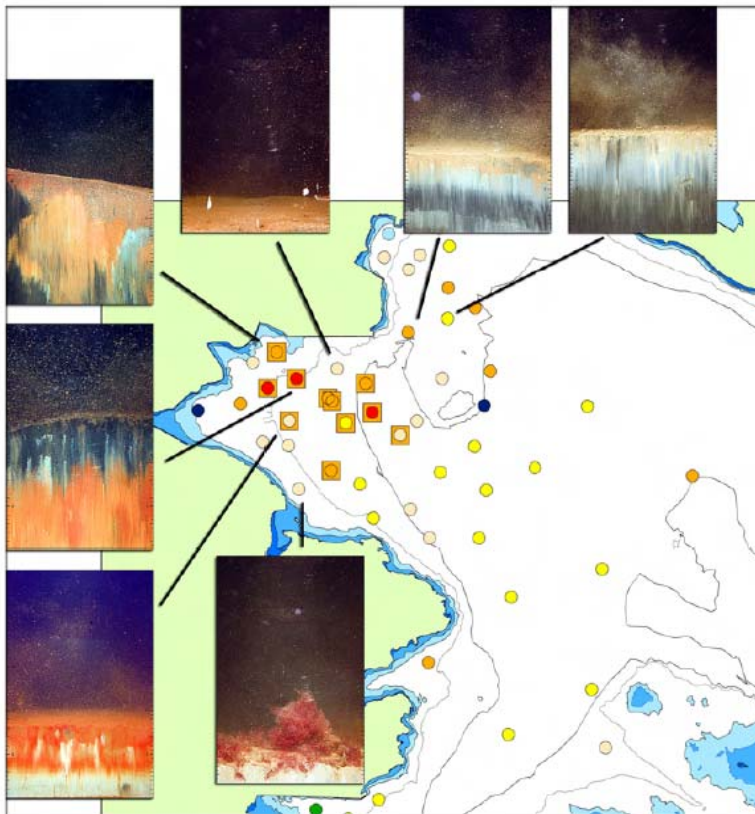
Etterkontrollen ga ikke svar på om dette skyldtes oppvirvling og resedimentering av forurenset sediment, eller om det var mangler ved utførelse av tildekkingen.

På bakgrunn av resultatene fra planlagt etterkontroll, ble supplerende kontroll iverksatt.

Følgende supplerende etterkontroll ble foretatt:

- vertikalfotos av sedimentene (SPI)
- oppvirvling og spredning av sedimenter ved skipsanløp
- uttak og karakterisering av 15 dype sedimentkjerner i tildekkingsområdet

Vertikalfotos bekreftet tidligere etterkontroll som viste at det på flere deler av tiltaksområdet enten var tilførsel av "ny" forurensning på toppen av tildekkingslaget. Undersøkelsen kunne imidlertid ikke avdekke årsak til dette forholdet.



Figur 6.11. Stasjoner og fotos fra SPI-undersøkelsen (vertikalfotos)

Undersøkelse av oppvirvling og spredning av sedimenter ved skipsanløp viste at dette ikke kunne medføre transport av forurenset sediment fra utildekket område lenger ute i havna og inn på tildekkingsområdet.

Målingene ved kai i Hannevika viste svært liten oppvirvling og spredning av sedimenter. Dette antas primært å skyldes at områdene langs kaia er dekket til,- dels med betongmadrasser, og

dels med fiberduk og pukk. Oppvirvlingen ved kai var klart mindre enn ved undersøkelser foretatt før tildekkningen startet.

Det ble ved målingene registrert enkelte kortvarige situasjoner med høy turbiditet uten ankomst eller avgang med skip. Årsaken til dette er ikke klarlagt, jfr NIVAs rapport 5328/2007.

Det ble også tatt ut 15 dype kjerner for fotografering og karakterisering. Disse viste at det på alle stasjonene var et intakt overdekningslag på 20-50 cm, med sterkt forurenset sediment under. På enkelte stasjoner ble det også her påvist et tynt lag med forurenset slam på toppen av tildekkingslaget. På figur 6.12. vises dette på kjernene fra stasjon 4, 6 og 14.

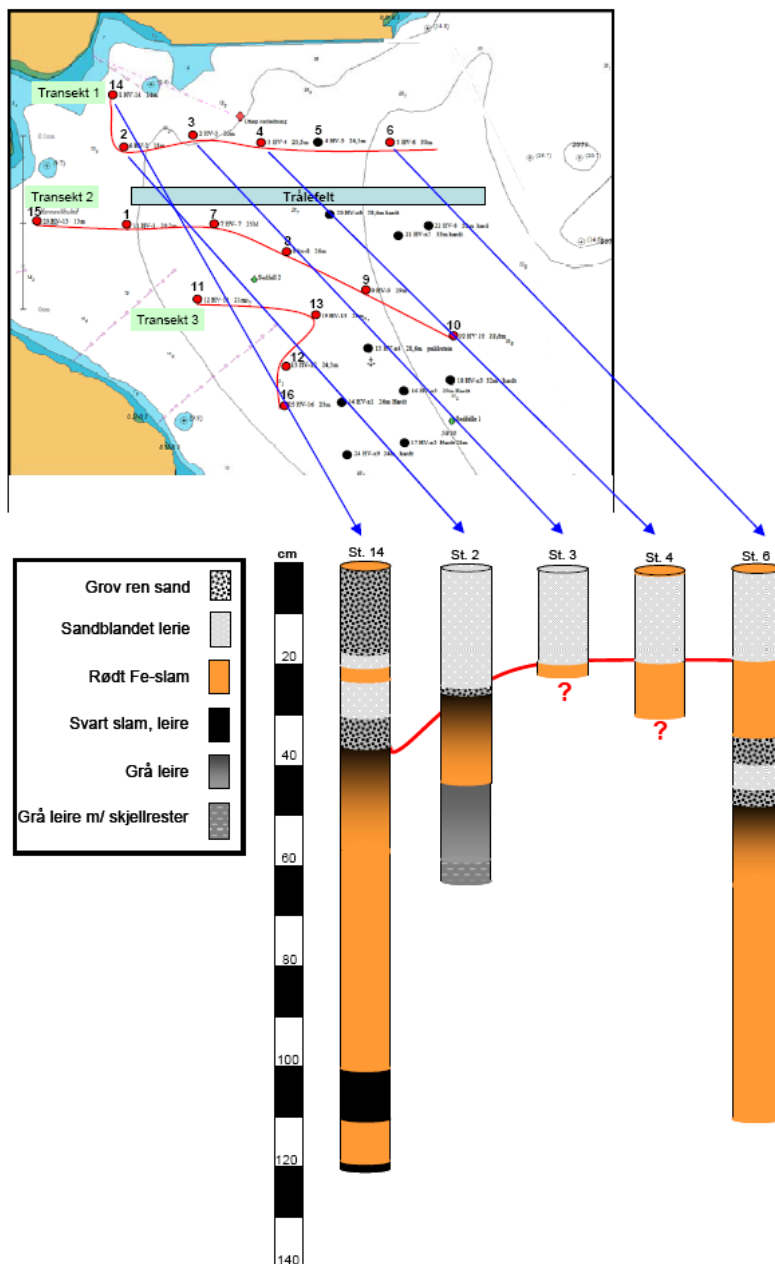


Fig 6.12., kartlegging av tildekkingslag i Hannevika. Rød linje markerer bunn av tildekkingslaget. Kilde: NIVA 5328-2007

Sammenfattende vurdering pr 2007

Før oppstart av tildekkingsprosjektet satt Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) opp faglige suksesskriterier for å kunne bedømme om de aktuelle tildekkings tiltakene i Hannevika var vellykket eller ikke. Fylkesmannen bedømmer resultatoppnåelse i forhold til disse slik:

| Kriterium                                                               | Suksess  | Merknad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ikke spredning av miljøgifter under tildekkingsoperasjonen              | Ja       | Ikke påvist spredning ved tildekking.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Geoteknisk stabilitet                                                   | Ja       | Pga ekstrem lav skjærspenning måtte det tas spesielle hensyn ved valg av metode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ikke utlekking gjennom tildekkingslag                                   | Delvis   | Tildekkingslag etablert med tilstrekkelig sikkerhet mot utlekking på tilnærmet hele arealet. Resedimentering av forurenset materiale over tildekkingslag skyldes mest sannsynlig en periode med spredning fra utildekket område under kai eller uhell med sprekk i siltskjørt under anleggsarbeid. Det kan også være spredning fra et lite areal vest for industrikai hvor tildekking er mangelfull. |
| Konsentrasjoner av miljøgifter i overflatesediment ikke over klasse II  | Delvis   | På ca 1/3 av arealet, hovedsakelig nærmest Falconbridge Nikkelverk, er det påvist for høye verdier.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Ikke akkumulering av miljøgifter i nyetablerte byttedyr                 | Nei      | Oppfølgende undersøkelse (NIVA, in prep) viser stort sprik i resultater, men det påvises opptak av miljøgifter i børstemark og sjøstjerne. Lite materiale har imidlertid ikke gjort det mulig med replikate analyser.                                                                                                                                                                                |
| Økt diversitet av bunnlevende fauna                                     | Ja       | Oppfølgende undersøkelser (NIVA) viser en tilnærmet normalisering av bløtbunnsfaunaen i området                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Minimal spredning av miljøgifter ved oppankring på fast oppankringssted | Uavklart | Oppankringssted innenfor tiltaksområdet har ikke vært benyttet etter at tiltak ble gjennomført                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tab 6.2. Suksesskriterier

På bakgrunn av ovennevnte kan en sammenfattende konklusjon være at tildekkingen er gjennomført med godt resultat, men at enkelte utbedringstiltak er nødvendige.

### 6.3 Tiltak ved Bredalsholmen veteranskipsverft

Tiltakshaver: Kristiansand kommune

Utførende entreprenør(er): Kartevoll AS, Repstad anlegg AS

Henvising referanser: Kap 10, referanse 3, 10 og 34.

#### 6.3.1 Områdebeskrivelse

Dette tiltaksområdet ligger i direkte tilknytning til et gammelt skipsverft, som i dag drives som veteranskipsverft. Verft og dokk ble etablert på 1870-tallet, og er i det vesentligste lite forandret siden den tid. Det ble i 1992 også etablert en småbåthavn i området.

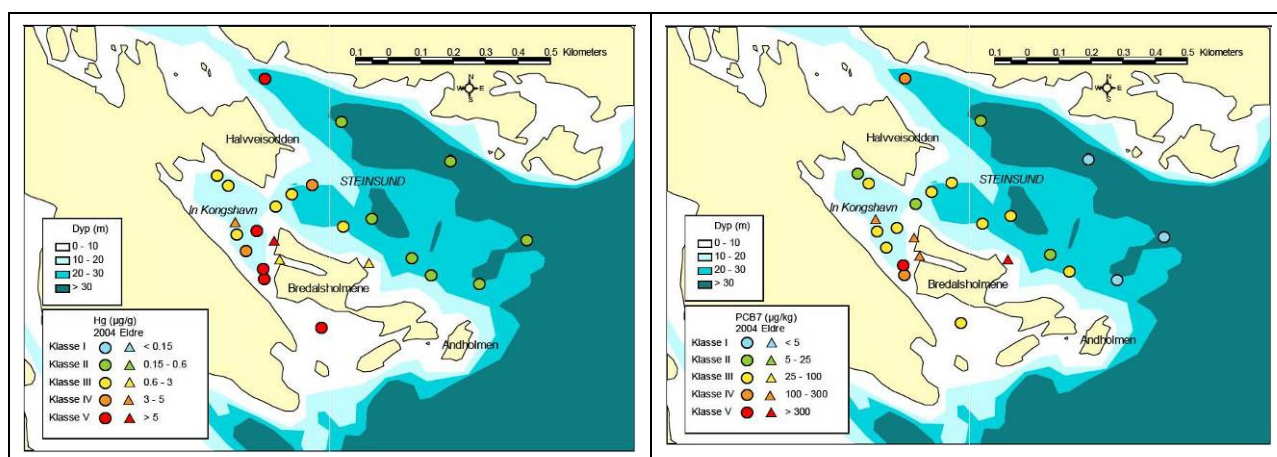
Tiltak omfatter både opprydding i grunnforurensning på land, og tiltak i sedimentene.



Fig 6.13., Oversiktsfoto verftsområdet og tiltaksområde sediment, sett fra nord. Foto: Tor Kviljo, Terrateknikk

### 6.3.2 Miljøforhold før tiltak

Sedimentene i området var sterkt og til dels meget sterkt forurensnet av flere miljøgifter. På verftsområdet ble det påvist relativt omfattende grunnforurensning både langs dokka og på arealet nord for dokka. Det var flere "oljegroper" som hadde vært benyttet som avhenningssted av spillolje med mer, og på østre del ble det påvist et større avfallsdeponi (ses som en flate til venstre bak dokka på foto i figur 6.13.). Dette deponiområdet er også brukt som øvelsesområde for industribrannvern på 1960- og 70-tallet.



Figur 6.14., Resultat fra Hg og PCB-analyser i sediment (kilde: NIVA)

Det er også gjennomført supplerende analyser i bukta syd for verftet. Resultatene fra disse viser at det spesielt sentralt i bukta og i sonen nordover mot verftet er høye nivåer av Hg, PAH, PCB og TBT. For disse parametrene er gradienten mot verftet tydelig.

### 6.3.3 Forurensningskilder

Skipsverftet har vært en betydelig kilde til forurensning av det lokale området rundt verftet, både for tungmetaller, PAH, B(a)P og PCB. Det må antas at verftet er hovedkilde til forurensning også av bukta syd for verftet (og syd for bro til Bredalsholmen).

Kongshavn, som er bukta nord for verftet, har i lang tid vært benyttet til opplag av skip.

I tillegg til verftet påvirkes området av industriforurensning fra bedriftene lenger inne i fjorden (bl.a. PAH og HCB).

Småbåthavna ble etablert i 1992, og antas ikke å ha bidratt vesentlig til forurensning av området.

### 6.3.4 Gjennomførte tiltak

Det var i pilotprosjektet forutsatt både oppryddingstiltak på land for å stanse avrenning og utslipp, samt tiltak for å rydde opp i sedimenter.

Tiltak på land er gjennomført ved til dels omfattende masseutskiftning, og hele deponiet i øst er fjernet. For grunnforurensning gjenstår forsegling av kranbanene. Det er delvis gjennomført tiltak også for å stanse utslipp fra driften av veteranskipsverftet. Her gjenstår imidlertid fortsatt enkelte tiltak.



Fig 6.15., Foto fra deponiområdet i sørøst, etter opprydding. Her ble det "avdekket" svaberg og strand under deponiet, og området er allerede tatt i bruk til friluftsmål. Foto: Annette Askland, Multiconsult

Tiltak i sedimentene er foreløpig ikke gjennomført, jfr etterfølgende.

### 6.3.5 Gjennomføring og fremdrift

Tiltak på land for å stanse aktive kilder er i det vesentligste gjennomført som planlagt.

Tiltak i sedimenter er sterkt forsinket, og er pr dags dato ikke startet. Det er i prosjektperioden gjennomført tilleggsundersøkelser og risikovurdering, med til dels sprikende anbefalinger om tiltak. Opprydding ved dokkporten er pr oktober 2007 under oppstart, mens det ikke er avklart om og evt hvor stort område som skal ryddes opp i tillegg.

### 6.3.6 Etterkontroll og resultater

På grunn av forsinkelsene er det ikke gjennomført etterkontroll i området.

## 6.4 Tiltak i Kongsgårdbukta

Tiltakshaver: Kristiansand kommune

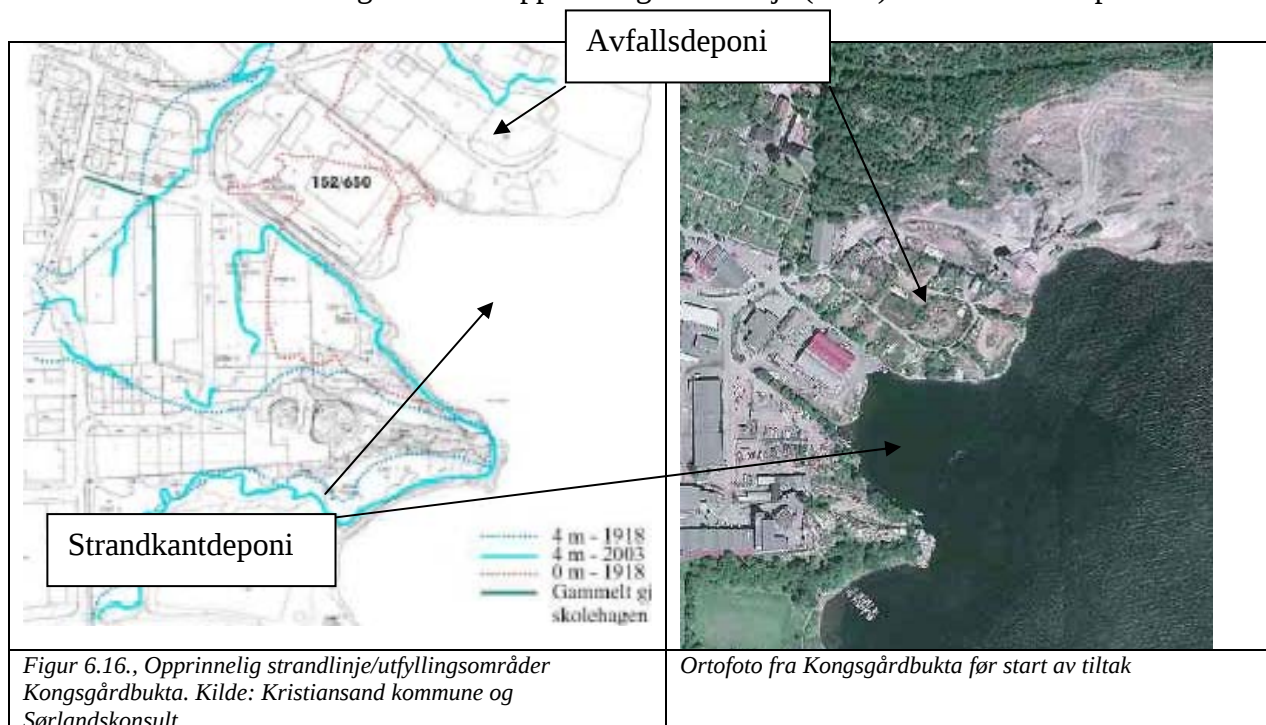
Utførende entreprenør(er): Veidekke entreprenør AS (strandkantdeponi), Agder Marine (diverse undervannsarbeider), Skanska (avfallsdeponi og kai).

Henvisning referanser: Kap. 10, referansenr 18, 26, 36, 41 og 43.

Det vises her også spesielt til kapittel 4, som beskriver etablering av strandkantdeponiet.

### 6.4.1 Områdebeskrivelse

Kongsgårdbukta ligger ytterst i Topdalsfjorden, og grenser til et område hvor det er foretatt omfattende utfyllinger over lang tid. Utfyllinger har til dels skjedd med avfallsmasser, og det har også vært drevet avfallsdeponier i området. På utfyllingsområdene og i bakkant av disse har det vært drevet ulike former for småindustri, bl.a. garverivirksomhet. Prestebekken munnet ut innerst i bukta. På kart i figur 6.16 er opprinnelig strandlinje (1918) vist med rød stiplet strek.



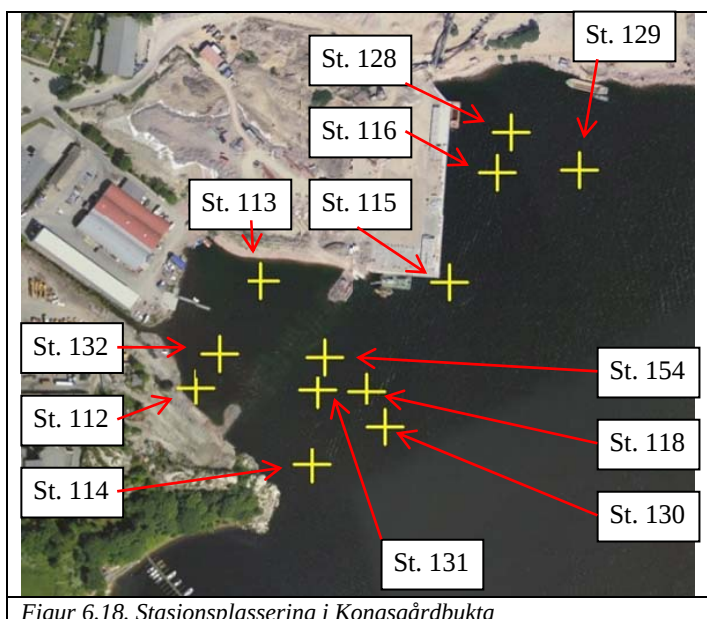
Sikring av avfallsdeponi og etablering av strandkantdeponi inngår delvis i tiltaksområdet, ved at opprydding av forurenset sjøbunn også har inngått i disse prosjektene, se omtale i kapittel 4. Området som beskrives i dette kapitlet omfatter derfor kun opprydding foretatt utenfor kaifront og utfyllingsområdet til strandkantdeponiet.



Figur 6.17., Foto fra tiltaksområdet, Kongsgårdbukta med bl.a. strandkantdeponi og avfallsdeponi til høyre i bildet. Foto: Tor Kviljo, Terrateknikk.

#### 6.4.2 Miljøforhold før tiltak

Sjøbunnen utenfor Kongsgårdbukta var før oppstart av tiltak markert til meget sterkt forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter. Prøvetatte stasjoner er vist på etterfølgende figur. Resultat fra undersøkelsene er vist på figur 6.19.



Figur 6.18. Stasjonsplassering i Kongsgårdbukta

| St.nr. | År   | Vann-<br>dyp | As   | Pb    | Cd   | Cu    | Cr    | Hg   | Ni    | Zn    | TBT  | Sum<br>PCB | HCB   | B(a)P | PAH16  |
|--------|------|--------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------------|-------|-------|--------|
| 112    | 1996 | 13,0         |      | 68,6  |      |       | 66,3  |      | 86,4  |       |      |            |       |       |        |
| 113    | 1996 | 15,0         |      | 87,9  |      |       | 423,4 |      | 100,0 |       |      |            |       |       |        |
| 114    | 1996 | 20,0         |      | 70,8  |      |       | 290,0 |      | 110,7 |       |      |            |       |       |        |
| 115    | 1996 | 22,0         |      | 30,4  |      |       | 85,9  |      | 35,4  |       |      |            |       |       |        |
| 116    | 1996 | 23,0         |      | 26,8  |      |       | 43,2  |      | 22,5  |       |      |            |       |       |        |
| 118    | 1996 | 9,0          |      |       |      |       |       |      |       |       |      | 50,0       | 17,70 | 687,0 | 9277,0 |
| 128    | 1997 | 15,0         |      | 79,8  | 0,90 | 82,0  | 46,9  | 1,00 | 44,7  | 277,0 |      | 80,0       |       | 180,0 | 1900,0 |
| 129    | 1997 | 20,0         |      |       |      |       |       |      |       |       |      | 6,0        |       | 70,0  | 600,0  |
| 130    | 1997 | 27,0         |      | 46,7  | 0,90 | 55,0  | 118,0 | 0,57 | 48,0  | 98,0  |      | 18,0       |       | 120,0 | 1200,0 |
| 131    | 1997 | 22,0         |      | 126,0 | 0,90 | 297,0 | 425,0 |      | 244,0 | 330,0 |      |            |       |       |        |
| 132    | 1997 | 16,0         |      |       |      |       |       |      |       |       |      | 60,0       |       | 280,0 | 1000,0 |
| 154    | 1999 | 20,0         | 14,0 | 140,0 | 1,10 | 250,0 | 270,0 | 0,34 | 230,0 | 300,0 | 20,0 | 80,0       |       |       | 4700,0 |

Figur 6.19, resultat fra sedimentprøver i Kongsgårdbukta før tiltak.

#### 6.4.3 Forurensningskilder

Hovedkildene til forurensningen i området har vært avrenning fra avfallsdeponier og utslipp fra garveri. Fra hoveddeponiet for avfall (flatt område til høyre for strandkantdeponi i bildet over), har Miljøteknikk Bo Carlson i 1997 beregnet følgende utslippsmengder pr år:

| Stoff | Mengde   | Stoff       | Mengde | Stoff              | Mengde |
|-------|----------|-------------|--------|--------------------|--------|
| KOF   | 20000 kg | Co          | 2,6 kg | Naftalen           | 2 kg   |
| LOC   | 2400 kg  | Xylener     | 14 kg  | Krysen             | 27 g   |
| Tot N | 9200 kg  | C9-C10-arom | 40 kg  | B(a)p              | 47 g   |
| Ni    | 12,2 kg  | Sum PCB     | 40 g   | Benso(k)fluoranten | 17 g   |
|       |          |             |        | Bense(ghi)perylene | 10 g   |

Tab 6.3. Utslippsmengder fra deponi før tiltak.

I tillegg har det vært utslipp og forurensning fra diverse småindustri, dels via grunnen, og dels via Prestebekken.

#### 6.4.4 Gjennomførte tiltak

Forurensset sjøbunn er kapslet inn ved etablering av strandkantdeponiet. Før etablering av dette er det lagt ut en "pute" med sand, for å unngå oppvirvling og spredning av forurensede sedimenter. Det er lagt ut en motfylling som strekker seg ca 150 meter ut fra damkrona. Ved sikring av avfallsdeponiet (til høyre på bildet i figur 6.17) er det også etablert kai som har tett spunt rundt hele kaifronten.

I prosjektet er det gjennomført mudring av et mindre volum ( $< 1000 \text{ m}^3$ ) i områdene rundt ny kai, og dekket til med pukk for erosjonssikring. Vanddypet i denne del av tiltaksområdet er ca 10 meter. Muddermasse er levert til strandkantdeponiet.

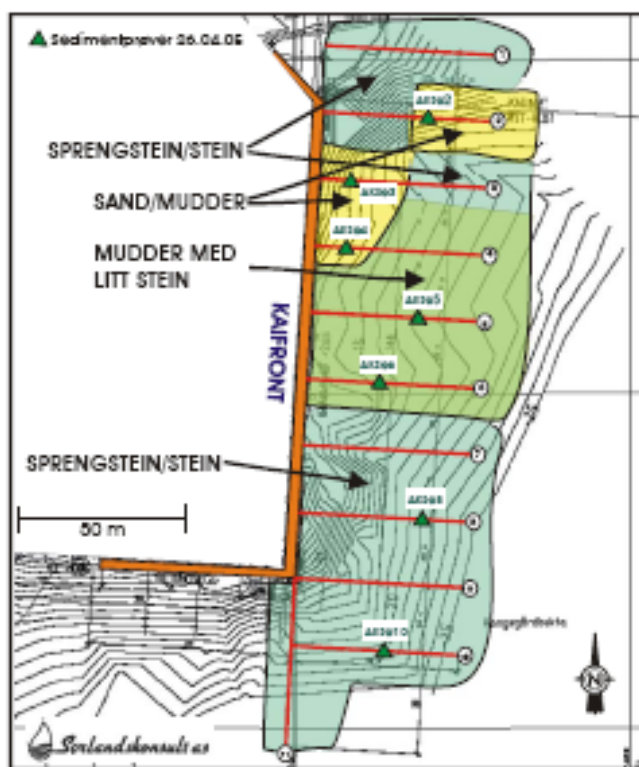
I tillegg til tildekking som ble foretatt ved etablering av strandkantdeponiet, er det ryddet opp i sjøbunnen ved etablering av ny kai. Til sammen har disse tiltakene medført at ca. 30.000 m<sup>2</sup> sjøbunn er ryddet opp ved tildekking og mudring.

#### 6.4.5 Gjennomføring og fremdrift

Tiltakene er avsluttet, og gjennomført i tråd med vedtatte planer.

#### 6.4.6 Etterkontroll og resultater

Det er gjennomført etterkontroll av tiltak er gjennomført og rapportert i miljøteknisk sluttrapport. Etterkontroll er gjennomført ved dykking og sedimentprøvetaking. Rapporten har hovedfokus på utslipp fra avfallsdeponiet, men det dokumenteres at hele arealet foran kaia på 7000-8000 m<sup>2</sup> nå har akseptable nivåer (maks klasse II-III) av miljøgifter. Området der det er utført etterkontroll fremgår av etterfølgende figur.



Figur 1. Prøvepunkter sedimenter Kongsgrødbukta 26.04.2005. Aksene er merket som røde streker. Prøvepunktene for sedimenter er merket med grønne trekantede.

Figur 6.20, område for etterkontroll av tiltak ved kai. Kilde: Sørlandskonsult.

### 6.5 Tiltak i Torsvika og Marvika

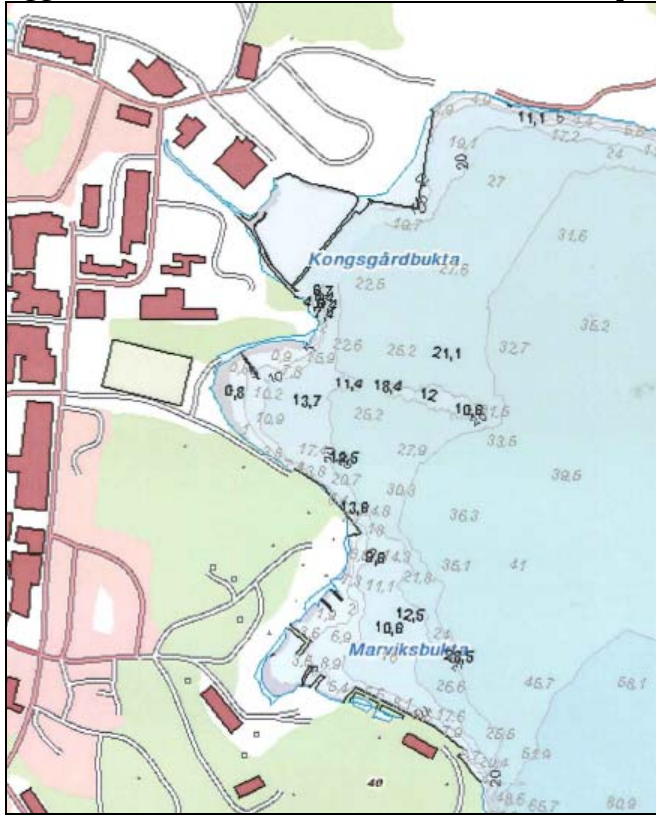
Tiltakshaver: Forsvarsbygg, Skifte eiendom

Utførende entreprenør(er): Torsvika: Kaspar Strømme. Marvika: O. Kartevoll.

Henvising referanser: Kap 10, referansenr 2, 15, 16, 17, 21, 27, 35 og 37.

### 6.5.1 Områdebeskrivelse

Marvika og Torsvika er buktene direkte syd for tiltaksområde Kongsgårdbukta, med Torsvika liggende mellom de to andre. Områdene er vist på kart i figur 6.21.



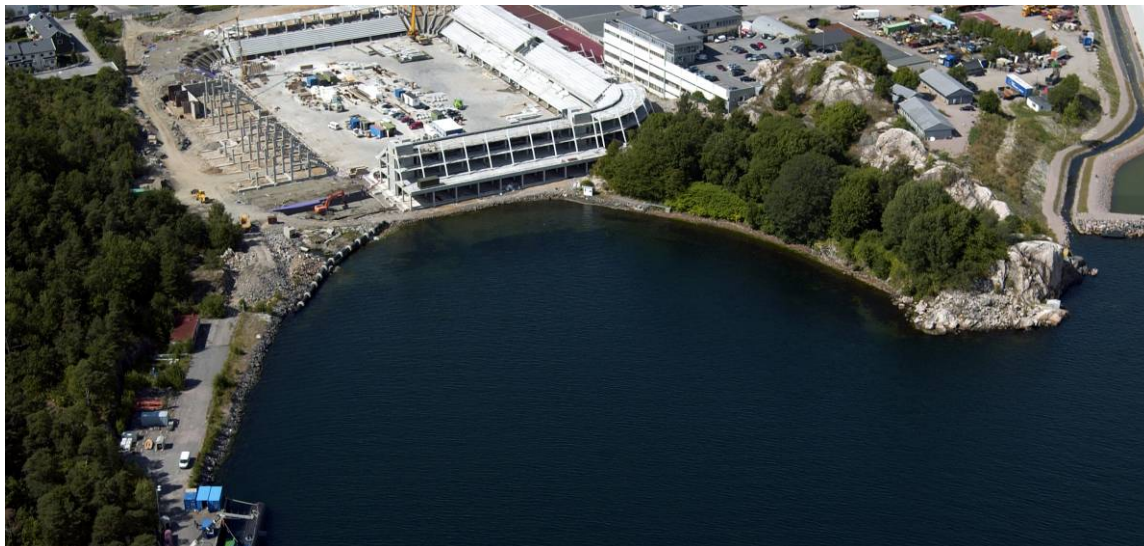
Figur 6.21, oversiktskart med Kongsgårdbukta, Torsvika og Marvika

Marvika ble etablert som orlogstasjon/marinebase helt på slutten av 1800-tallet og har således vært i bruk av Forsvaret i 100 år. På basen har det vært flere anlegg for landsetting og vedlikehold av fartøy. Det er bygninger der det har vært verksteddrift knyttet til fartøy, utstyr, våpen og kjøretøy. Flere forurensede lokaliteter ble identifisert på land.



Figur 6.22., foto fra indre del av Marvika. Ubåtbase utenfor bildet. Foto: Tor Kviljo, Fylkesmannen.

I Torsvika, like nord for Marvika, har det også vært drevet avfallsdeponi. Deponiet var hovedsakelig i bruk på 1950- og 60-tallet. Det ble senere anlagt treningsbaner for ballspill på toppen av deponiet. Her er det i 2005/2006 etablert ny fotballstadion.



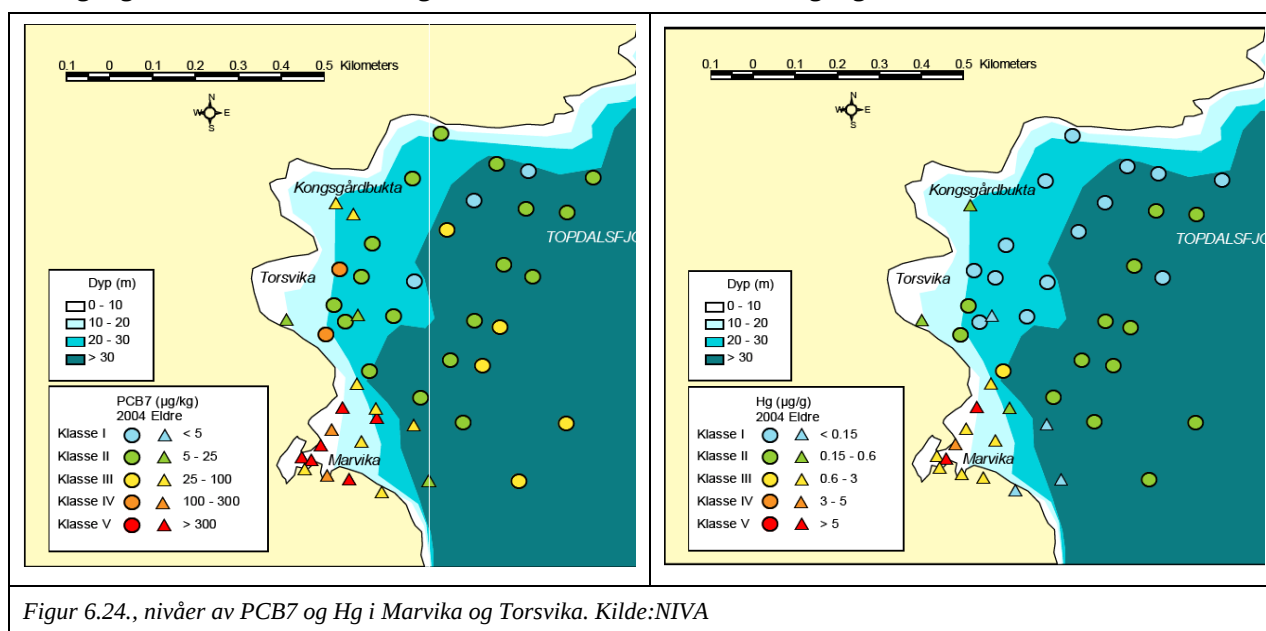
Figur 6.22., foto fra Torsvika 2006. Bygging av ny stadion pågår. Foto: Tor Kviljo, Terrateknikk

### 6.5.2 Miljøforhold før tiltak

#### Marvika:

På land ble det påvist flere områder med forurenset grunn, og høye nivåer av olje, PAH, TBT, PCB og tungmetallene bly, kobber, sink, kadmium og kvikksølv. Det ble beregnet at 5 000 m<sup>3</sup> jordmasse var forurenset av disse stoffene.

Sedimentene i Marvika er sterkt til meget sterkt forurenset av bl.a. miljøgiftene PCB, TBT, PAH, B(a)P, Pb og Hg. Det vises her bl.a. til figur 6.24, hvor nivåene for PCB og Hg er vist.



Figur 6.24., nivåer av PCB7 og Hg i Marvika og Torsvika. Kilde:NIVA

Torsvika:

Miljøtekniske undersøkelser viste at grunnen inneholdt høye nivåer av tungmetaller, PAH, plantevernmidler og olje. Nivåene var så høye at videre bruk av området som treningsbaner for ballspill kunne medføre helsemessig risiko.

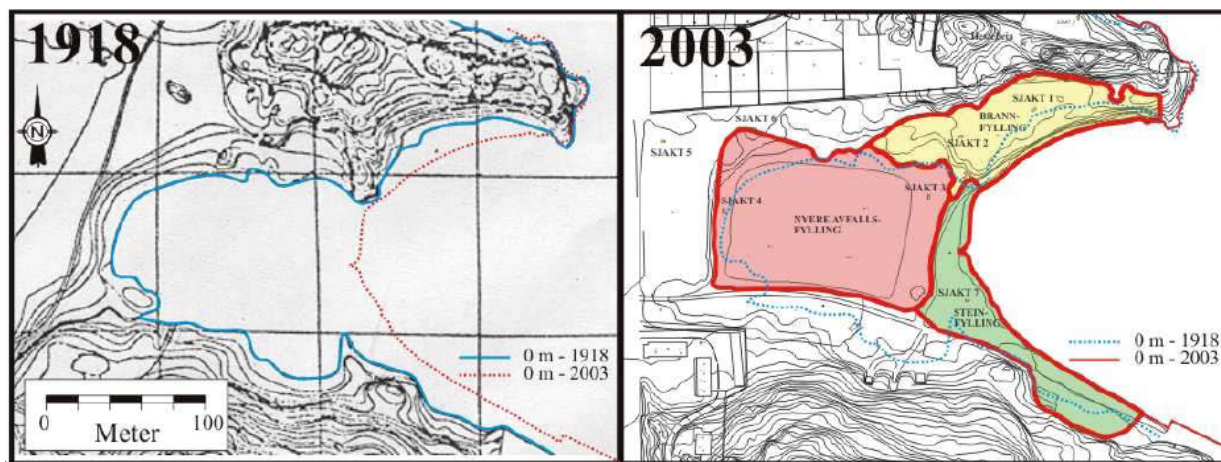
**6.5.3 Forurensningskilder**Marvika

Forurensning i Marvika skyldes Forsvarets virksomhet i området. Noe kan skyldes direkte virksomhet i bukta, mens annet er forårsaket av indirekte utslipp fra slippområder og virksomhet på land. Deler av basen ligger på steinfylling.

Selv om Forsvarets virksomhet i Marvika ble avsluttet for en del år siden, viste sedimentundersøkelsene at det sannsynligvis ble tilført "fersk" forurensning til bukta. Kilden til dette ble vurdert å være avrenning og utlekking fra forurensede områder på land.

Torsvika:

Forurensning i området skyldes kommunale avfallsdeponier. Strandlinje i bukta gikk opprinnelig ca 150 meter lenger inn, hele dette området er fylt ut med avfall og løsmasser. Utfylling har skjedd etter 1945, og i hovedsak på 1950- og 60-tallet. I tillegg har det vært drevet brannfylling i nordre del av bukta.



Figur 6.25, kart som viser deponiområdet i Torsvika. Kilde: Sørlandskonsult.

**6.5.4 Gjennomførte tiltak**Marvika:

All kjent forurensning på land er fjernet ved masseutskiftning med unntak av noe som ligger utilgjengelig, under bygg, i kabeltraseer. Det er til sammen fjernet 5100 m<sup>3</sup> forurenset masse, som er levert til godkjent deponi. Grunnforurensning vil derfor ikke påvirke bruken av området, f. eks. til boliger eller rekreasjon, og skal heller ikke påvirke forholdene i sjøen.

Torsvika:

I tilknytning til utbygging av ny stadion, er det gjennomført tiltak for å stanse eventuell utlekking til sjø. Deler av deponiet er fjernet, og levert til godkjent avfallsdeponi. For andre deler er det gjennomført sikringstiltak (innkapsling) på stedet.

Sedimenter:

Det er planlagt og prosjektert et omfattende oppryddingsprosjekt for forurensede sedimenter på sjøbunnen utenfor Marvika og Torsvika. Tiltaket er foreløpig ikke gjennomført.

**6.5.5 Gjennomføring og fremdrift**

Tiltak på land er gjennomført i samsvar med vedtatte planer, og utlekking til sjø fra kilder på land er stanset.

Planene om opprydding i sedimentene, med en prinsippløsning om bruk av sugemudring og innpumping/levering til strandkantdeponi i Kongsgårdbukta, er foreløpig ikke gjennomført. Dette oppdraget er lagt ut på anbud to ganger, uten at det har kommet relevante tilbud på gjennomføring.

Oppryddingstiltak i sedimentene planlegges nå med oppstart vinteren 2007/2008.

**6.5.6 Etterkontroll og resultater**

P.g.a. forsinkelsene i prosjektet, har det ikke blitt foretatt etterkontroll.

**6.6 Opprydding i småbåthavner**

Tiltakshaver: Kristiansand kommune (havn)

Utførende entreprenør(er): Agder Marine

Henvising referanser: Kap 10, referansenr 11, 12, 13 og 14.

**6.6.1 Områdebeskrivelse**Auglandsbukta:

Småbåthavna ligger i Vågsbygd ca 4 km sørvest for Kristiansand sentrum. Havna ble etablert i 1954, utvidet i 1966 og har ca 560 båtplasser. Det går to overvannsledninger ut gjennom bukta, en fra hver av de innerste vikene. I vika i nord (nederst i bildet) munner det ut et mindre vassdrag.

Deler av landarealene benyttes til opplag og parkering.



Figur 6.26. Oversiktsfoto Auglandsbukta. Foto: Tor Kviljo

### Christianholm:

Småbåthavna ligger i sentrum av Kristiansand, rett utenfor Kvadraturen og like ved Bystranda. Moloen i havna ble bygget på slutten av 1950-tallet, men havnen har vært benyttet som båthavn også flere tiår før dette. Havna har i dag ca 420 båtplasser.

Det er parkering og opplagsplass for en del av båtene i tilknytning til havna.



Figur 6.27. Oversiktsfoto Christianholm. Foto: Tor Kviljo

### Justvik:

I tillegg til de to store havnene beskrevet foran, har det vært gjennomført mudring i en mindre båthavn på vestsida av Topdalsfjorden, ca 6 km nordøst for Kristiansand sentrum. Denne havna er fra 1985 og har ca 150 båtplasser. Det har vært et sagbruk like nord for havnen. Et vassdrag/bekk munner ut nordvest i bukta.

### 6.6.2 Miljøforhold før tiltak

I alle småbåthavnene ble det før mudring gjennomført kartlegging av miljøgiftinnholdet i sedimentene, med uttak av prøver i ulike snitt av kjernene (sedimenttyp).

#### Auglandsbukta:

Sedimentene i Auglandsbukta var før mudring sterkt til meget sterkt forurensset av organiske miljøgifter som PCB og PAH, og markert forurensset av en rekke tungmetaller. Utdrag av analyseresultater er vist i figur 6.28

Tabell 6.1b: Analyseresultater tungmetaller, TBT, PAH, benzo(a)pyren og PCB i bunnsedimenter.

|                       |             | PR.11       | PR.13      | PR.18       | PR.19      | PR.20       |
|-----------------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                       |             | 0-5 cm      | 0-5 cm     | 0-5 cm      | 0-5 cm     | 0-5 cm      |
| Kote                  |             | -1,7        | -0,6       | -2,1        | -0,9       | -5,3        |
| Tørrestoff            | %           | 25,9        | 33,2       | 28,3        | 28,9       | 27,5        |
| <63 µm                | %           | **          | **         | 21          | **         | 48          |
| TOC                   |             | 75000       | 160000     | 67000       | 89000      | 108000      |
| As                    | mg/kg<br>TS | 16 (I)      | 5,4 (I)    | 19 (I)      | 19 (I)     | 31 (II)     |
| Pb                    |             | 96 (II)     | 56 (II)    | 110 (II)    | 170 (III)  | 120 (II)    |
| Cd                    |             | 0,93 (II)   | 0,63 (II)  | 0,67 (II)   | 0,93 (II)  | 0,76 (II)   |
| Cr                    |             | 45 (I)      | 32 (I)     | 39 (I)      | 41 (I)     | 53 (I)      |
| Cu                    |             | 470 (III)   | 150 (II)   | 420 (III)   | 350 (III)  | 540 (III)   |
| Hg                    |             | 0,965 (III) | 0,172 (II) | 0,636 (III) | 0,381 (II) | 0,945 (III) |
| Ni                    |             | 390 (III)   | 62 (II)    | 410 (III)   | 190 (III)  | 440 (III)   |
| Zn                    |             | 90 (II)     | 300 (II)   | 200 (II)    | 1700 (III) | 230 (II)    |
| TBT                   |             | 240 (V)     | 810 (V)    | 280 (V)     | 630 (V)    | 410 (V)     |
| B(a)P                 |             | 500 (IV)    | 380 (IV)   | 1200 (V)    | 4800 (V)   | 1600 (V)    |
| ΣPAH <sub>16</sub>    | µg/kg<br>TS | 5800 (III)  | 6300 (IV)  | 14000 (IV)  | 260000 (V) | 21000 (V)   |
| ΣPCB <sub>7</sub>     |             | 77          | 36         | 47          | 39         | 59          |
| ΣPCB <sub>tot</sub> * |             | (IV)        | (III)      | (III)       | (III)      | (IV)        |

Klassifisert etter SFT-veiledning 97.03. SFTs tilstandsklasser:

- I = Ubetydelig - Lite forurensset  
 II = Moderat forurensset  
 III = Markert forurensset  
 IV = Sterkt forurensset  
 V = Meget sterkt forurensset



Figur 6.28., utdrag av analyseresultater fra Auglandsbukta før mudring.

#### Christianholm:

Sedimentene i Christianholm var før mudring sterkt til meget sterkt forurensset av organiske miljøgifter som PCB og PAH, til dels også av kvikksølv. I tillegg var havna forurensset av en rekke tungmetaller. Utdrag av analyseresultater er vist i figur 6.29

Tabell 7.1: Analyseresultater tungmetaller, TBT, PAH, benzo(a)pyren og PCB i bunnsedimenter.

|                       |             | PR.1       | PR.4       | PR.9        |            |            | PR.10     | PR.14       | PR.15      |           |
|-----------------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|
|                       |             | 0-5 cm     | 0-5 cm     | 20-30 cm    | 0-5 cm     | 30-40 cm   | 40-50 cm  | 0-5 cm      | 0-5 cm     | 0-2 cm    |
| Kote                  |             | -1,5       | -1,4       |             | -1,6       |            | -1,3      | -2,2        | -4,3       |           |
| Tørrestoff            | %           | 32,3       | 55,5       | 72,8        | 74,7       | 78,8       | 80,3      | 62,8        | 75,5       | 94,3      |
| <63 µm                | %           | 51         | 13         | 20          | 3          | <1         | <1        | 13          | 7          | <1        |
| TOC                   |             | 69000      | 33000      | 42000       | 6000       | 2000       | 3000      | 18000       | 4000       | 1000      |
| As                    | mg/kg<br>TS | 15 (I)     | 7,0 (I)    | 3,7 (I)     | 2,0 (I)    | 1,3 (I)    | 1,4 (I)   | 5,4 (I)     | 1,5 (I)    | 1,7 (I)   |
| Pb                    |             | 350 (III)  | 110 (II)   | 64 (II)     | 25 (I)     | 18 (I)     | 13 (I)    | 61 (II)     | 14 (I)     | 1,4 (I)   |
| Cd                    |             | 0,87 (II)  | 0,40 (II)  | 0,29 (II)   | <0,07 (I)  | <0,06 (I)  | 0,062 (I) | 0,16 (I)    | <0,07 (I)  | <0,05 (I) |
| Cr                    |             | 39 (I)     | 14 (I)     | 11 (I)      | 5,6 (I)    | 3,6 (I)    | 3,1 (I)   | 10 (I)      | 4,9 (I)    | 1,9 (I)   |
| Cu                    |             | 490 (III)  | 100 (II)   | 130 (II)    | 28 (I)     | 15 (I)     | 9,6 (I)   | 74 (II)     | 16 (I)     | 1,6 (I)   |
| Hg                    |             | 5,3 (V)    | 2,0 (III)  | 0,646 (III) | 0,442 (II) | 0,266 (II) | 0,15 (I)  | 0,939 (III) | 0,185 (II) | 0,007 (I) |
| Ni                    |             | 96 (II)    | 51 (II)    | 27 (I)      | 16 (I)     | 9,9 (I)    | 6,6 (I)   | 40 (II)     | 10 (I)     | 1,5 (I)   |
| Zn                    |             | 520 (II)   | 240 (II)   | 270 (II)    | 29 (I)     | 28 (I)     | 25 (I)    | 180 (I)     | 30 (I)     | 8,8 (I)   |
| TBT                   |             | 1400 (V)   | 75 (IV)    | 25 (IV)     | 59 (IV)    | 9,0 (III)  | 12 (III)  | 77 (IV)     | 25 (IV)    | 1,1 (II)  |
| B(a)P                 |             | 3100 (V)   | 2000 (V)   | 2900 (V)    | 200 (III)  | 280 (IV)   | 880 (V)   | 3200 (V)    | 1700 (V)   | <10 (I)   |
| ΣPAH <sub>16</sub>    | µg/kg<br>TS | 56000 (IV) | 23000 (IV) | 34000 (V)   | 2500 (III) | 4100 (III) | 15000 (V) | 38000 (V)   | 25000 (V)  | <200 (I)  |
| ΣPCB <sub>7</sub>     |             | 217        | 25         | 14          | 8          | <4         | 143       | 33          | 27         | <4        |
| ΣPCB <sub>tot</sub> * |             | (V)        | (III)      | (III)       | (II)       | (I)        | (IV)      | (III)       | (III)      | (I)       |

\* Tilstandsklassene for PCB bestemmes ut fra innhold av total PCB (ref. SFT-veileder 97.03 "Klassifisering av miljøvalnitter i fjorder og kystfarvann")

Klassifisert etter SFT-veiledning 97.03. SFTs tilstandsklasser:

- I = Ubetydelig - Lite forurensset  
 II = Moderat forurensset  
 III = Markert forurensset  
 IV = Sterkt forurensset  
 V = Meget sterkt forurensset



Figur 6.29, utdrag av analyseresultater fra Christianholm før mudring.

Justvik:

Sedimentene i Justvik var vesentlig mindre forurensset enn i de to store havnene, og kunne bare karakteriseres som meget sterkt forurensset av TBT. Forurensning av øvrige parametre ble havna stort sett definert som markert forurensset (kl III).

**6.6.3 Forurensningskilder**Auglandsbukta:

Båthavna har vært i drift i mer enn 50 år, og mye av sedimentforurensningen skyldes driften av denne. I tillegg har havna blitt tilført forurensning via vassdrag som munner i havnas nordvestre del, samt via avrenning fra trafikkarealer. Båthavna ligger også i et område med sterk industriforurensning. Det antas at høye PAH-nivåer for en stor del skyldes tilførsler fra Elkem, og undersøkelser tyder også på at Falconbridge har vært hovedkilde til høye nivåer av HCB. Før tiltak startet var det også påvist høyere nivåer av disse stoffene utenfor båthavna enn innenfor.

Det har tidligere lagt en marina ytterst på søndre del av kaianlegget som kan ha bidratt til forurensning. Denne ble nedlagt tidlig på 1980-tallet. I tillegg ligger det en bensinstasjon innerst i bukta.

Christianholm:

Denne båthavna har vært i drift i minst 70-80 år, og etter at molo ble etablert for 50 år siden har vannutskiftningen vært betydelig redusert. Det har tidligere lagt en marina på arealet sentralt i havna, denne ble nedlagt tidlig på 1980-tallet. For øvrig er det ingen kjente eksterne forurensningskilder. Det antas derfor at drift tilknyttet båthavna er hovedkilde til forurensning i området.

Justvik:

Havna har vært relativt kort tid i drift, og det er ingen kjente forurensningskilder til miljøgifter utover havnedriften.

Grunnundersøkelser.

Det er gjennomført undersøkelser av grunnforurensning på land i Auglandsbukta og Christianholm. Analyseresultatene og forenklet risikovurdering viser at SFTs normverdier for mest følsomt arealbruk overskrides mht. cyanid i begge havnene, og pentaklorfenol, tungmetaller og PCB hovedsakelig i Christianholm. Overskridelsene er imidlertid små, og vurdert slik at det er liten risiko for spredning.

**6.6.4 Gjennomførte tiltak**

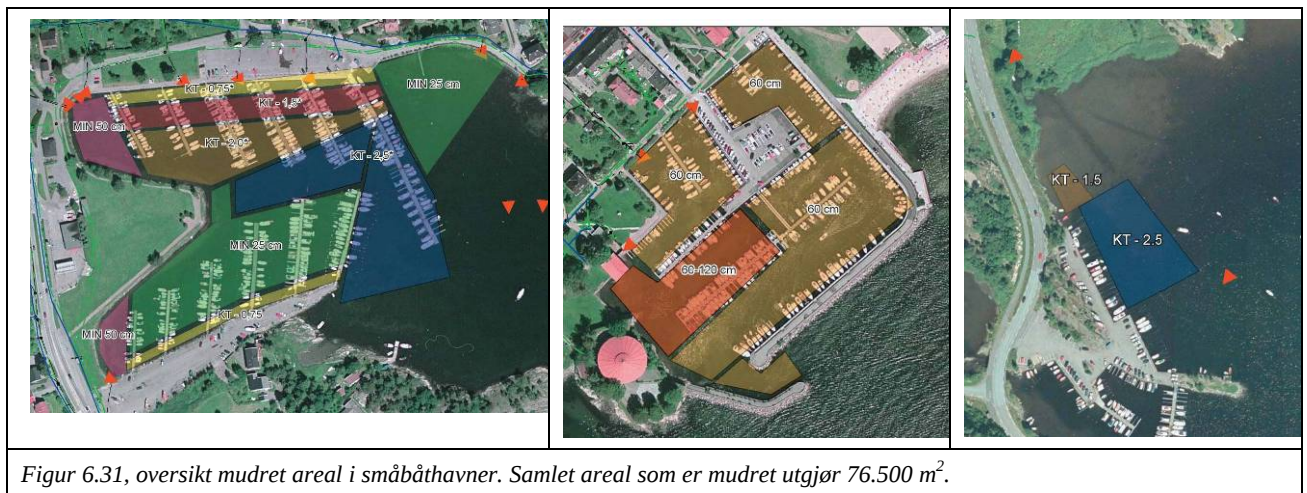
Det er ryddet opp i alle havnene ved hjelp av sugemudring. Alle mudringsmassene er levert til strandkantdeponi i Kongsgårdbukta.

Det er til sammen mudret mellom 41.000 og 47.000 m<sup>3</sup> sediment i småbåthavnene. Den endelige avregningen av volum er avhengig av hvilken metodikk for volumkontroll som benyttes.



Figur 6.30. Komatsu mudringsenhet i arbeid i Auglandsbukta

Mudredyp i havnene varierer. På grunnlag av innledende kartlegging av sedimentene ble nødvendig mudredyp for å fjerne miljøgiftene beregnet. Behovet varierte mellom 20 og 50 cm. P.g.a. behov for større seilingsdyp, ble det i flere delområder mudret vesentlig mer enn dette. Oversikt over mudret areal er vist på etterfølgende kart.



Figur 6.31, oversikt mudret areal i småbåthavner. Samlet areal som er mudret utgjør 76.500 m<sup>2</sup>.

### 6.6.5 Gjennomføring og fremdrift

Det har vært svært store forsinkelser ved gjennomføring av oppryddingsarbeidet. Forsinkelsene skyldes i stor grad problemer med is i vintersesongen, og at det i de to store havnene ble registrert vesentlig større mengder skrot enn antatt før oppryddingsarbeidet startet. Skrotet bestod av store gjenstander som bildekk, handlevogner og bilbatterier. I tillegg ble det påtruffet mye stein og trestokker. I Christianholm støtte entreprenøren også på mer hardpakke sedimentene enn forventet.



Figur 6.32, fotos som illustrerer problemer med mudrearbeidet. Øverst isproblemer og skrot. Nederst harv som ble benyttet til rydding av sjøbunn, og rotor med kniver som ble benyttet ved sugemudringen. Alle foto: Agder marine.

#### 6.6.6 Etterkontroll og resultater

##### Auglandsbukta:

Opprinnelig miljømål for Auglandsbukta var satt til at sedimentene ikke skulle ligge høyere enn tilstandsklasse II for noen parametre. Dette målet er ikke nådd. Det er likevel oppnådd en betydelig miljøforbedring i sedimentene, med 80-90 % reduksjon av miljøgiftinnholdet for sentrale stoffer.

Etterfølgende figur viser gjennomsnittsnivå av sentrale miljøgifter for alle stasjoner før og etter mudring i Auglandsbukta. Analysene før mudring er tatt på snittet 0-5 cm, mens det etter mudring er tatt på 0-10 cm.

|                    |          | Snitt før mudring | Snitt etter mudring | %-vis reduksjon |
|--------------------|----------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Cd                 | mg/kg TS | 0,91              | 1,19                | -31             |
| Cu                 |          | 277               | 225                 | 19              |
| Hg                 |          | 0,60              | 0,49                | 18              |
| Ni                 |          | 199               | 137                 | 31              |
| TBT                | µg/kg TS | 524               | 72                  | 86              |
| B(a)P              |          | 1099              | 374                 | 66              |
| ΣPAH <sub>16</sub> |          | 36067             | 4740                | 87              |
| ΣPCB               |          | 79,6              | <7,2                | >91             |

Klassifisert etter SFT-veiledning 97.03.  
SFTs tilstandsklasser:

I = Ubetydelig - Lite forurenset  
II = Moderat forurenset  
III = Markert forurenset  
IV = Sterkt forurenset  
V = Meget sterkt forurenset



Figur 6.33, gjennomsnittsverdier og %-vis reduksjon av miljøgifter i Auglandsbukta før og etter mudring.

#### Christianholm:

Også miljømålet for Christianholm var satt til klasse II etter mudring. I likhet med i Auglandsbukta er dette målet ikke nådd, samtidig som det er oppnådd en betydelig reduksjon i innholdet av miljøgifter. Reduksjonen er her mindre enn i Auglandsbukta. Dette skyldes to forhold:

- to av stasjonene ligger i område hvor mudring er svært mangelfull pga gamle konstruksjoner på bunnen.
- det er ved etterkontroll støtt på en dyp lokal "hot-spot" hvor f.eks. PAH er målt til 110.000 µg/kg TS

Gjennomsnittresultatet er vist i figur 6.34.

|                    |          | Snitt alle før mudring | Snitt alle etter mudring | %-vis reduksjon |
|--------------------|----------|------------------------|--------------------------|-----------------|
| Cd                 | mg/kg TS | 0,27                   | 0,70                     | -159            |
| Cu                 |          | 118,3                  | 100,6                    | 15              |
| Hg                 |          | 1,48                   | 2,1                      | -42             |
| Ni                 |          | 35,8                   | 28,8                     | 20              |
| TBT                | µg/kg TS | 272,9                  | 53,5                     | 80              |
| B(a)P              |          | 1702                   | 1402                     | 18              |
| ΣPAH <sub>16</sub> |          | 24117                  | 17950                    | 26              |
| ΣPCB               |          | 104,7                  | 77,3                     | 26              |

Klassifisert etter SFT-veiledning 97.03.  
SFTs tilstandsklasser:

I = Ubetydelig - Lite forurenset  
II = Moderat forurenset  
III = Markert forurenset  
IV = Sterkt forurenset  
V = Meget sterkt forurenset



Figur 6.34, gjennomsnittsverdier og %-vis reduksjon av miljøgifter i Christianholm før og etter mudring.

#### Justvik:

Etterkontrollen viser at tidligere høye nivåer av Cd og PAH redusert til lite/moderat forurenset, mens TBT er redusert fra meget sterkt forurenset til markert forurenset (fra klasse V til klasse III).

| Stasjon            |          | 1     | 6       | 2      |         | 3      |         |
|--------------------|----------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|
| Årstall            |          | 2000  | 2007    | 2005   | 2007    | 2005   | 2007    |
| Sediment-intervall |          | >2 cm | 0-10 cm | 0-2 cm | 0-10 cm | 0-5 cm | 0-10 cm |
| Tørrstoff          | %        | 27,9  | 23,5    | 71,3   | 25,5    | 25,9   | 25,7    |
| <63 µm             |          |       | 44,41   | 18     | 92,67   | **     | 80,48   |
| TOC                |          |       | 7,0     | 2,1    | 5,8     | 13,4   | 4,9     |
| As                 | mg/kg TS |       | <5,0    | 1,4    | <5,0    | 9,7    | <5,0    |
| Pb                 |          | 46    | 18      | 9,3    | 14      | 38     | 17      |
| Cd                 |          | 0,6   | 0,51    | 0,22   | <0,50   | 1,3    | 0,58    |
| Cr                 |          |       | 19      | 4,8    | 22      | 22     | 22      |
| Cu                 |          | 36    | 24      | 6,0    | 27      | 30     | 24      |
| Hg                 |          | 0,08  | 0,21    | 0,024  | 0,16    | 0,151  | 0,08    |
| Ni                 |          |       | 16      | 5,8    | 16      | 23     | 17      |
| Zn                 |          |       | 91      | 50     | 93      | 180    | 96      |
| TBT                |          | 61    | 12      | 5,0    | 8,8     | 150    | 14      |
| B(a)P              | µg/kg TS | 36    | 11      | 30     | <50     | 80     | 35      |
| ΣPAH <sub>16</sub> |          | 580   | 180     | 340    | <50*    | 110    | 450     |
| HCB                |          |       | i.d.    |        | i.d.    |        | i.d.    |
| ΣPCB               |          | i.d.  | i.d.    | i.d.   | i.d.    | 12     | i.d.    |

i.d. = ikke påvist over deteksjonsgrense

\* sum PAH ble ikke detektert. Data er deteksjonsgrense for hver type PAH

\*\* For lite provemateriale til å bestemme finstoffinnhold

Klassifisert etter SFT-veiledning 97:03. SFTs tilstandsklasser:

- I = Ubetydelig - Lite forurenset  
 II = Moderat forurenset  
 III = Markert forurenset  
 IV = Sterkt forurenset  
 V = Meget sterkt forurenset



Figur 6.35, nivå av miljøgifter før og etter mudring i Justvik.

## 6.7 Tiltak ved Elkem Fiskå

Tiltakshaver: Elkem

Utførende entreprenør(er): Hovedsak egen regi

Henviing referanser: 23, 24, 25, 26, 31 og 32

### 6.7.1 Områdebeskrivelse

Tiltaksområdet omfatter hele Elkem-området, samt sjøbunn utenfor. Tiltaksområdet ligger i direkte tilknytning til bedriftsområdet til Elkem, og strekker seg i prinsippet så langt ut i fjorden som det påvises skadelig miljøpåvirkning fra Elkem.

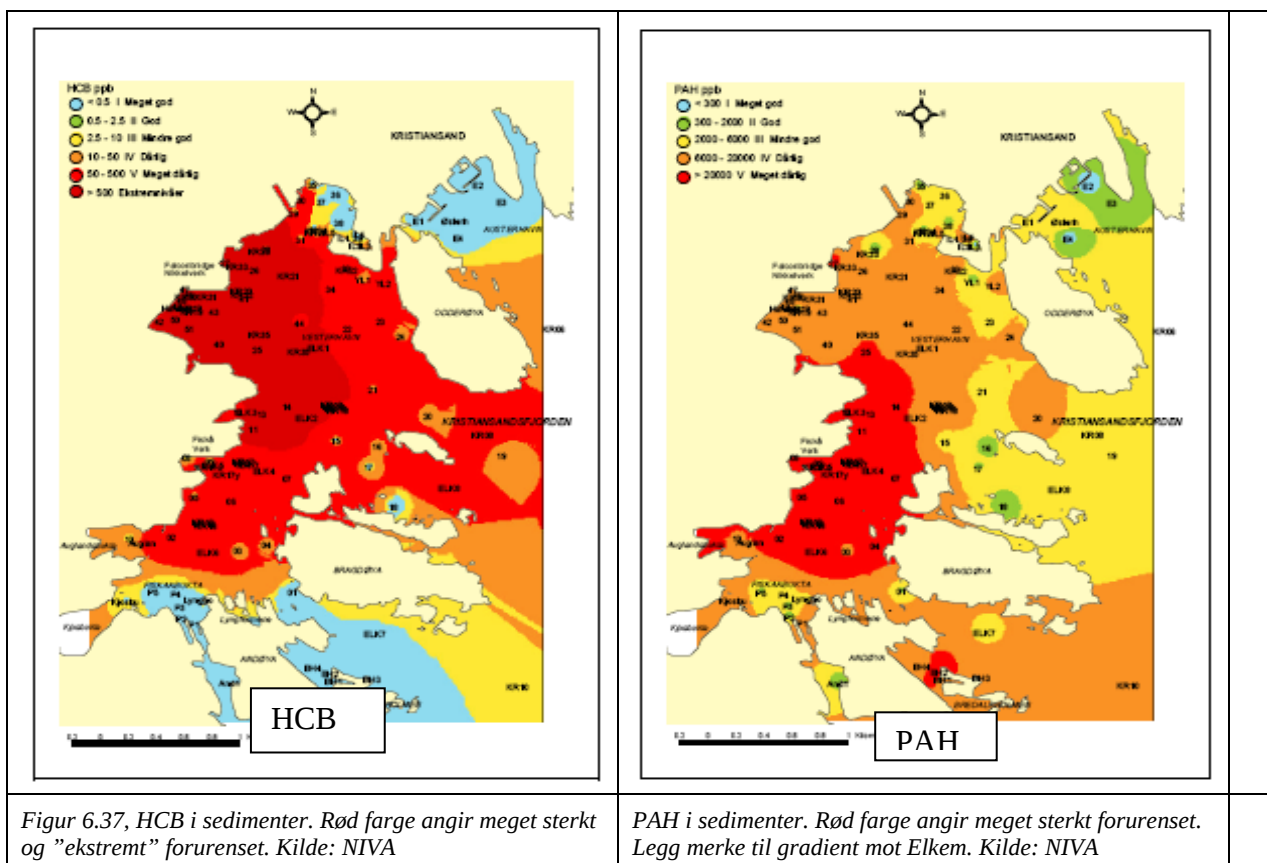
Foto i figur 6.36 under viser Elkems bedriftsområde og kai. Bygninger nederst i venstre billedkant ligger på Lumber industriområde, Falconbridge nikkelverk bak til høyre. ”Elkembukta” er området i forkant av kaia.



Figur 6.36, foto fra Elkems bedriftsområde. Foto: Tor Kviljo, Terrateknikk

### 6.7.2 Miljøforhold før tiltak

Sedimentene utenfor bedriftsområdet er meget sterkt forurensset av flere typer miljøgifter. Med utgangspunkt i SFTs klassifiseringssystem er det meget sterk PAH-forurensning, og sterkt til meget sterk forurensning av HCB, dioksin og flere tungmetaller.



Gjennomførte toksisitetstester viser særlig giftighet bare av sedimentene i "Elkem-bukta", hvor de har en miljømessig kvalitet som medfører at organismer oppfatter dem som ugunstige å leve i. Lenger ute i Fiskaabukta (sta K17), er det en forholdsvis artsrik bløtbunnsfauna med noe nedsatt arts mangfold. Sammenlignet med tilsvarende prøver som ble tatt i 1983, var tilstanden klart forbedret.

#### **6.7.3 Forurensningskilder**

Det er flere bedrifter på området til Elkem. Utslipp til sjø fra Elkem Fiskaa og Elkem Carbon har vært kilder til PAH-forurensning av sedimentene i Elkem-bukta og Fiskåbukta, og utslipp fra Elkem Carbon har fortsatt betydning. Det er grunn til å tro at Elkem-bedriftene er hovedkilde til PAH-forurensning i store deler av det øvrige fjordområdet. Det vises her til "PAH-kart" i figur 6.37 foran.

Området til Elkem har vært benyttet til industriformål i mer enn 100 år, og store deler av bedriftsområdet ligger på fylling i sjø. Tomten bærer derfor preg av tidligere tiders industrivirksomhet mhp grunnforurensning.

Annen industri, og da hovedsakelig Xstrata Falconbridge nikkelverk er antagelig hovedkilde for den øvrige sedimentforurensningen i Elkems nærområde.

#### **6.7.4 Gjennomførte tiltak**

Før kartlegging av sedimentforhold ble gjennomført i 2001, og gamle data ble systematisert på oppdrag fra Fylkesmannen, var verken bedriften eller de nåværende myndighetene oppmerksom på PAH-utslippet via vann som ble tilført fjordsystemet fra Elkems anlegg i Kristiansand. Basert på et marginalt antall målinger beregnet bedriften i samarbeid med NIVA (i 2001) PAH -tilførslene til å være minimum 6-700 kg/år. Utslippene kan også ha vært en del større enn dette. Elkem har derfor hatt fokus på kartlegging og reduksjon av PAH-utslippet via prosessvannet til fjorden, samt gjennomført risikovurderinger av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand.

Elkem gjennomførte også en kartlegging og skalering av samtlige PAH-kilder i nærområdet. Denne viser at PAH i sedimentene i bukta er meget sterkt partikkelbundet (bundet til sot), og at det er liten risiko for spredning av PAH fra den såkalte "Elkem-bukta" til fjordområdet utenfor. Direkteutslippet av PAH i prosessvannet utgjorde den klart største kilden til spredning av PAH utover i fjorden.

For å redusere PAH-utslippene fra Elkem Carbon har det vært gjennomført separering av vannstrømmer og prosessomlegginger, bl.a. resirkulering, kjøling og intervallstyring av kjølevann. Utslippet av PAH til sjø er pr 2007 redusert vesentlig, og Elkem Carbon har nå konsesjon på utslipp av 20 kg PAH<sub>16</sub> pr år. Det er engasjert ekstern rådgiver, og prosjektet er enda ikke avsluttet.

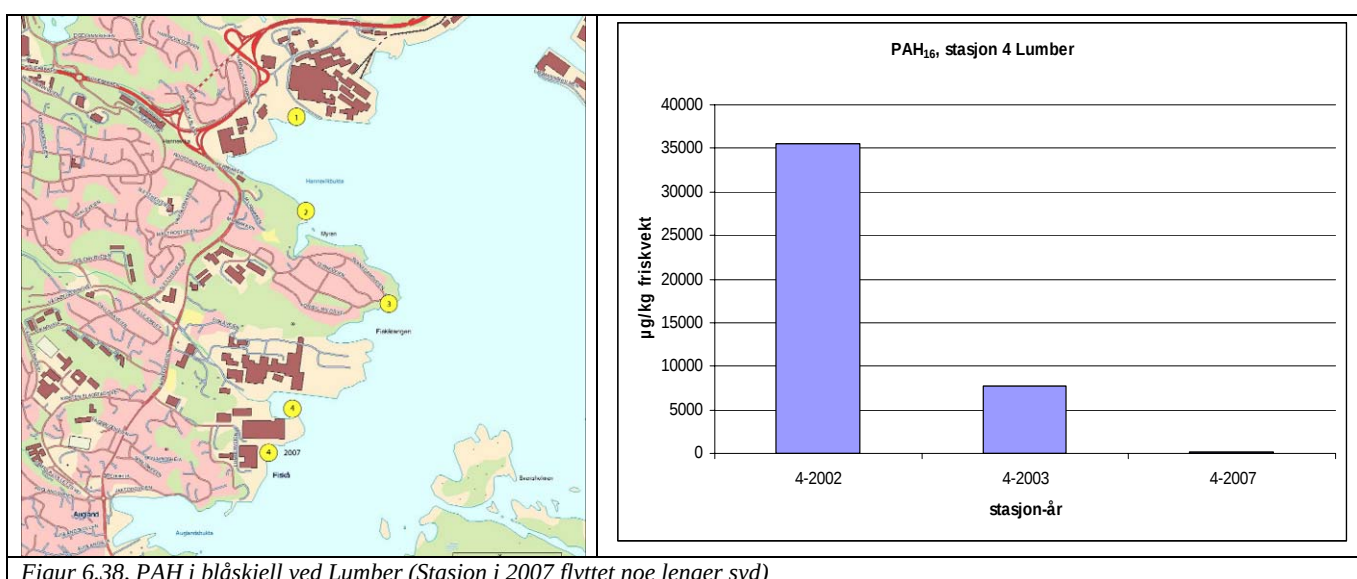
I tilknytning til utbygginger på Elkems område i 2007 er det foretatt masseutskiftning av forurenset grunn under deler av nybyggene. Forurenset masse er levert til godkjent deponi.

#### **6.7.5 Gjennomføring og fremdrift**

Målinger pågår enda og det kommer en rapport i desember 2007 på status i arbeidet med å redusere PAH til sjø. Ellers er tiltakene over gjennomført og avsluttet.

### 6.7.6 Etterkontroll og resultater

Planlagte tiltak for å redusere PAH-utslipp fra bedriften er nå slutført og følges opp løpende. Bedriften er nå en samarbeidspartner i et overvåkingsprogram av Kristiansandsfjorden som utføres av NIVA på oppdrag av Fylkesmannen. I tilknytning til dette programmet er det i 2006/2007 gjennomført overvåking av miljøgifter i blåskjell. Denne viser en betydelig reduksjon av PAH-konsentrasjonene i blåskjell fra 2002 til 2007, jfr figur 6.38. Det gjøres oppmerksom på at stasjonen i 2007 pga manglende funn av blåskjell ble flyttet litt syd for Elkembukta. Imidlertid viste tilsvarende undersøkelse i 2006 på stasjon Fiskaatangen samme tendens, med sum PAH16 på 512 mikrogram/kg. For BaP (Benzo(a)Pyren) er det observert en reduksjon fra 3100 µg/kg i 2002 til 7,2 µg/kg i 2007. Disse resultatene tyder på at det har vært vesentlige utslippsreduksjoner av PAH til vann i perioden 2002 til 2007.



Figur 6.38, PAH i blåskjell ved Lumber (Stasjon i 2007 flyttet noe lenger syd)

NIVAs undersøkelser av fjorden viser at sedimentene i Fiskåbukta fortsatt er meget sterkt forurensset av PAH. Resultatene fra PAH-analysene viser at det ikke har vært endring i konsentrasjonen i overflatesedimentet på stasjonen i Fiskåbukta fra 1996 til 2006. Disse dataene tyder på at utslippsreduksjoner fra bedriften har påvirket sedimentkonsentrasjonene i mindre grad enn det gjør i vannmasser som filtreres av blåskjell.

### 6.8 Andre gjennomførte tiltak

Parallelt med gjennomføring av Pilotprosjektet, er det utført oppryddingstiltak i flere andre områder i Kristiansand. Da disse dels har benyttet seg av tilbud etablert i fbm Pilotprosjektet, og dels har bidratt til å redusere den totale miljøgiftbelastningen på fjordområdet, gis disse en kort omtale.

Gravanekanalene: Ved bygging av nytt Teater og konserthus ved kanalen mellom Østre og Vestre Havn, er det gjennomført oppryddingstiltak både på land (forurensset grunn) og i sjø. I kanalen er det mudret opp 6.600 m<sup>3</sup> middels til sterkt forurensede sedimenter, som er levert til strandkantdeponiet.

Ferjeterminal: Kristiansand Havn har utført sedimenttiltak i fbm utvidelse av ferjepir. Det er mudret opp ca 3.100 m<sup>3</sup> middels til sterkt forurensede sedimenter, som er levert til strandkantdeponi. I tillegg er ca. 4,1 daa sjøbunn dekket med betongmadrasser for å hindre fremtidig erosjon.

Narviga: I forbindelse med anlegg av nytt kryss på E 18, med avkjørsel til Vige og Kongsgårdbukta, er det mudret ca. 1000 m<sup>3</sup> sterkt forurensede sedimenter som er levert til strandkantdeponiet.

Holskogen industriavfalls plass: Det er gjennomført omfattende miljøsikringstiltak på nedlagt industriavfalls plass i Holskogen. Deponiet har dels hatt avrenning vis Sagbekken til Kjosbukta/Fiskåbukta, dels vært tilknyttet offentlig avløpsnett. Ved gjennomføring av sikringstiltakene har det vært behov for å arrondere øverste del av deponiet på nytt, dette har gitt mulighet til å ta imot forurensede løsmasser fra opprydding i forurenset grunn. Ved opprydding både i Kongsgårdbukta, Torsvika, Tangen og Bredalsholmen er det levert forurensede løsmasser til deponiet.

Tangen, grunnforurensning: Det gjennomføres oppryddingstiltak på Tangen ved utløpet av Otra. I området har det vært skipsverft, kommunal avfalls plass og gassverk. To av lokalitetene er inne på SFTs grunnforurensningsbase som B-liste-lokaliteter. Tiltak pågår, og er knyttet til utbygging av området.

Kjøita, grunnforurensning: Det er gjennomført oppryddingstiltak i forurenset grunn på Kjøita (treimpregnering). Den delen som inngår som B-liste-lokalitet er sanert, og forurensede løsmasser levert til deponi. Det pågår opprydding i forurenset grunn i områder tilknyttet lokaliteten.

## **7 Erfaringer med overvåking og etterkontroll**

I pilotprosjektet i Kristiansand er det lagt stor vekt på utprøving av tiltak og dokumentasjon av effekter. Erfaringene tyder imidlertid at det kan være nødvendig å øke ressursbruken ytterligere for at man med rimelig grad av sikkerhet skal kunne trekke konklusjoner om resultater av tiltakene. I tillegg er det en erfaring at miljømålene som er benyttet er preget av at det på oppstartstidspunktet var liten erfaring med målsettinger for denne type tiltak.

Det er benyttet ulike metoder for etterkontroll i de ulike delprosjektene. Det gis her en kort beskrivelse av de viktigste metodene som er benyttet i delprosjektene. I tillegg til denne overvåkingen er det gjennomført en omfattende undersøkelse av miljøtilstanden i fjorden. Rapport fra dette er under arbeid.

Like viktig som etterkontroll er en grundig dokumentasjon av tilstanden før tiltak startes, og at det benyttes sammenlignbare metoder for for- og etterundersøkelser.

Ved valg av metoder for overvåking og etterkontroll anbefales det på forhånd å ha definert suksesskriterier og miljømål for arbeidet, og tilpasse metoder for overvåking og etterkontroll til suksesskriteriene.

Metoder for overvåking og etterkontroll i de ulike delprosjektene er drøftet med forurensningsmyndighetene før oppstart, og bygger i det vesentligste på vilkår i tillatelser.

### **7.1 Overvåking av tiltak under arbeid**

De fleste typer oppryddingstiltak vil kunne medføre risiko for oppvirvling og spredning av forurenset sediment under arbeidet. Det er derfor i de fleste prosjektene satt vilkår om overvåking av dette i anleggsperioden.

I Kristiansandsfjorden har overvåking i anleggsperioden stort sett vært gjennomført ved bruk av turbiditetsmålere og/eller ved bruk av sedimentfeller. Overvåkingen har ikke avdekket overskridelser i forhold til fastsatte avviks-/akseptkriterier.

Selv om overvåkingen ikke har avdekket overskridelser, har det vært uhell under anleggsarbeid som kan ha medført til dels omfattende forurensning. Det alvorligste uhellet skjedde ved grabbmudring utenfor kai til Falconbridge, hvor siltskjørtet som ble benyttet sprakk, jfr kap. 8.5.. Der siltskjørt benyttes settes det normalt ikke krav til overvåking. I tillegg har det vært tilfeller av overløp fra og overfylling av lekter med mudringsmasser, hvor utslipp ikke er fanget opp gjennom kontrollprogrammet.

Ved arbeid i Kongsgårdbukta har det også vært benyttet SPMD.

#### **7.1.1 Turbiditetsmåling**

Erfaringene fra Kristiansand tilsier følgende:

- Det bør brukes minst tre stasjoner ved overvåking ved turbiditetsmåling, hvor en av stasjonene er referanse.
- Strømforhold og topografi må være styrende for hvor målerne plasseres.
- Avstand fra målere til anleggsområde bør være 50-100 meter, og akseptkriterier tilpasses benyttet avstand.
- Ved større anlegg bør kontinuerlig måling med logging av data benyttes. Ved manuelle målinger bør dette foretas flere ganger daglig.
- De metoder som er benyttet for overvåking i Kristiansand har i liten grad vært egnet til å avdekke periodiske (akutte) utslipp.

### **7.1.2 Sedimentfeller**

Det har vært omfattende problemer med havari av sedimentfeller som er benyttet til overvåking i Kristiansand. Feller ble ikke funnet igjen når kontroll skulle foretas, eller funnet på helt andre steder enn de var satt ut. Når de ble funnet på andre steder, var det også usikkerhet om holdbarhet av analyser av sedimentene. Det ble derfor tidlig besluttet å gå bort fra bruk av sedimentfeller til overvåking.

Om årsaken til havariene var båter som ved uhell dro fellene med seg, eller om det var bevisst "sabotasje", er ikke kjent.

Dersom sedimentfeller skal benyttes, må disse sikres grundig, og ha et visst tilsyn. I tillegg bør det ikke brukes sedimentfeller på grunnere vann enn 8-10 meter. Det bør vurderes om sedimentfeller kan utstyres med "sporingsutstyr".

## **7.2 Etterkontroll av tiltak**

### **7.2.1 Sedimentanalyser**

Kjemiske analyser av sediment er benyttet rutinemessig ved alle oppryddingsprosjektene i Kristiansand. Sedimentanalyser er en enkel og effektiv metode for tilstandskarakterisering og etterkontroll av tiltak, men metoden har likevel sine svakheter. For eksempel vil et lite antall sedimentprøver før/etter tiltak, usystematisk prøvetaking, uten nøyaktige koordinater, og analysert med ulike metoder, gi et tvilsomt grunnlag for å trekke konklusjoner.

Med henvisning til disse svakhetene bør derfor følgende forhold tillegges stor vekt:

- Systematisk program med tilstrekkelig antall prøver
- Bruk av samme laboratorium til analyser før og etter tiltak.
- Nøyaktig posisjonering
- Tilstrekkelig lave deteksjonsgrenser til formålet

Ved etterkontroll av tiltak, både "miljømudring" og tildekking med løsmasser, vil etterkontroll måtte ta hensyn til at det ofte reetableres et tynt sjikt med sterkt forurensset mudder på toppen av tiltaksområdet. Etterkontroll av 0-2 cm snitt av kjerner vil derfor ofte ikke gi representative resultater. Analyse av 0-10 cm snitt kan gi et mer representativt bilde av situasjon etter tiltak,

alternativt at det beregnes gjennom-snittskonsentrasjoner før og etter, eller %-vis reduksjon av innholdet av miljøgifter i sedimentet.

For øvrig henvises til SFTs veiledningsmateriale for denne type prøvetaking.

### 7.2.2 Dykking

For tiltak av typen tildekking med duk eller betongmadrass vil etterkontroll med dykking eller ROV være eneste egnede metode for etterkontroll av tiltakene.

Ved gjennomføring av prosjektene i Kristiansand ser en at dykkerundersøkelser kan være preget av dykkerens visuelle og subjektive observasjoner. Det vil her derfor være en stor fordel at dykking utføres av personell med tilstrekkelig faglig bakgrunn (teknisk/naturvitenskapelig), og at kontroll skal utføres etter et på forhånd fastlagt sett av kriterier. Spesielt viktig er det også med nøyaktig stedfesting av observasjoner, og at metodikk for stedfesting er drøftet og avklart på forhånd.

Siden det er visse utfordringer med objektiv dokumentasjon i denne type etterkontroll, anbefales sterkt at etterkontroll utføres av uavhengig firma.

På større dyp vil det være problem dykkerkontroll, fordi dykkere kan oppholde seg kort tid under vann. I slike områder anbefales bruk av ROV. Det må sikres at ROV-en har tilstrekkelig utstyr for posisjonering og at det kan tas fotos av god kvalitet.

Både for dykking og ROV må det settes spesifikasjoner for rapportering før arbeidet starter.

### 7.2.3 Fastmerker

Ved tildekking i Hannevika ble det benyttet fastmerker, og det ble satt ut 60 merker i et rutenett før arbeidet startet. Hvert merke besto av en 50\*50 cm jernplate med en 100 cm målestav i topp, og en 2 meter line til plastblåse. Merkene ble sluppet fra båt.



Figur 7.1. Foto av delvis veltet fastmerke. Kilde: NGI

Fastmerker vurderes som et godt egnet verktøy for kontroll av tildekkingslag. Utformingen av merkene bør imidlertid endres, ved at det enten benyttes en større plate, eller platene utformes med pigg i bunnen. Erfaringene med de merkene som ble benyttet i Kristiansand, var at en stor del av merkene veltet og/eller ikke ble gjenfunnet.

Ulempen ved bruk av fastmerker er at disse bare gir svar på omfang av tildekking i det punktet de er satt ut, og at det bør være et relativt høyt antall merker for å kunne gi rimelig gode konklusjoner.

Fastmerker kan også benyttes til vurdering av geoteknisk stabilitet av tildekkingslag. Merkene må da måles nøyaktig inn før og etter tildekking, se også kap 7.2.4 om multistrålesonar.

#### **7.2.4 Multistrålesonar**

I Hannevika er multistrålesonar benyttet for etterkontroll. Multistrålesonar er benyttet både for detaljert innmåling av fastmerker (kap 7.2.3), for måling av dybde på tildekkingslag, og for kontroll av geoteknisk stabilitet (utglidning). Det konkluderes på bakgrunn av målingene at det ikke er tegn til store setninger/innsynkninger, skader eller horisontale forskyvninger/utglidninger av tildekkingen over sjøbunnsedimentene.

Multistrålesonar kan også benyttes til å utarbeide 3D-kart av sjøbunnen, se kapitel 6.2.6., figur 6.8.. Denne figuren viser tegn på "kratere" i deler av tildekkingsområdet. I nærliggende område er det også påvist høye nivåer av miljøgifter.

Multistrålesonar må anses som et godt verktøy for etterkontroll av tildekking med sand, spesielt der en ikke benytter tynnsjiktstildekking. Det er imidlertid viktig å stille spesifikke krav til tolkning av data før arbeidet starter.

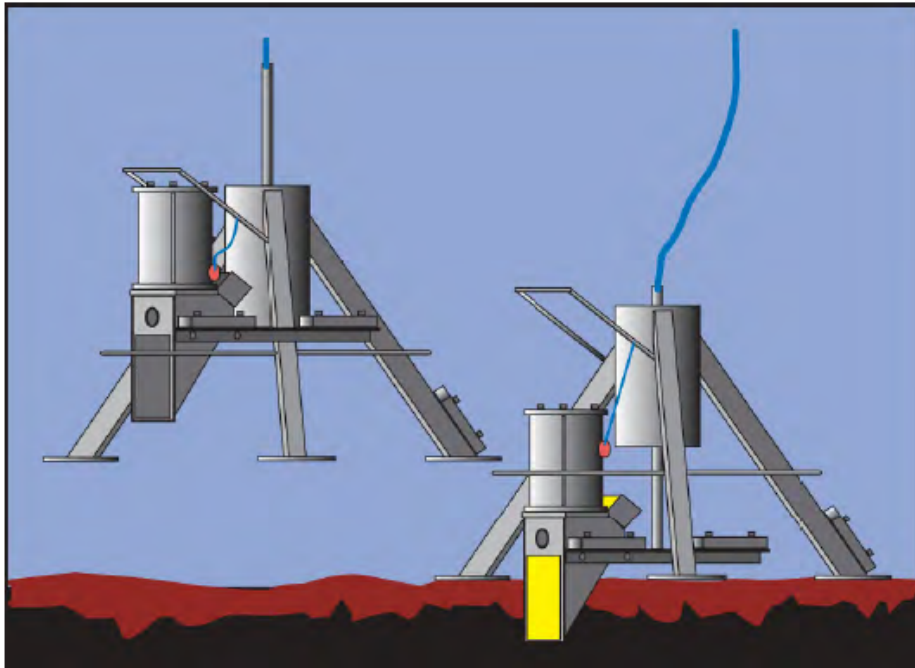
#### **7.2.5 Kjerneprøver**

I forbindelse med supplerende etterkontroll av gjennomførte tiltak i Hannevika, ble NIVA engasjert til å ta ut en rekke dype "kjerneprøver" hvor tildekkingslag kunne karakteriseres og kvantifiseres. Dette er også omtalt i kapitel 6.2.6 om etterkontroll og resultater i Hannevika, hvor det er gitt eksempel på beskrivelse av kjerner.

Metoden er egnet for etterkontroll som en supplerende av andre undersøkelser, og kan delvis erstatte bruk av fastmerker.

#### **7.2.6 Vertikalfotos**

Som et supplement til annen etterkontroll kan sjøbunnen (tildekkingslag) også fotograferes ved et snitt gjennom topplaget. Metoden er også beskrevet i kapitel 6.2.6 om etterkontroll og resultater i Hannevika, og eksempel på fotos er gjengitt.



Figur 7.2.. Prinsippskisse for SPI-kamera. T.v.: kamera og rigg over bunnen. T.h.: Kamera med prismet har trengt ned i sedimentet, og bildet eksponeres. Kilde: NIVA

#### 7.2.7 Bløtbunnsfauna/bløtbunnsundersøkelser

Bløtbunnsfauna er benyttet som etterkontroll ved tildekkingsprosjektet i Hannevika, med meget gode resultater. Metoden egner seg ikke for hurtig kontroll av resultater, men allerede ett år etter tildekking hadde det skjedd en betydelig rekolonisering og normalisering av bløtbunssamfunnet.

En enklere form for bløtbunnsundersøkelser er å registrere bløtbunnsflora (ålegras etc) ved etterkontroll med dykking etter mudrearbeid. Dette gir en meget god indikasjon på mangelfullt mudrede områder. Dykking må da foretas av personell med kompetanse innen marinbiologi.

#### 7.2.8 Miljøgifter i blåskjell

Ved pilotprosjektet i Kristiansand har også blåskjell vært benyttet som metode for etterkontroll. Denne gir en god oversikt over utviklingen av tilstanden i de øvre vannmasser, og kan også gi svar på om det har skjedd omfattende spredning av miljøgifter i forbindelse med anleggsarbeid.

Resultatene fra blåskjellanalyser i Kristiansand viser en svært positiv utvikling av vannkvaliteten i perioden 2002-2007.

#### 7.2.9 Volumkontroll ved "miljømudring"

Ved mudring har det vist seg å være en utfordring å få en god, objektiv dokumentasjon av hvilke volumer som faktisk er mudret. Dette har både kontraktsmessige konsekvenser i f.t. entreprenør, og miljømessige konsekvenser dersom det mudres mindre enn forutsatt.

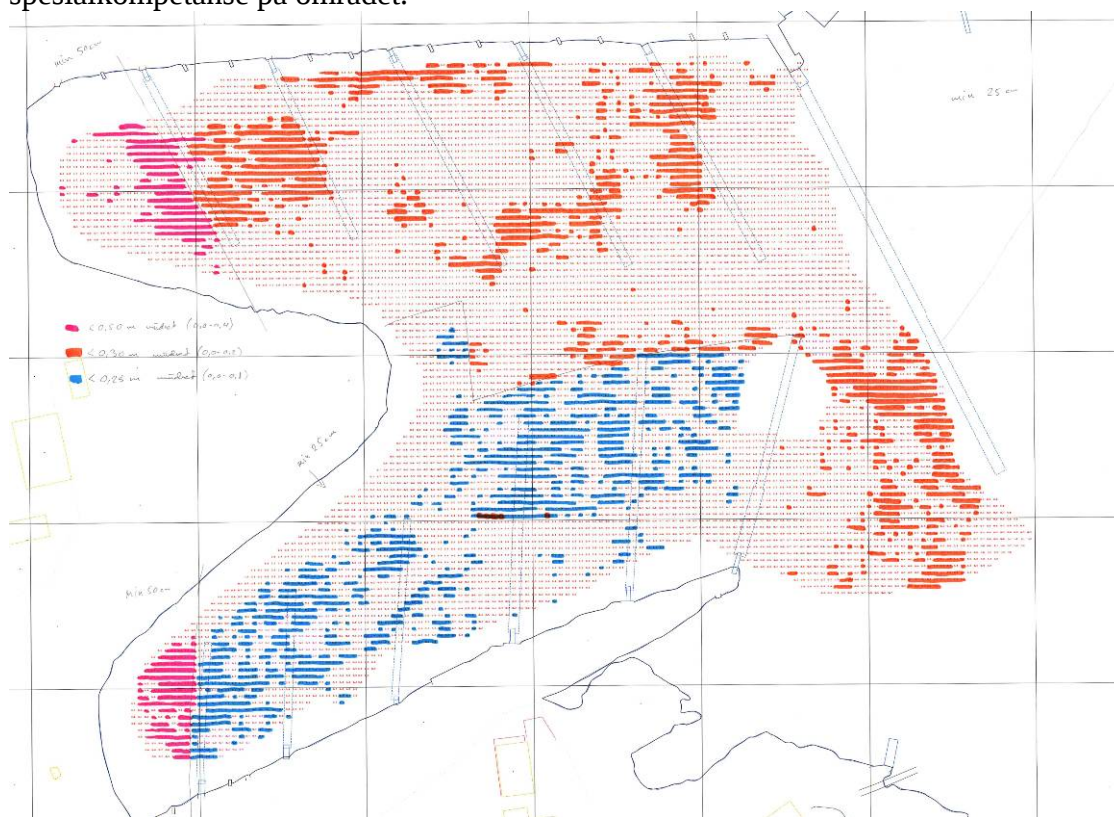
Som kontrollmetoder har det i Pilotprosjekt Kristiansand vært vurdert å utføre mengdekontroll ved en kombinasjon av volum bortkjørt og TS i mudret volum, og volum levert til deponi basert på dybdemålinger i deponiet. Den første av disse metodene er forkastet p.g.a. betydelig usikkerhet. En har også valgt å se bort fra kontroll gjennom volummålinger i deponi, fordi erfaringen her synes å være at sedimentene her får økt TS p.g.a. sammenpressing. Volummålinger i deponiet kan derfor ikke omregnes som kontroll av mudret volum.

En står da igjen med volumkontroll på mudrestedet gjennom nøyaktige opploddinger før og etter mudring.

Ved mudring av småbåthavner har entreprenøren gjennomført opploddinger v.h.a. Olex 3D kartsystem/DGPS/ekkolodd (Simrad EQ 54). Tiltakshavers rådgiver har lagt resultatene fra disse inn i en terrengmodell, som vist i figur 7.3.. I denne figuren er avvik i mudredyp i f.t. kontrakt uthevet.

Ved mudring av småbåthavner i Kristiansand viser det seg at volumer oppgitt av entreprenør ikke er overensstemmende med resultatene fra den bearbeidingen av dybdemålingene som rådgiver har utført p.v.a. byggherren.

Med bakgrunn i ovennevnte anbefales at metode for dybdemålinger og bearbeiding av disse avtales før arbeidet starter, og at bearbeiding av data utføres av uavhengig firma med spesialkompetanse på området.



Figur 7.3. – Mudret mengde i Auglandsbukta. Fargene viser områder hvor det er beregnet at det er avvik fra krav til miljømudringsdybde (rosa < 50 cm, rødt < 30 cm, blått < 25 cm). Akseptert avvik på +/- 10 cm er ikke medregnet.

### 7.2.10 Andre utprøvde metoder

Ved avslutning av pilotprosjektet har Fylkesmannen i samarbeid med industrien og kommunen gjennomført en større miljøundersøkelse i fjordsystemet. Undersøkelsen har bl.a. omfattet:

- Nivå av miljøgifter i byttedyr
- Nivå av miljøgifter i fisk og skalldyr
- Langtidsovervåking av miljøgifter i sedimenter, aldersdaterte kjerner

Rapport fra undersøkelsene er medio november 2007 ikke klar, og metodene omtales ikke nærmere her. Det vises i stedet til rapporten i sin helhet. Rapporten forventes klar til desember 2007.

### 7.2.11 Bruksområder og egnethet

På bakgrunn av erfaringene omtalt foran, gis følgende indikative oppsummering for hvilke metoder for etterkontroll som egner seg ved ulike typer opprydding. Metodene må tilpasses forholdene på stedet, og det kan være behov for flere typer etterkontroll i samme område.

|                             | Mudring | Tildekking m løsmasse | Tildekking m duk/betong |
|-----------------------------|---------|-----------------------|-------------------------|
| Sedimentanalyser            | ++      | +++                   | 0                       |
| Dykking/ROV                 | +       | +                     | +++                     |
| Fastmerker                  | 0       | ++                    | 0                       |
| Multistrålesonar            | 0       | ++                    | 0                       |
| Kjerneprøver                | 0       | ++                    | 0                       |
| Vertikalfotos               | 0       | ++                    | 0                       |
| Bløtbunnsundersøkelser      | ++      | +++                   | 0                       |
| Blåskjell                   | ++      | ++                    | ++                      |
| Volumkontroll v dybdemåling | +++     | 0                     | 0                       |

0: Uegnet eller ikke utprøvd

+ Egnet

++ Godt egnet

+++ Svært godt egnet

Tab 7.1. Vurdering av egnethet for ulike metoder.

Ved valg av metode for etterkontroll, må dette også vurderes opp mot hva som gjennomføres av forundersøkelser. Identiske metoder, utstyr og leverandører bør benyttes både til for- og etterundersøkelser.

## **8 Erfaring med ulike sedimentoppryddingsmetoder, anbefalinger**

### **8.1 Tildekking av sediment med armert fiberduk og pukkestein**

Metoden er i Kristiansand benyttet ved kaiene til Xstrata Falconbridge nikkerverk, og er omtalt i kap 3.1. og 6.1. Etterkontroll er utført flere ganger.

Erfaringen med bruk av denne løsningen i Kristiansand er svært gode. En må være spesielt oppmerksom på følgende:

- sjøbunnen bør være relativt jevn i tildekkingsområdet. Ved ujevn bunn bør denne rettes/slettes før utlegging.
- duk må legges med tilstrekkelig overlapp.
- pukklaget må være tilstrekkelig dimensjonert i f.t. belastning (erosjon, propellstrøm etc)
- det må innføres et absolutt ankringsforbud i tildekkingsområdet.

### **8.2 Tildekking av sediment med betongmadrasser**

Metoden er benyttet i Kristiansand ved kaiene til Xstrata Falconbridge nikkerverk, og er omtalt i kap 3.2. og 6.1. Etterkontroll er på grunn av behov for supplerende tiltak utført flere ganger. Metoden er også benyttet ved ombygging av ferjeterminal/ferjepir.

Erfaringen med bruk av denne løsningen i Kristiansand er svært gode. En må være spesielt oppmerksom på følgende:

- Metoden bør primært benyttes på dyp hvor dykker kan operere uten vesentlige restriksjoner.
- Erfaringene tyder på at metoden med ”fleksibel madrass” er best egnet, særlig i områder nær kaier etc. Denne varianten er enklest å plassere ut med et godt resultat.
- Ved prosjektering må det legges vekt på avgrensning i forhold til ”naboarealer”, slik at det ikke blir liggende restforurensning som spres inn på tiltaksområdet.

### **8.3 Lagvis tildekking av sediment med sand**

Metoden er benyttet ved tildekking av drøyt 30 mål sjøbunn i Hannevika. Etterkontroll er utført i flere omganger.

Erfaringene med metoden er gode. Det må ved prosjektering og gjennomføring vurderes spesielt:

- Metoden har begrensninger på grunne områder nær land, p.g.a. vanskeligheter med å manøvrere slepebåt og lekter.
- Kvaliteten på tildekkingsmassene (kornfordeling) har stor betydning for jevnhet på tildekkingslag. Ved valgt spredningsmetode bør leire og silt unngås, og større stein må sorteres ut.
- Særlig ved ustabile bunnforhold forutsettes tildekkingslaget lagt ut i tynne lag med påfølgende konsolideringsperioder. Geotekniske undersøkelser er som regel nødvendig.
- Ved bruk av beskrevet metode bør det legges ut ca 50 % mer sand enn teoretisk nødvendig.
- Bunntopografien bør kartlegges i forkant. Ved ujevn bunn vil "topper" kunne bli liggende utildekket og dette må det tas spesielle hensyn til.
- Det bør vurderes innført ankringsforbud i tildekkingsområdet.

Tildekking med sand vil være sårbar i forhold til ytre påvirkning som oppankring og propellstrømmer fra skipstrafikk. Dersom det legges geotekstilduk under sanden, vil denne være så utsatt for skader ved ankring at ankringsforbud bør innføres i det aktuelle området.

#### **8.4 Sugemudring**

Metoden er brukt i Kristiansand til opprydding i tre småbåthavner og er beskrevet i kapittel 3.4. og 6.6.. Etterkontroll er utført ved hjelp av dykking, biologisk kartlegging og sedimentprøver.

Det er delte erfaringer med bruk av sugemudring til miljøopprydding i Kristiansand. De største utfordringene har vært knyttet til:

- store mengder skrot og søppel på bunnen vil vanskeliggjøre mudringen, og er vanskelig å kvantifisere på forhånd. Gjenstander kan ligge nedsunket i mudder.
- også andre "fremmedlegemer" (stein, stokker) og hard bunn (morene, sammenpresset sand) gir problemer ved sugemudring.
- metoden stiller store krav til opprydding i forkant. For å sikre en tilfredsstillende forhåndsrydding kan det være nødvendig med "harving" av sedimentet før mudring. Dette kan gi risiko for spredning av forurenset sediment i forkant av mudringen.
- det er utfordringer knyttet til volumkontroll av de mengder som mudres, jfr kapittel 7.2.9.

Det har i mudreprosjektene også vært enkelte utfordringer m.h.t. opplasting og transport av muddermasser. Det må derfor stilles krav til maks fylling av lektere samt overløp fra lekter. Overløp (avvanning) kan vurderes tillatt der overløpsvann ledes bak siltskjørt i ikke-mudret område.



Fig 8.1.  
Overløp fra leker 19.2.07. Foto: NIVA



Overfylt leker ved ankomst deponi 20.4.06. Foto: Jon Egil Vinje, Multiconsult

## 8.5 Grabbmudring

Metoden er brukt i Kristiansand for å øke seilingsdyp før tildekking med duk og pukk. Arbeidet foregikk på 8-10 meters dyp. Sedimentene ble flyttet langs bunnen ut på dyp større enn 10 meter. Se også beskrivelse i kapittel 3.5.

Erfaringen med grabbmudring i Kristiansand er at metoden medfører betydelig oppvirvling av forurenset sediment i vannmassene. Det er derved en betydelig risiko for spredning av forurenset sediment ved eventuelle skader eller lekkasjer på sikringstiltak. På grunn av den store partikkeloppvirvlingen vil det trolig skje en resedimentering av forurenset sediment innen tiltaksområdet.



Fig 8.2.  
Spredning av forurenset sediment utover i fjorden etter havari på siltskjørt. Foto: Sørlandskonsult



Siltskjørt etter utskiftning. Foto: Jon Egil Vinje, Multiconsult

Ved grabbmudring i Kristiansand oppsto det skade på siltskjørt, ved at sømmene i duken sprakk. Arbeidet ble umiddelbart stanset, og ny duk anskaffet. Det ble ikke dokumentert store

utslipp p.g.a. uhellet, men det er usikkert om vannprøveprogrammet i tilstrekkelig grad "traff" strømmen med forurenset vann. Se ellers egen rapport fra uhellet.

Bruk av siltskjørt ved arbeid i sterkt forurenset sediment medfører også risiko for oppvirvling av forurenset sediment ved avslutning av arbeidet og ved fjerning av siltskjørtet.

Erfaringene fra Kristiansand tilsier at:

- grabbmudring bør kun brukes der det er mulig med en fullstendig sikring av tiltaksområdet med siltskjørt
- siltskjørt må ha rett karakteristikk (dvs ikke for finmasket), og bør ha horisontale sømmer. Skjørt med vertikale sømmer sprakk ved arbeid i Kristiansand.
- anlegget må stanses i god tid før skjørt fjernes. Før fjerning av skjørt må en gjennom målinger sikre at ikke vannmassene bak skjørtet har vesentlig forhøyet partikkelinnhold.
- fjerning av duken må overvåkes, for eksempel ved hjelp av dykker. Det kan være behov for manuell "løsning" av duken fra sjøbunnen for å redusere oppvirvling.

## **8.6 Kombinasjonsløsninger, mudring og tildekking ("flip-flop")**

Metoden ble benyttet ved del av kai til Falconbridge. Området skulle tildekkes, og det var behov for økt seilingsdyp. Metoden er beskrevet i kap .3.6.

Etterkontrollen har vist at det etter mudring oppsto ujevn overflate både der massene var mudret, og i området masser ble flyttet til. Den ujevne overflaten ga vanskeligheter med å få en komplett tildekking.

## **8.7 Strandkantdeponi**

Det er meget gode erfaringer med den valgte løsningen med strandkantdeponi som mottaksordning for forurensede sedimenter. Utført miljøovervåking viser vesentlig bedre vannkvalitet i fjorden etter at deponiet ble etablert, og metoden har til nå også vist seg svært effektiv for rensing av sivevann fra nedlagt deponi.

For nærmere omtale vises det her til kapittel 4.

## 9 Sammenfatning, miljøeffekter og økonomi

### 9.1 Erfaring og miljøeffekter

Hovedkonklusjonen fra Pilotprosjektet i Kristiansand er at tiltakene har gitt store lokale miljøforbedringer, og bidratt til en bedre miljøtilstand i fjorden som sådan. Prosjektene har gitt mye verdifull informasjon, som bør tas hensyn til ved planlegging og gjennomføring av prosjekter i andre deler av landet.

Gjennomføring av flere av prosjektene har vært komplisert, og noen delprosjekter er ikke avsluttet innenfor prosjektperioden. Det gjenstår fortsatt arbeid med opprydding i sjøbunnen utenfor Marvika/Torsvika og ved Bredalsholmen. I tillegg er det planlagt utbedringstiltak ved tildekkingsprosjektet i Hannevika og langs kaiene til Falconbridge nikkelverk.

Som en oppfølging av pilotprosjektet, og etter at de fleste tiltakene nå er avsluttet, bør det gjennomføres en ny vurdering av forurensningskilder og lages en revidert tiltaksplan for fjordområdet.

Som en foreløpig avslutning av pilotprosjektet har NIVA på oppdrag fra Fylkesmannen gjennomført en stor miljøundersøkelse i Kristiansandsfjorden (rapport 5506/2007). Sammendraget til denne rapporten gjengis i sin helhet:

*”NIVA har på oppdrag for Fylkesmannens miljøvernavdeling i Vest-Agder gjennomført undersøkelser i Kristiansandsfjorden. Denne fjorden har vært og er fremdeles til dels sterkt forurensset av miljøgifter, særlig klorerte forbindelser og PAH. Det er tidligere gjennomført et betydelig antall forurensningsundersøkelser i fjorden, men det er nå ca 10 år siden siste større undersøkelse ble foretatt. Det har i denne perioden også blitt gjennomført betydelige tiltak for å bedre forholdene i fjorden. For å oppdatere situasjonen i fjorden og sammenligne den med tidligere data ble det gjennomført undersøkelser av tilstanden i sedimentene ut fra forekomst av bunndyr. Undersøkelser av forekomst av miljøgifter i sediment, bunnfauna, fisk (torsk, skrubbe) og skalldyr (blåskjell, taskekrabbe) ble også gjennomført. Det ble videre utført trendanalyse på tidsserier av forekomst av miljøgifter i blåskjell og torsk og sediment. Som et supplement til tidstrendanalysen, ble det også foretatt en aldersdatering ved hjelp av bly<sub>210</sub>-isotopen på sedimenter fra to stasjoner. Med disse undersøkelsene har en ønsket å dokumentere eventuelle endringer over tid som følge av utslippsreduksjonen. Dataene skal også gi bakgrunn for eventuell oppdatering av gjeldende kostholdsråd for området. Undersøkelsene skal gi fundament for videre overvåking.*

#### **Bløtbunnsfauna**

*Det ble innhentet kvantitative prøver med 0,1 m<sup>2</sup> van Veen bunngrabb til analyse av bunnfauna på i alt seks stasjoner (Hanneviksbukta, Vesterhavn, Dybingen, Fiskåbukta, Lyngøya, Vestergapet). Stasjonen i Hanneviksbukta ble undersøkt blant annet med tanke på å følge etablering av ny fauna i området etter overdekkingen med sand foretatt i 2002-03. Bløtbunnsundersøkelsene viste at det har vært en betydelig forandring av tilstanden i bunnsedimentene i Hanneviksbukta etter overdekkingen. Før tildekkingen (2002) var*

bunnfaunaen svært artsfattig og skilte seg sterkt fra resten av Kristiansandsfjorden. Etter tildekkingen har faunaen blitt mer lik den som finnes i Vesterhavn og Fiskåbukta, med størst endring fram til 2005 og en mindre endring til 2006. En forbedring ble også observert i Fiskåbukta. Trolig er forbedringen der en følge av at tilførslene av organiske stoff til fjorden er redusert, deriblant utslippene av kommunalt avløpsvann ved Storenes i Fiskåbukta. Generelt var stasjonene i Vesterhavn, Dybingen og i Fiskåbukta innbyrdes nokså like, men stasjonen ved Dybingen, som ligger ytterst av disse, var mest lik referanseområdene utenfor. Undersøkelsen indikerer at hele Vesterhavnområdet er påvirket av forurensninger, men at tilstanden generelt er blitt bedre (Fiskåbukta, Hanneviksbukta) og at lokale gradienter innen fjordområdet er mindre sterke enn før.

### **Miljøgifter i bunndyr/bløtbunnsfauna**

Bunndyrorganismer til miljøgiftanalyser ble samlet i Hanneviksbukta, Vesterhavn og Fiskåbukta ved bruk av en Agassiz-trål og Sneli-slede. Begge redskapene fanger dyr som lever på bunnoverflaten eller i øverste sedimentsjikt. Blandprøver av henholdsvis børstemark, sjøstjerner og bløtdyr ble analysert for metaller, PCB og PAH. Resultatene ble sammenlignet med tidligere undersøkelser (2002/3).

Det var imidlertid vanskelig å få nok materiale/biomasse til å etablere et solid datasett som muliggjør statistiske sammenligninger. Sammenligningene gir imidlertid et innblikk i om og hvordan konsentrasjonene har forandret seg. Generelt sett er vanskelig å vise til noen tydelige trender for metallene som er undersøkt. Det er i tråd med utslippsforholdene. Det er indikasjoner på at PCB-konsentrasjonene har sunket i Hannevika fra 2002/3 til 2006 (kan ses i både børstemark og sjøstjerne). I sentrale Vesterhavn kunne det ikke vises til noen tydelige forandringer i PCB-nivå. Her har det heller ikke vært gjennomført sedimentforbedrende tiltak. Sammenligningen viser også at PCB-konsentrasjonen i børstemark og sjøstjerne var høyere i sentrale Vesterhavn enn i Hanneviksbukta. HCB-variasjonene var vanskelig å tolke ut fra opplysninger om utslippsforhold. Man kan vanskelig knytte endringene observert i sammensetningen av bløtbunnsamfunnene med de forandringene som observeres i miljøgiftinnholdet i børstemark og sjøstjerner.

### **Miljøgifter i sedimenter og tidstrender**

Overflateprøver av sedimenter fra to stasjoner (Vesterhavn og Fiskåbukta) ble prøvetatt for å belyse dagens konsentrasjoner av miljøgifter og for å undersøke endringer i konsentrasjoner over tid (tidstrender). Sedimentet fra Fiskåbukta ble analysert for polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), tributyltinn (TBT), polyklorete bifenyler (PCB<sub>7</sub>) og metaller. Stasjonen i Vesterhavn ble analysert for dioksiner [omfatter både polyklorete dibenzo-(p)-dioksiner (PCDD) og polyklorete dibenzofuraner (PCDF), omtales samlet som PCDD/F] og dioksinlignende PCBer (nonorto PCB). Det ble på begge stasjoner innsamlet sedimentkjerner for aldersdatering. Sedimentene fra Vesterhavn var sterkt forurensset av PCDD/F. Sedimentene fra Fiskåbukta var meget sterkt forurensset av PAH, moderat til markert forurensset med PCB<sub>7</sub> og moderat til markert forurensset av metaller bortsett fra TBT, hvor sedimentet var meget sterkt forurensset. Det ble observert en klar reduksjon i PCDD/F-innholdet i overflatesedimentet fra Vesterhavn i perioden 1986 til 2006. Denne nedgangen gjelder også dersom konsentrasjonen av PCDD/F omregnes til toksisitetsekvivalenter. Tilsvarende reduksjon ble også observert for non-orto PCB for perioden 1996 til 2006. Reduksjonen i PCDD/F-innholdet samsvarer med de vesentlige reduksjoner som ble foretatt i utslipp av dioksiner fra Falconbridge Nikkelverk AS (nå Xstrata Nickel) i 1992 og 2002. Xstrata Nickel har også vært hovedkilden for forurensningstilførsler av metaller til Kristiansandsfjorden. Observasjonene i sedimentet fra stasjonen i Fiskåbukta viser ubetydelige endringer i innholdet av metaller (nikkel,

kobber, bly, krom og arsen). Resultatene fra PAH-analysene viser at det ikke har vært vesentlige endringer i konsentrasjonen i overflatesedimentet på stasjonen i Fiskåbukta fra 1996 til 2006. Fra 1989 til 1996 ble det observert en øking i PAH-konsentrasjonene. Hovedkilden til PAH har vært Elkem Carbon. Bedriften gjennomfører for tiden betydelige utslippsreduksjoner.

Resultatene fra aldersdateringen antyder en sedimenttilvekst på henholdsvis 1,8 og 1,7 mm/år over hele kjernen på stasjonen i Fiskåbukta og Vesterhavn. Betrakter man kun sedimentoverflaten, er tilveksten ca. 2,5 mm/år på begge stasjonene. Analyse av PAH i dypereliggende sedimenter viser ingen klare tegn til endring i PAH-belastning de siste par 10-år. For de klorerte forbindelsene (dioksiner og non-orto PCB) kunne imidlertid en slik reduksjon spores.

#### **Miljøgifter i organismer - foreløpig vurdering av kostholdsråd**

Konsentrasjonen av tinnorganiske forbindelser i blåskjell var relativt lave i hele området og skulle ut fra VKM sine grenseverdier ikke være noe stort problem når det gjelder konsum av skjell.

Organismer fra deler av Kristiansandsfjorden inneholdt imidlertid relativt høye konsentrasjoner av enkelte andre miljøgifter. Dette gjelder i første rekke PAH i blåskjell fra Svendsholmen og Fiskåtangen og dioksiner og dioksinlignende PCBer observert i torsk og skallinnmat av krabbe fra Byfjorden/indre havn.

Ut fra EUs nye grense for maksimalverdi av benzo(a)pyren i skjell utgjør denne forbindelse ikke noe stort problem i forhold til omsetning av skjell fra Kristiansandsfjorden. Spesielt skjell fra Fiskåtangen inneholder imidlertid høye konsentrasjoner av andre PAH-er forbindelser. VKM har tidligere operert med en tiltaksgrense for kostholdsråd for benzo(a)pyren på 5 µg/kg og for Sum PAH på 250 µg/kg v.v. Skjell fra Fiskåtangen, Odderøya vest (JAMP) og til dels også Voie/Kjosbukta (kun B(a)P) inneholder konsentrasjoner som er over eller på disse tiltaksgrensene. Deler av Kristiansandsfjorden kan derfor likevel ha problemer knyttet til innhold av PAH i blåskjell og spiselighet av disse.

En foreløpig vurdering av de observerte konsentrasjoner av dioksiner og dioksinlignende PCBer i blåskjell i forhold til totalt ukentlig inntak (TWI) og antatt inntak hos en storkonsument antyder at disse forbindelser neppe har betydning for spiselighet av skjell fra Kristiansandsfjorden. Tilsvarende tall for taskekrabbe tyder på at dioksiner og dioksinlignende PCBer kan utgjøre et problem i forhold til spiselighet av krabber, i alle fall fra de mest forurensede deler av Kristiansandsfjorden. Også dioksiner og dioksinlignende PCBer fra fiskefilet og torskelever fra de innerste deler av Kristiansandsfjorden kan utgjøre en trussel for storforbrukere av fisk. Giftigheten forårsaket av dioksiner, furaner og PCB i fiskefilet lå imidlertid godt under EUs grense for maksimalverdi i filet for omsetning.

#### **Miljøgifter i organismer og tidstrender**

Data for PAH i blåskjell fra hovedstasjonene viser ingen reduksjon siden 1996. Nivåene varierer uregelmessig fra år til år og mellom stasjoner med et relativt standardavvik på ca. 50 %. Spesialundersøkelser nær hovedutløpet fra Elkem Carbon tyder likevel på en tydelig reduksjon i konsentrasjonen av PAH i skjell fra dette området fra 2002 til 2007.

TBT i blåskjell er redusert med ca. 25 % pr. år siden 1996. Nedgangen har fortsatt fra 2002/2003 til 2006, men det er visse tegn til at konsentrasjonene nå kan være i ferd med å stabilisere seg. De uregelmessige variasjonene har relativt standardavvik 12-14 %. Dioksin i blåskjell er redusert med en faktor ca. 4 siden 1996, og non-orto PCB med en faktor på ca. 6. For torskelever kan det ikke ses noen reduksjon i disse forbindelsene siden 1996.

Direkte utslipp fra landbaserte kilder (primære og sekundære) vil i første rekke påvirke overflatelaget. Reduksjoner fra landbaserte kilder vil da også først spores der (eksempelvis i blåskjell). Resultatene fra blåskjell tyder dermed på at det de siste 10 år har skjedd en videre reduksjon i tilførselen av dioksiner og non-orto PCB til overflatelaget i fjorden. Fisk som torsk påvirkes i større grad av andre dypereleggende kilder i sjøen, for eksempel påvirkning fra forurensede sedimenter via næringskjeden. Ulike eksponeringsveier er derfor en mulig forklaring på at en ser reduksjoner i konsentrasjonen av dioksiner og non-orto PCB, mens en tilsvarende reduksjon ikke ses i torsk.

Det vises ellers til rapporten i sin helhet.

## 9.2 Kostnader og finansiering

Det har til sammen gått med ca kr 140 mill til gjennomføring av de tiltakene som er beskrevet i denne sluttrapporten. Kostnadene er påløpt i perioden 2002-2006, med unntak av mudring i småbåthavner hvor også kostnader i 2007 er medtatt. Staten ved SFT har bidratt med tilskudd på 27,5 mill kr.

Kostnadene fordeler seg slik (alle beløp i 1000 kr og eks mva):

| Tiltak/delprosjekt                                                  | Tiltak på land | Tiltak i sjø  | SUM            |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| Strandkantdeponi                                                    | 27.000         |               | 27.000         |
| Kongsgårdbukta avfallsdeponi                                        | 23.500         | 2.000         | 25.500         |
| Tilgrensede miljøtiltak Kongsgårdbukta                              | 21.500         |               | 21.500         |
| Torsvika                                                            | 5.300          |               | 5.300          |
| Marvika                                                             | 7.900          |               | 7.900          |
| Falconbridge kaier mm                                               |                | 8.000         | 8.000          |
| Hannevika tildekking                                                |                | 8.700         | 8.700          |
| Elkem, prosessomlegginger                                           | 4.000          |               | 4.000          |
| Mudring av småbåthavner                                             |                | 15.400        | 15.400         |
| Bredalsholmen                                                       | 4.500          |               | 4.500          |
| Miljøsikring, Holskogen                                             | 8.500          |               | 8.500          |
| Administrasjon, utredning, informasjon, nettside, felles overvåking |                |               | 4.000          |
| <b>SUM</b>                                                          | <b>102.200</b> | <b>34.100</b> | <b>140.300</b> |

I tillegg til dette har industribedriftene gjennomført egne utredninger, undersøkelser og tiltak knyttet til forurensset grunn, risikovurderinger mm, som ikke er tatt med i sluttsummen. Det gjenstår også gjennomføring av planlagte sjøbunnstiltak i Marvika og ved Bredalsholmen.

## 10 Referanser

1. Anker dykkerservice, rapport fra dykkerkontroll ved Falconbridge desember 2005.
2. AsplanViak, miljøtekniske grunnundersøkelser og risikovurdering i Torsvika, rapp 705638
3. Bio-Consult, supplerende sedimentanalyser Bredalsholmen, rapport 1105
4. Bio-Consult, etterkontroll, dykkerrapport Hannevika, april 2004
5. Bio-Consult, supplerende sedimentundersøkelser i Hannevika, august 2005
6. Det norske Veritas, Tiltaksplan for Kristiansandsfjorden, rapport 2001/0807
7. Falconbridge nikkelverk, kaier Falconbridge, tillegg til teknisk sluttrapport, tiltak under kai.
8. Fylkesmannen i Vest-Agder, årsrapport fra pilotprosjektet 2005.
9. Fylkesmannen i Vest-Agder, erfaringsnotat til "nasjonalt råd for forurensede sedimenter", januar 2005
10. Miljø & ressursteknikk, risikoanalyse av forurenset grunn – Bredalsholmen, 2004-7.1.
11. Multiconsult rapport nr 311030-02 – Mudring av tre småbåthavner - Teknisk sluttrapport, 2007 (in prep)
12. Multiconsult rapport nr 311030-01 – Mudring av tre småbåthavner - Miljørapport, 2007 (in prep), etterkontroll av småbåthavner etter mudring.
13. Multiconsult rapport 310983 - Miljøteknisk grunnundersøkelse – Datarapport og forenklet risikovurdering av forurenset grunn Auglandsbukta og Christianholm
14. Multiconsult rapport nr 310838-02 – Mudring av tre småbåthavner - Miljøtekniske grunnundersøkelser, 2005, forundersøkelse av miljøtilstand i småbåthavnene.
15. Multiconsult rapport 411326-5-1, supplerende sedimentundersøkelser Marvika og Torsvika
16. Multiconsult rapport, Marvika marinebase, tiltaksplan 11.12.2003
17. Multiconsult rapport 02/2004, Marvika/Torsvika, tomt for ny stadion, orienterende grunnundersøkelser
18. Multiconsult, teknisk sluttrapport strandkantdeponi, rapport 310348-9/2
19. Multiconsult, rapport fra evalueringsmøte om tildekking av forurensede sedimenter, rapport 311142/1
20. NGI, etterkontroll tildekking Hannevika, 20021629
21. NIVA, kartlegging av sjøsedimentene ved Marvika marinebase, rapport LNR 4260-2000
22. NIVA, tiltaksplan for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden, rapport LNR 4371-2001
23. NIVA, risikovurderinger knyttet til forurensede sedimenter, rapport TA 1864

24. NIVA, oppvirvling og spredning av forurensed sediment pga skipstrafikk, rapport TA 1869
25. NIVA, PAH-forurensede sedimenter i nærområdet til Elkem i Kristiansand, rapport LNR 4721-2003
26. NIVA, miljøundersøkelser i Kongsgårdbukta, metaller, PCB og PAH-opptak i passive prøvetakere (SPMD), notat 9.1.2004
27. NIVA, supplerende sedimentundersøkelser 2004, LNR 4854-2004
28. NIVA, bunnfauna og miljøgifter i organismer, rapport LNR 4915-2004
29. NIVA, fotoundersøkelser (SPI) av sediment Hannevika og Fiskåbukta,
30. NIVA, etterkontroll sedimenter Hannevika, rapport LNR 5328/2007
31. NIVA, risikovurdering av PAH-kilder i nærområdet til Elkem, rapport LNR 5042-2005
32. NIVA, miljømål og tiltaksplan for Elkem knyttet til PAH, rapport LNR 5139-2006
33. NIVA, statistisk vurdering av overvåking av dioksiner, rapport LNR 5123-2005
34. SwecoGrøner, risikovurdering av forurensede sedimenter rundt Bredalsholmen, 128750-1
35. Sørlandskonsult, miljøteknisk undersøkelse Marvika (Torsvika), 0420.504
36. Sørlandskonsult, miljørisikovurdering, Kongsgårdbukta avfallsdeponi, 0420.511
37. Sørlandskonsult, tiltaksplan Torsvika, 4135.450
38. Sørlandskonsult, uhell siltskjørt 2003, 2667.417
39. Sørlandskonsult, kaier Falconbridge, teknisk sluttrapport
40. Sørlandskonsult, Hannevika, teknisk sluttrapport
41. Sørlandskonsult, miljøkontroll Kongsgårdbukta, rapport for 2006, 0420.555
42. Sørlandskonsult, NGI, NIVA, grunnlagsinformasjon for tildekking i Hannevika
43. Sørlandskonsult, miljøteknisk sluttrapport Kongsgårdbukta, kai og avfallsdeponi, 2636.420