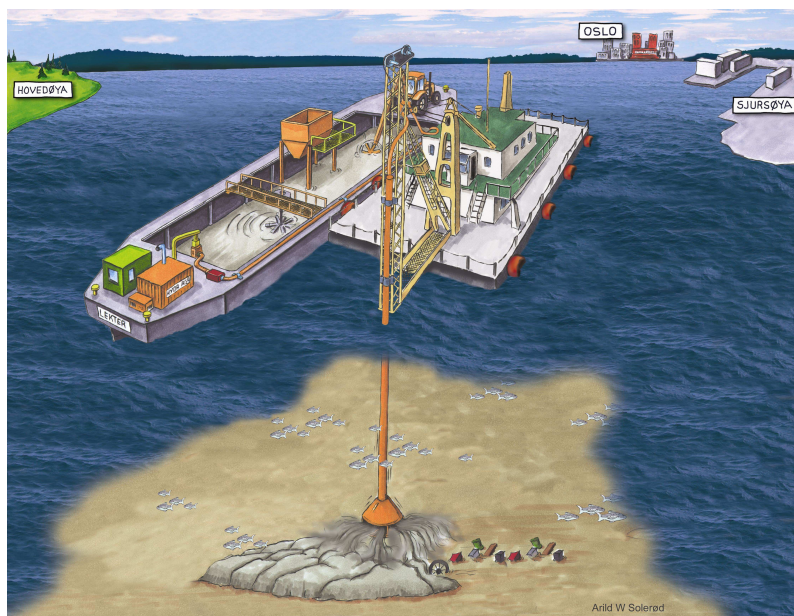


Tildekking av forurenset sjøbunn med leire.

Rapport fra pilotprosjekt i Bjørvika



Tegning: Arild W Solerød

Forfattere:

Lars Petter Myhre¹, Øyvind Tvedten¹, Stig Westerlund¹,
Olav Ytrehorn², Ole Svenstrup Petersen³,

¹ Rogalandforskning, ²SKANSKA, ³ DHI

Rapport RF 2005 - 027

SKANSKA



RF - Akvamiljø



DHI
WATER & ENVIRONMENT

Forfattere,
Lars Petter Myhre¹, Øyvind Tvedten¹, Stig Westerlund¹,
Ole Svenstrup Petersen², Olav Ytrehorn³

¹ Rogalandforskning, ² DHI ³ SKANSKA

Tildekking av forurenset sjøbunn med leire. Rapport fra pilotprosjekt i Bjørvika

Revisjon nr: 2 Dato: 09.03.2005
Prosjekt nummer: Skanska 240282 RF-7151709
Prosjektets tittel: Tildekking av forurenset sjøbunn med
leire. Rapport fra pilotprosjekt i Bjørvika
Prosjekt Leder: Olav Ytrehorn SKANSKA, Lars Petter
Myhre RF
Oppdragsgiver: Statens vegvesen Region øst

ISBN: 82-490-0348-9
Gradering: Åpen

Takk til bidragsytere.

Henrik Linders **Sweco**, Turid Winther-Larsen **Statens vegvesen, Region øst**, Stig Røskar, Birgitte Molstad, mannskapet om bord på M/A Frigg, **SKANSKA**, Jesper Holm **DHI**, Sindre Holm m. flere på F/F Braarud (**UiO**).

Nøkkelord: Forurenset sediment, leire, miljøgifter, overvåking,

Stavanger 09.03.2005



Navn; Lars Petter Myhre
Prosjektleder, RF



Troels G. Jacobsen
RF-Akvamiljø

Forord

Dette arbeidet er utført på oppdrag fra Statens vegvesen Region øst i forbindelse med utgravinger av rene leirmasser i Bjørvika og videre bruk av disse. Prosjektet er en del av riksvegutbyggingen i Bjørvika. Prosjektet har vært ledet av SKANSKA med Rogalandsforskning og DHI som samarbeidspartnere. Rapporten er skrevet av Rogalandsforskning basert på innspill og delrapporter fra de andre aktørene. Prosjektet ble tildelt til samarbeidsgruppen den 10. mai 2004 i konkurranse med andre konstellasjoner.

Feltarbeidet i forbindelse med etterundersøkelsene ble utført fra forskningsfartøyet F/F Braarud. En stor takk rettes til Sindre Holm og resten av mannskapet for all assistanse.

Alle kjemiske analyser er gjennomført hos Eurofins.

En takk rettes også til DNV ved Tormod Hansen for leie og tilpasning av utstyr.

Turid Winther-Larsen har vært kontaktperson for oppdragsgiver og takkes for et godt og konstruktivt samarbeid.

Sammendrag

SKANSKA AS har på oppdrag fra Statens vegvesent Region øst utført et forsknings- og utviklingsprosjekt (FOU-prosjekt). Prosjektet inkluderte fullskala utprøving med tildekking av forurenset sjøbunn med rene leir- og siltmasser. Arbeidet er en del av Operaprojektet og riksvegutbyggingen i Bjørvika. Planleggingsarbeidet ble gjennomført i perioden frem til august 2004 hvor rigging og transport av utstyr startet. Anleggsperioden strakte seg fra uke 41 til og med uke 47 med påfølgende etterundersøkelser i uke 51.

Målsetningen med pilotprosjektet var å undersøke om det er teknisk mulig å bruke leire til å dekke forurensete sedimenter ved ulike dyp, her representert med 20 m og 90 m og i ulike lagtykkelser (0,1 m og 1,0 m). Til dette formålet skulle optimalt vanninnhold i leir- og siltmassen bestemmes for at den skulle kunne plasseres på sjøbunnen som tildekkingslag. Metodikk for utlegging utprøves og tildekningslagets utbredelse og stabilitet mot skipstrafikk vurderes.

Pilotprosjektet har vist at det ved valgt teknologi og metode er mulig å bruke leire til å dekke til forurenset sjøbunn.

Det er ikke påvist spredning av miljøgifter fra opprinnelig sediment til vannsøylen. Det er heller ikke påvist økt mengde partikulært stoff i vannsøylen som følge av utleggingen.

Det er påvist at leiren legger seg over de opprinnelige sedimentene uten stor innblanding av opprinnelig sediment i det utlagte leirelaget.

Det er påvist at leiren flyter jevnt utover. Leiren fulgte bunntopografien og med de tilgjengelige massene var det umulig å oppnå ønsket tykkelse. For å oppnå tykke lag må området som skal dekkes til være avgrenset fra dypere områder. Til dette kan bunntopografi nyttes eller det kan legges motfyllinger på utvalgte steder. Et annet tiltak for å oppnå større tykkelse kan være å minke vanninnholdet i slurry.

Beregninger viser at det ved skipspassering av større båter (35 000 BRT) slik som Crown of Scandinavia er det fare for resuspensjon av utlagt leire. Det vil si at det ikke bør brukes leire som tildekking i områder hvor de store ferjene passerer eventuelt så må det legges ut stabiliserende masser med bedre erosjonssikring.

Kostnadene ved en fullskala utlegging er estimert til rundt 210 kroner/m³ basert på utlegging av 100 000 m³ med en kapasitet på inntil 2 000 m³/døgn. Dette estimatet er basert på erfaringene som ble ervervet i pilotprosjektet ved bruk av rør og diffusor.

Innhold

1	INNLEDNING	1
2	BESKRIVELSE AV OMRÅDENE	3
2.1	Bjørvika.....	4
2.2	Bunnefjorden øst for Ursvik.....	5
3	INNLEDENDE UNDERSØKELSER OG UTFORMING AV UTSTYR.....	7
3.1	Tillaging av slurry egnet for nedpumping og utlegging.....	7
3.2	Beskrivelse av utstyr for utleggingen.....	8
3.3	Beskrivelse av leiremassene.....	13
4	RESULTATER AV MILJØOVERVÅKING	14
4.1	Overvåking av vannsøylen med blåskjell.....	14
4.2	Miljøgiftanalyser av vann.....	15
4.3	Turbiditet.....	16
5	RESULTATER.....	20
5.1	Fiskeundersøkelsen	20
5.2	Tillaging av leire slurry og utlegging av masser	20
6	ETTERUNDERSØKELSER.....	23
6.1	Vurdering av tildekkingen.....	23
6.2	Prøvetaking av sediment	23
6.3	Kjemiske analyser av kjerneprøver og utlagt leire.....	34
6.4	ROV-undersøkelser av områdene etter utlegging	37
6.5	Akustisk verifikasjon av oppnådd tildekkingstykkelse.....	38
6.6	Oppvirvling av sediment som følge av båttrafikk.....	39
7	DISKUSJON	40
7.1	Valg av teknologiske løsninger	40
7.2	Overvåking	41
7.3	Sammenlikning med andre prosjekter.....	42
7.4	Anbefalinger.....	43
7.5	Kostnader	43
8	KONKLUSJON.....	44

9 REFERANSER.....	45
10 FORKLARING TIL NOEN ORD OG UTTRYKK.....	46

Vedlegg:

1. Bjørvika piloten. Rapport etter oppmåling, Sea scan AS
2. Design av munnstykke til utlegging av tynne lag leire, DHI
3. Resultater av sedimentasjonsforsøk i laboratoriet, DHI, SyddanskUniversitet
4. Analyse rapportene fra Eurofins
5. Del rapport Fiskeundersøkelsene i forkant av anleggsarbeidene, RF
6. Prosedyrer under anleggsarbeidene, RF
7. Skipsindusert sedimentoppvirvling, DHI
8. Strøm og Sidescan sonar målinger, DHI
9. Modellering av sedimentspredning og fordeling, DHI
10. Rådata fra feltarbeid, turbiditetsdata, RF

1 Innledning

Statens vegvesen inviterte utvalgte selskaper til å levere tilbud på utføring av et forsknings- og utviklingsprosjekt med en fullskala utprøving av tildekking av forurenset sjøbunn med rene leiremasser. Bakgrunnen for prosjektet er at Statens vegvesen ønsker å disponere de rene overskuddsmassene (leiren) fra E-18 Bjørvika-utbyggingen til å dekke over forurensete sedimenter i Indre Oslofjord. For å vurdere hvorvidt dette er teknisk og miljømessig mulig var det nødvendig å finne ut om leiremassene kunne legges ut uten å virvle opp forurensetingen i den eksisterende sjøbunnen, samt å oppfylle nødvendig kapasitet i oppgraving og utlegging for Bjørvika-prosjektet i anleggsfasen (2000 m³/dag).

Før en slik fullskala tildekking vil kunne finne sted var det nødvendig å gjennomføre et pilotprosjekt i mindre målestokk. DNV gjennomførte en utredning i 2003 (DNV-rapport 2003-0869) hvor aktuelle områder for tildekking ble foreslått. Denne utredningen sammen med en utredning av strøm og sediment forholdene (DNV-rapport 2004-0870) i de utvalgte områdene dannet grunnlaget for pilotprosjektet.

Til pilotprosjektet ble det tilgjengelig 2100 m³ med leire som skulle legges ut på 20 m og 90 m dyp. Det skulle i tillegg vurderes ulike tykkelser på dekklaget henholdsvis 0,1 m og 1,0 m.

SKANSKA AS har vært ansvarlig for prosjektledelse og har vært utførende entreprenør. Rogalandsforskning har vært ansvarlig for miljøovervåking, prøvetakning og oppfølging i anleggsfasen, verifikasjon av arbeidene og sluttrapportering. DHI har vært ansvarlig for innledende laboratorietester, teknisk vurdering av sedimentasjonsproblematikken, design av munnstykke, modellering av oppvirvling fra båttrafikk og utbredelse av leire, samt teknisk rådgiver.

Dette prosjektet har søkt svar på følgende problemstillinger:

- Optimalt vanninnhold i massene til utlegging
- Hvilken metode som er best ved utlegging, design av utstyr
- Kontroll av tykkelsen og utbredelsen av det utlagte dekklaget
- Ulike miljøaspekter slik som sedimentasjon, i hvilken grad det virvles opp forurenset sjøbunn ved tildekkingen og om dekklaget inneholder miljøgifter etter utlegging.

Konseptet som ble valgt bygger på at det ble laget en slurry av leiren ved å blande den med sjøvann. Slurryen ble pumpet ned til rett over sjøbunnen hvor den ble spredd ut ved hjelp av en spesialdesignet diffusor/munnstykke. Arbeidene ble kontinuerlig overvåket av personell fra Rogalandsforskning som tok prøver av turbiditet og vann samt dokumenterte utleggingene. Tykkelsen og utbredelsen av dekklaget ble undersøkt i etterkant ved hjelp av sedimentprøvetakning samt ROV og sidescan sonar.

Denne rapporten sammenfatter de innledende undersøkelsene, resultatene fra oppfølgingen i felt, resultatene fra simuleringsarbeidene til DHI samt verifikasjonen av utført arbeid.

2 Beskrivelse av områdene

Oppdragsgiver hadde basert på tidligere arbeider (DNV- rapport nr. 2003-0869, DNV rapport 2004-0870) kommet frem til at tildekkingen skulle utføres på to forskjellige steder:

1. I nærområdet utenfor Bjørvika (Område 1). Tildekkingen skulle gjennomføres i to delområder innenfor et på forhånd angitt kvadrat. Kriteriene for disse områdene var at de skulle ha vanddyb mellom 15 og 30 m samt være på 70 * 70 m og 30 * 30 m.
2. Utenfor Ursvik/Hellvik (Område 2) - østsiden av Nesodden på om lag 90 m dyp.

Kriteriene for utvelgelse av Bjørvika var: nærhet til anleggsområdene og at området er forurenset med miljøgifter. DNV rapport 2004-0870 viste at sedimentene var forurenset tilsvarende SFT tilstandsklasse IV (*Sterkt forurenset*) for sum PCB₇, benzo(a)pyren, sum PAH og V (*Meget sterkt forurenset*) for TBT (tributyltinn). Metallkonsentrasjonene tilsvarte tilstandsklasse II (*Moderat forurenset*) og III (*Markert forurenset*) med unntak av kvikksølv som ble funnet i nivåer tilsvarende *Sterkt forurenset* (kl. IV) og *Meget sterkt forurenset* (kl. V). Denne forurensningen kan antas å være representativt for de områdene som kan tildekkes i Indre Oslo Havn. Strøm- og turbiditetsmålingene viste at området var egnet til tildekking. Målingene ved bunnen viste generelt lave strømhastigheter (varierte mellom 0 – 12 cm/s med gjennomsnitt på 3,6 cm/s) og liten turbiditet (verdiene er stabilt lave 0,2-0,3 NTU). Ved å legge 10 – 20 cm tykt lag med rene leiremasser kan store deler av de forurensete sedimentene i Indre Oslo Havn tildekkes.

Kriteriene for utvelgelse av Bunnefjorden var: kapasitetsmessige årsaker (område utenfor Ursvik/Hellvik har et areal på 0,65 km²) og er forurenset tilsvarende tilstandsklasse III for sum PCB₇, benzo(a)pyren, sum PAH og tilstandsklasse IV mht TBT (DNV rapport 2004-0870). Denne forurensningen kan antas å være representativt for de områdene som kan tildekkes i Bunnefjorden. Strøm- og turbiditetsmålingene viste at området var egnet til tildekking. Ved å legge et isoleringslag på 1 m tykkelse i dette området er det mulig å bruke hele volumet (560 000 m³) for å tildekke den forurensete sjøbunnen.

Artssammensetning og individantall viste et vesentlig forstyrret faunasamfunn med lavt artsmangfold i begge områdene. I Bjørvika var det øverste sedimentet finkornet og nokså bløtt, over et fastere lag med mer leirelignende konsistens. I Bunnefjorden var det øverste sedimentet finkornet og bløtt, ca 20-30 cm tykt, over et fastere lag med mer leirelignende konsistens (DNV rapport 2004-0870).

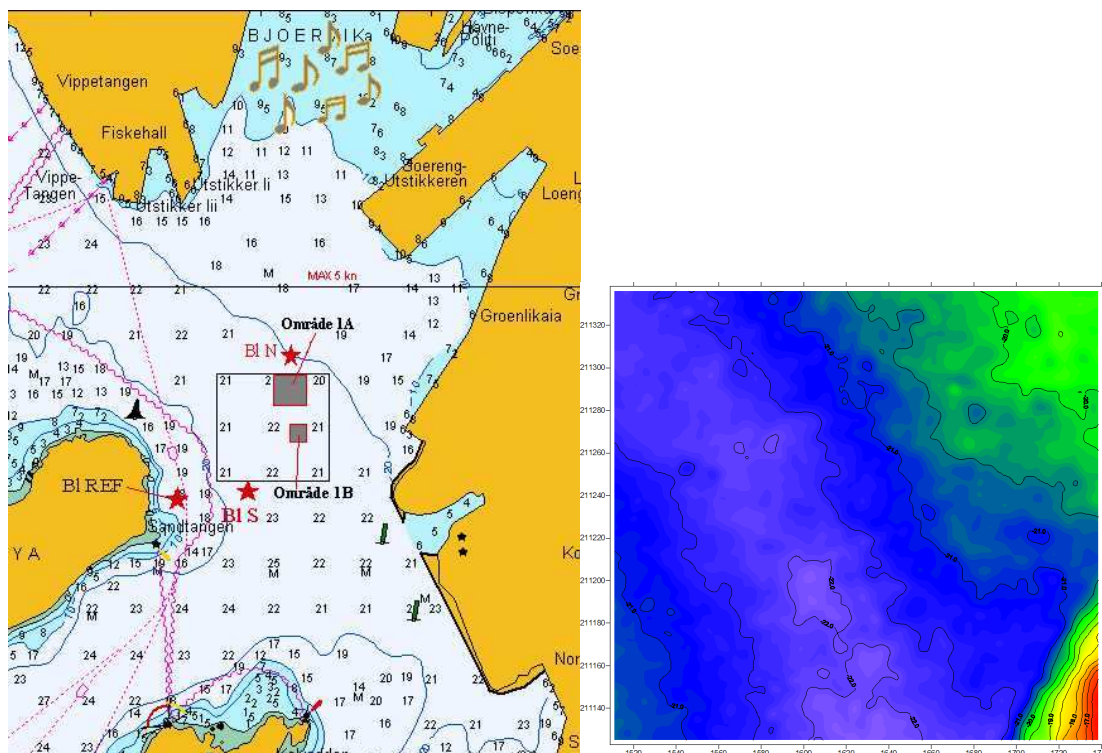
Felles for områdene som skulle tildekkes var at de skulle ha så flat bunntopografi som mulig, samt ikke inneholde objekter som kunne vanskeliggjøre utleggingen. Før tiltakene kunne iverksettes ble områdene derfor kartlagt med ekkolodd SeaScan,

Vedlegg 1) og undersøkt med ROV (Remote Operated Vehicle) (Vedlegg 5). Kartlegging av bunnforholdene dannet grunnlaget for utvelgelse av delområdene. Undersøkelsene viste at områdene i dyprenna i fjordene var flate nok til å være egnet til tildekkingen. Undersøkelsene avdekket ingen store objekt på bunnen.

ROV undersøkelsen vurderte tilstedeværelsen av fisk i tillegg til å gi et visuelt inntrykk av bunnforholdene. I Bjørvika var bunnforholdene relativt homogene med unntak av noe søppel (wire, tau, trestykker, presenning med mer) som lå på bunnen. Sedimentene i begge områdene bar preg av høy organisk belastning og liten vannutskiftning. Det var små ujevnheter på bunnen, men det ble ikke observert noe som kunne være til hinder for utleggingen.

2.1 Bjørvika

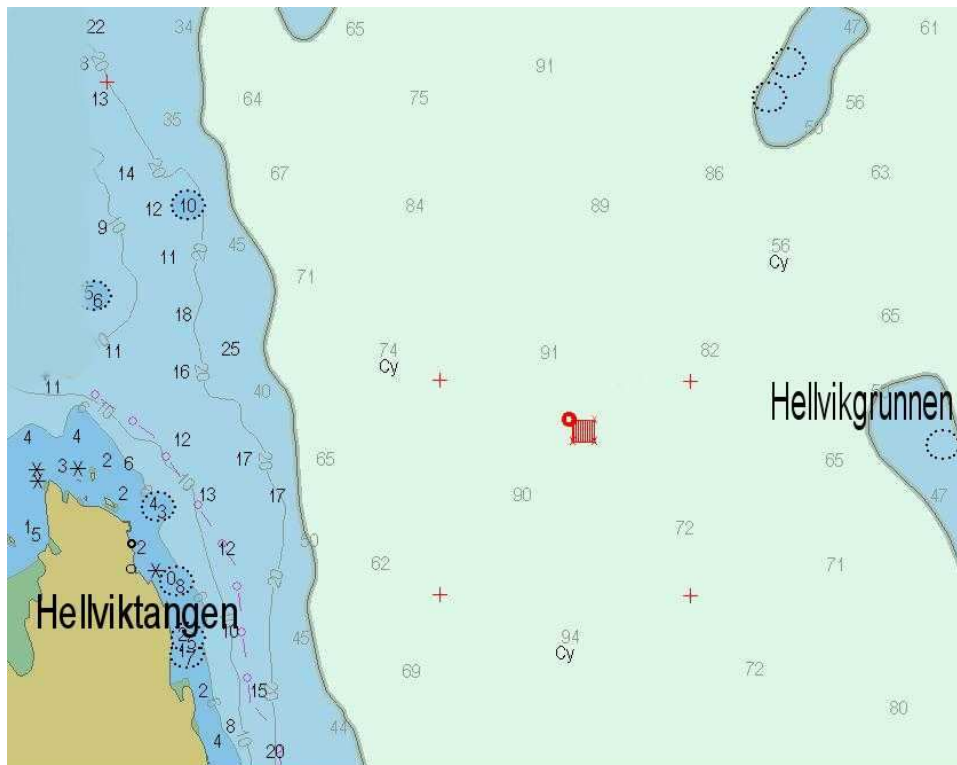
I Bjørvika, nærmere bestemt mellom Hovedøya og Grønlikaia på 20 m dyp ble det valgt ut to delområder som skulle tildekkkes med henholdsvis 0,1 og 1 m leire. Områdene er plassert som vist i Figur 2.1. Koordinatene for midtpunktet i område 1A og 1B er hhv $59^{\circ} 53,867$ $10^{\circ} 44,860$ og $59^{\circ} 53,8297$ $10^{\circ} 44,880$ (WGS 84). Område 1 A er $70 * 70$ m og var planlagt dekket til med 0,1 m leire. Område 1 B er $30 * 30$ m og skulle dekket med 1,0 m leire. Som vist i Figur 2.1 høyre side (utsnitt tilsvarende omtrent firkantet utsnitt på sjøkart til venstre) har områdene valgt til tildekkingen relativt lik dybde (kart fra SeaScan rapport Vedlegg 1).



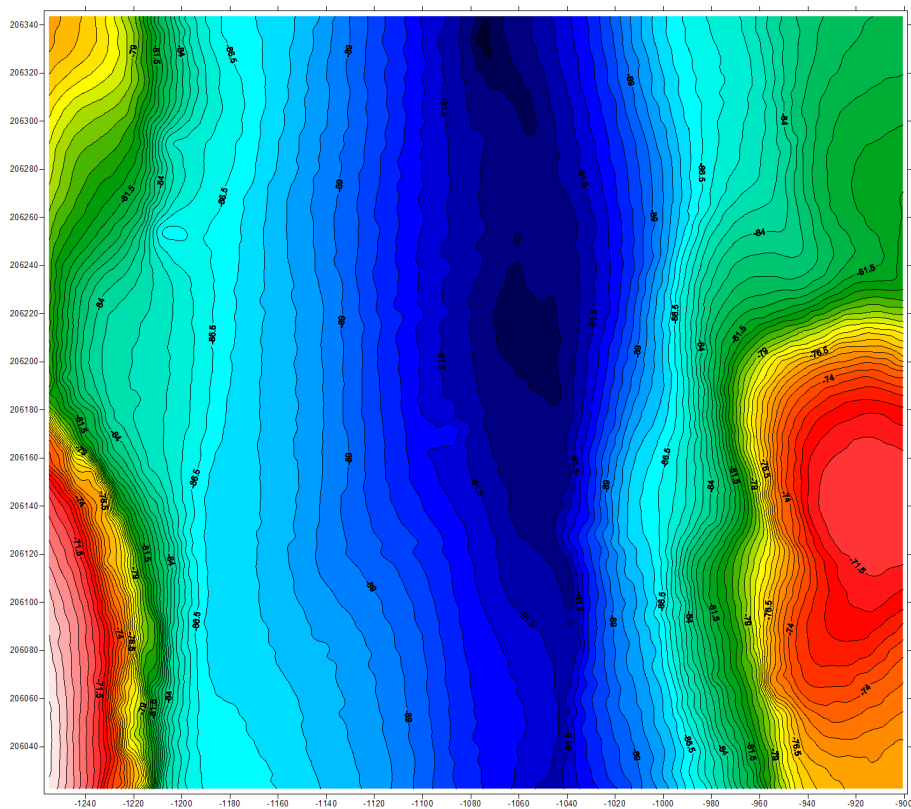
Figur 2.1. Til venstre: Tildekkingsområde 1A og 1B ved Bjørvika, koordinatene for midtpunktet i område 1A og 1B er hhv $59^{\circ} 53,867$ $10^{\circ} 44,860$ og $59^{\circ} 53,8297$ $10^{\circ} 44,880$, Stjernene angir stasjoner for blåskjellriggjene. BI REF = blåskjell referansestasjon, BI N = Blåskjell nord og BI S = blåskjell sør. Til høyre kotekart (SeaScan, Vedlegg 1) over deler av samme område med isolinjer pr 0,5 m, de dypeste områdene (lys lilla) er 22 m.

2.2 Bunnefjorden øst for Ursvik

I Bunnefjorden nærmere bestemt området mellom Hellviktangen og Hellvikgrunnen ble det valgt ut et område på 30 * 30 m for tildekking av 1,0 m tykt leirelag. Dypet var rundt 90 m og representativt for områder som er aktuelle for en fullskala tildekning. Koordinatene for midtpunktet for utlegging var 59° 51,1653 10° 41,9527 (WGS 84). Som vist i Figur 2.2 under var det ett lite avvik fra planlagt midtpunkt og det reelle, men dette har ingen praktisk betydning da området har flat bunntopografi.



Figur 2.2. Kart over området utenfor Ursvik. Røde kryss angir utsnitt til detaljert kotekart i Figur 2.3. Rød firkant (30*30 m) angir anbefalt område for tildekking og rød sirkel angir midtpunkt for utleggingen.



Figur 2.3. Detaljert bunnkart over Bunnefjorden, Hellvikbanken kan sees som det røde feltet i høyre kant av kartet, kilde SeaScan rapport Vedlegg 1.

3 Innledende undersøkelser og utforming av utstyr

3.1 Tillaging av slurry egnet for nedpumping og utlegging

For å legge ut leire på sjøbunnen ble det raskt klart at den måtte blandes med sjøvann for å kunne legges kontrollert ut. Følgende egenskapskrav ble satt til leireslurry-:

- Være pumpbar
- Holdes i suspensjon 4-5 timer etter oppblanding for å transporteres til utleggingslokaliteten.
- Legge seg på bunn uten videre utblanding i vannsøylen
- Ikke virvle opp opprinnelig sediment under utleggingen.
- Oppnå ønsket tykkelse på tildekkingslagene.
- Unngå resuspensjon som følge av bunnstrømmene i området.

For å løse disse utfordringene gjorde DHI flere laboratorietester av leirmassenes egenskaper ved ulike oppblandinger i sjøvann. Disse arbeidene er rapportert i sin helhet i Vedlegg 2 og 3. Hovedkonklusjonene var at ved en blanding av leiren til 1:2 leire:sjøvann så ville blandingen kunne holdes i suspensjon i 4-5 timer. Hvis det monteres røreverk så kan blandingsforholdet være 1:1 noe som gir et vanninnhold på 63 %. Ved denne utblandingen har leiren en konsistens som maling med tydelige thixotropiske egenskaper.

Empiriske forsøk utført på lekter under utblandning viste at leiren, etter å være blandet ut 1:1, ved utlegging i vann oppførte seg som et to-fase system. Dvs. at leiren sank til bunns uten innblanding i vannet og la seg som et lag i bunn av prøveglasset.

Oppvirvling av bunnsediment under utlegging er avhengig av to forhold:

- **Direkte påvirkning** umiddelbart utenfor utleggingsmunnstykket (diffusor) på bunnsedimentene som følge av den utstrømmende slurrystrålen. Denne påvirkningen vil avhenge av munnstykkets høyde over bunn og av utløpshastigheten. Påvirkningene vil selvsagt være størst ved oppstart, men ved videre utlegging i samme punkt vil den allerede utlagte leiren virke som en støtpute.
- **Påvirkning av bunnsedimentene** som følge av den relativt tunge slurry som flyter utover bunnen. Slurryen vil bre seg radielt utover det opprinnelige sedimentet. Da tettheten til det øverste sedimentlaget (1-2 mm) kan antas å være lavere enn leireslurryen så er det mulig at slurryen skyver det øverste laget (noen millimeter) foran seg eventuelt at det legger seg oppå slurryen. Dette kan medføre en innblanding av opprinnelig sediment i den utlagte massen. Ved å

legge ut massen i flere omganger fra samme punkt så vil denne effekten begrenses.

Disse forholdene ble antatt å bli best ivaretatt ved den anbefalte fortyningen på 1:1.

Vanninnholdet i leiren ble bestemt ut fra hva som var mest gunstige egenskaper for pumping og transportering. Når leiren ble lagt ut og i den påfølgende tiden ville leiren spre seg utover som følge av en tetthetsgradient til den kom i likevekt. Denne spredningen er styrt av gravitasjonskrefter og slurryens flyteegenskaper, dette er behørig beskrevet i DHI sin rapport (Vedlegg 2). DHI gjorde innledende beregninger på flyteegenskapene og kom frem til at leiren ville spre seg omtrent 6 m fra utleggingspunktet hvis det var et 0,2 m tykt lag og 140m hvis det var et 1,0 m tykt lag med leire. Dette tilsa at det ville være tilnærmet umulig å kunne legge ut et 1,0 m tykt lag med leire innefor et område avgrenset med 30*30m med den mengde leire som var stilt til rådighet.

Erosjon av det utlagte leirelaget ble beregnet til å starte ved strømhastigheter over 0,28 m/s. Den vanlige bunnstrømmen i områdene er under 0,1 m/s slik at man kan anta at bunnstrøm ikke vil oppvirvle leirelaget.

3.2 Beskrivelse av utstyr for utleggingen

3.2.1 Prosjektering av diffusoren

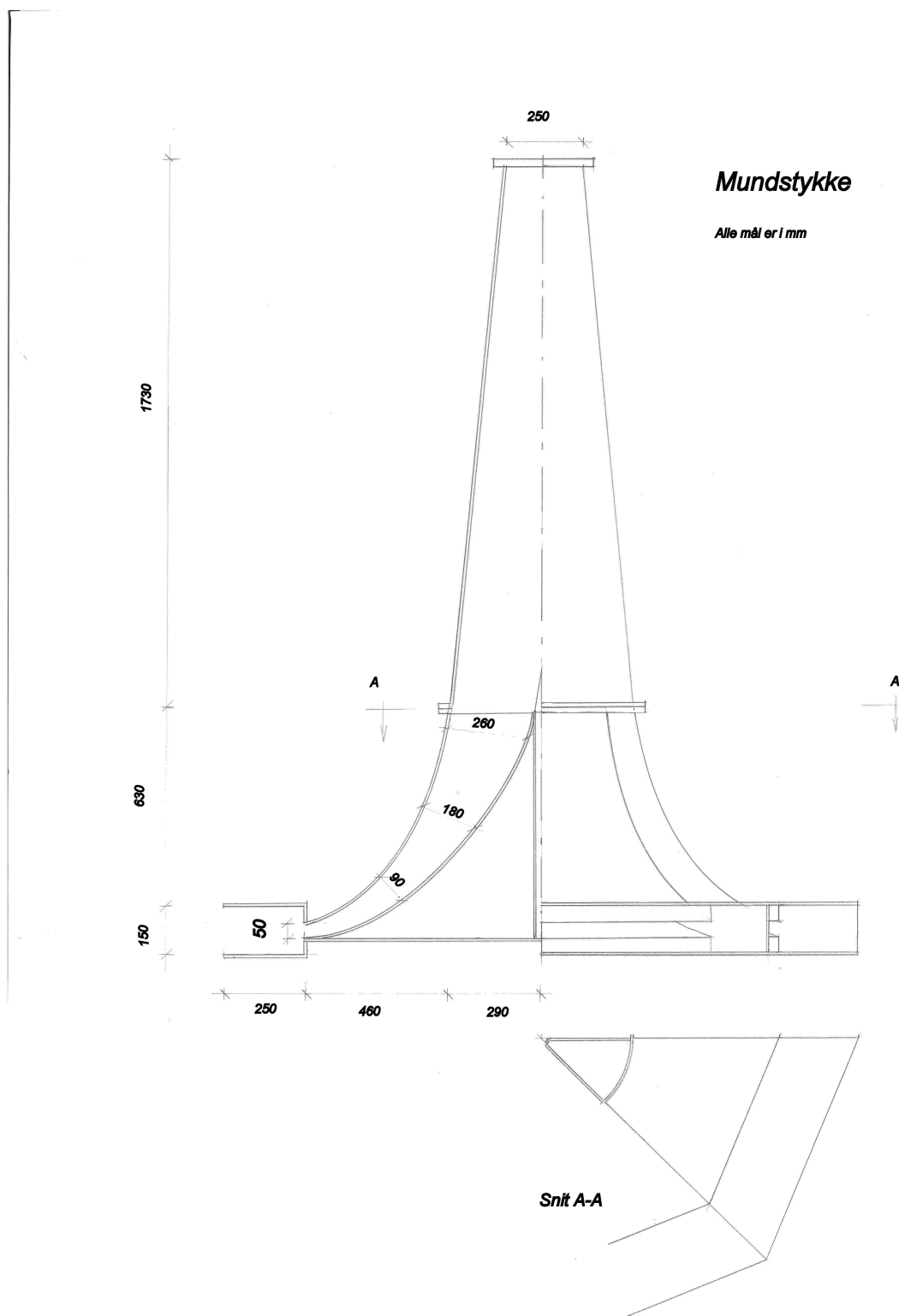
Beregninger og design av munnstykke ble utført av DHI (full rapport i Vedlegg 2) og i dette kapittelet vil vi gjengi de vesentligste momenter.

Utgangspunktet for designet var utlegging av masser ved en rate på 2100 m³ per dag (10 timer). Konklusjonen fra arbeidet var at munnstykket ble utformet som en trompet, hvor diameteren gradvis økes samtidig som strømningsretningen avbøyes 90^o, den største utvidelsen av diameteren skjer umiddelbart før utløp.

Munnstykket består av følgende deler:

En konisk diffusor hvor innløpsdiameteren er 125 mm og utløpsdiameteren 580 mm som gir et ekspansjonsforhold på 22. Lengden tilsvarer 40 innløpsradier for å oppnå en stabil gjennomstrømning.

En kombinert 90^o bøyning og en videre ekspansjon på 1,3 som tverrsnittsareal, etterfulgt av en svak innsnevring til en spaltehøyde på 50 mm ved innløp til den siste utvidelsen. Denne oppbygningen av munnstykket reduserer strømningshastigheten fra 2,44 m/s i innløpet til 0,24 m/s ved utløpet, samt dreier utstrømningsretningen fra vertikal til horisontal akse. Figur 3.1 viser en skisse av munnstykket med påtegnede mål.



Figur 3.1. Prinsippskisse av munnstykket. (DHI rapport, Vedlegg 2)

3.2.2 Lekter med blandeutstyr

Flere ideer omkring utstyrvalg ble drøftet. Spesielle utfordringer lå i utforming av diffusor, pumpeutstyr og blanding leire/vann til egnet slurry. Det ble valgt å bruke en 300 m³ lekter som blandekar og transportredskap til utleggingsstedet. Til transport av massene fra lekteren ble det valgt å benytte en stor slampumpe som pumpet massen via 250 mm rør til diffusor. Ved blanding av massene og under transport fungerte pumpen som en intern sirkulasjonspumpe.

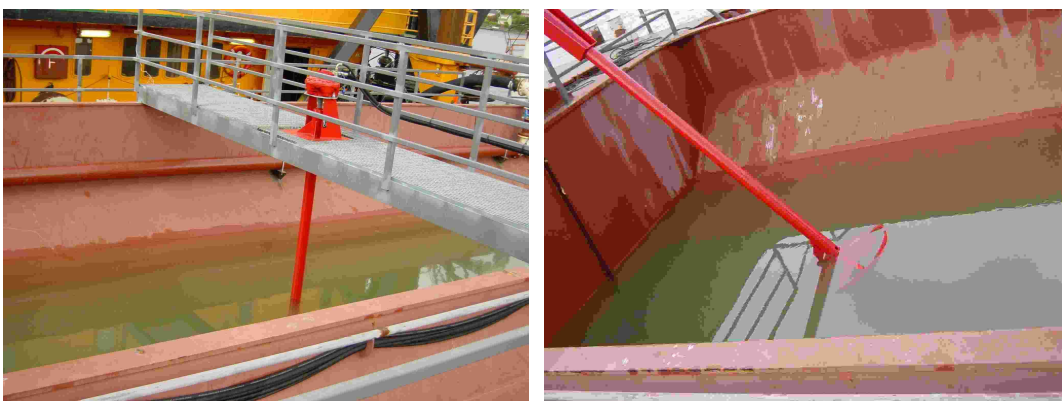
Til miksing av leirmassene til slurry samt holde massene i suspensjon ble det montert to hydrauliske visper.

Mengde av leire og vann som ble tilført lekteren ble kontrollert ved hjelp av henholdsvis antall gravemaskinsskuffer med leire, og mengdemåler på sjøvannspumpe.

Blanding av leire og vann ble utført på flere måter og gradvis modifisert. Den beste metoden viste seg å bestå av en remikser på land, hvor leire og vann ble blandet før sluryen ble tilført lekteren.



Figur 3.2. 300 m³ lekter sett mot slampumpen i enden av lekteren



Figur 3.3. Bilde av hydraulisk mikser, en plassert i midten av lekteren og en i motsatt ende av slampumpen.

3.2.3 Utleggingsfartøy

Til utlegging og manøvrering ble det benyttet et mudringsapparat med peleføring M/A FRIGG. Nedføringsrøret med ventil og diffusor ble montert i en peleføring på mudringsapparatet og kunne derfor manøvreres både horisontalt og vertikalt. For å holde posisjonen ble det lagt ut fire moringer a 8 tonn som utleggerfartøyet kunne manøvrere seg mellom ved bruk av fartøyets vinsjer. Nøyaktig posisjonering skjedde ved hjelp av GPS-utsyr, fast montert i peleføringen.



Figur 3.4 Utleggerfartøy sett mot front. Pæleføringen med rør ses i front av fartøyet. Til venstre for fartøyet ligger lekteren fortøyd og klar til pumping av masse. Helt til venstre i bilde ses havnevesenets sightseeing båt.

3.2.4 Rørsystem og diffusor

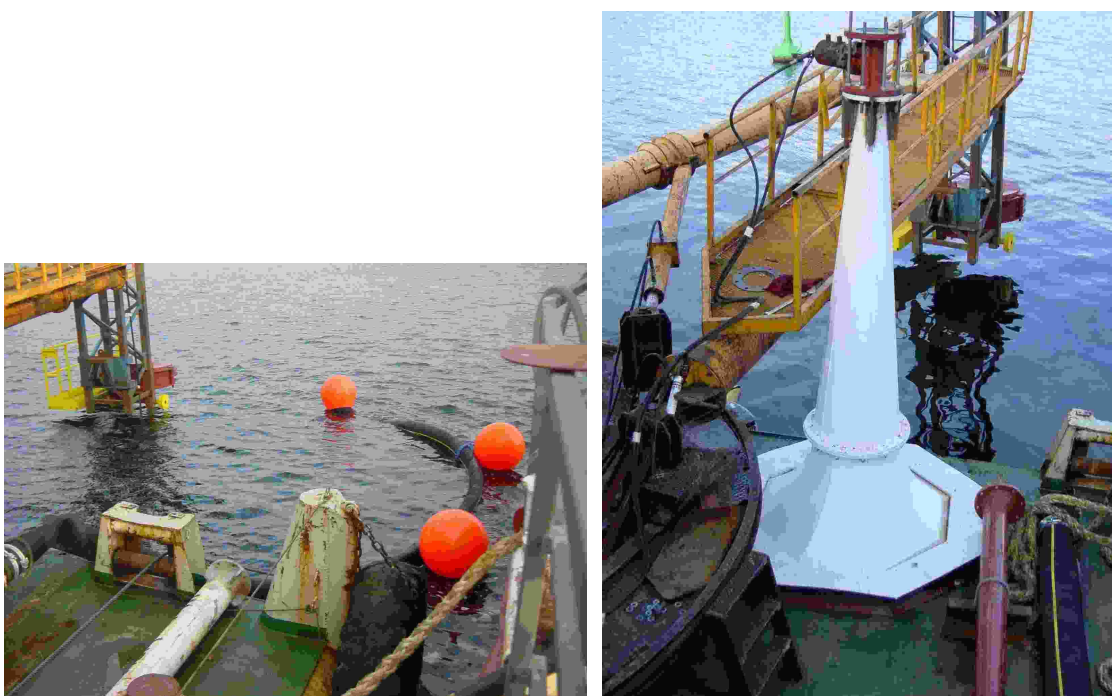
Det var en viss usikkerhet knyttet til hevert effekten i utleggingsrøret og ved utlegging kunne man risikere at utleggingshastigheten kom ut av kontroll. For å regulere hastigheten på massene ble det montert en hastighetsmåler ved rørgaten og en hydraulisk strupeventil i overkant av diffusor.



Figur 3.5. Til venstre T-kopling i lektar, påkoplingspunkt mellom lektar og utleggerfartøy, til høyre overgang til utleggerfartøy.



Figur 3.6. Til venstre måleinstrument for utleggingshastigheten, til høyre overgang fra fast rør til fleksibel sjøledning ut til pæleføringen.



Figur 3.7. Til venstre fleksibel sjøledning ut til vertikalt utleggerrør, til høyre diffusor/munnstykket.

3.3 Beskrivelse av leiremassene

Leiremassene kom fra utgravingen av kjelleren til operabygget i Bjørvika. Leirmassene ble gravd fra ca kote -12 -16. Massene ble vurdert som representative for fremtidig utgraving av senketunnelen. Leiren hadde et naturlig vanninnhold på om lag 26 % og organisk innhold på om lag 3 % (tall fra DHI sine analyser). I forkant av transport fra Bjørvika til mellomlager gjorde oppdragsgiver analyser av leiren som viste at den var ren med hensyn til miljøgifter.

4 Resultater av miljøovervåking

4.1 Overvåking av vannsøylen med blåskjell

Da utleggingsområdet er belastet av et vidt spekter av miljøgifter var det ønskelig å i størst mulig grad få de utsatte blåskjellene i likevekt med det omkringliggende miljø før anleggsperioden startet. Dette for at en ikke i ettertid måtte diskutere hvorvidt en eventuell økning i miljøgiftinnholdet i blåskjell skyldes andre forhold enn selve utleggingen. Den 18/8-2004 ble blåskjell hentet fra Dagerskjær nord for Bleikøya, temperaturen i vannet var om lag 20°C. En prøve av blåskjellene ble tatt ut for miljøgiftanalyse, og skjellene ble fordelt i tre nettingspølser a 3-4 kg. To blåskjellrigger ble satt ut, en sør for tiltaksområdet i Bjørvika (to pølser med blåskjell) og en referansestasjon (en pølse med blåskjell) ved Hovedøya se Figur 2.1. Skjellene fikk stå ute til anleggsoppstart 12/10-2004 dvs. 8 uker. Før oppstart ble den ene stasjonen hvor de to blåskjellpølsene hang dradd opp og en blåskjellprøve sendt til analyse. Resten av skjellene ble splittet i to og fordelt på en stasjon nord og en sør for tiltaksområde. Strømdata tilsier at hovedstrømretning er nord-sør, (DNV rapport 2004-0870).

Etter anleggsarbeidet var ferdig 4/11-2004 ble blåskjellriggene tatt opp og prøve sendt til analyse.

Det ble ikke gjort tilsvarende overvåking med blåskjell i Bunnefjorden.

Resultatene viser at skjellene har akkumulert litt mer metaller etter å ha bli flyttet til tiltaksområdet. Men i anleggsperioden er det ingen økning i metaller som kan tilskrives tiltaket (Tabell 4.1). Analyse metodikk og deteksjonsgrenser er gitt i Vedlegg 4.

Koding av SFTs miljøklasser (Veiledning 97:03)

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

Tabell 4.1. Resultater fra blåskjell analyser før og etter tiltaksperioden i Bjørvika, fargen gjenspeiler fargekodene i SFTs miljøklassifiseringssystem gjengitt ovenfor. Verdier uten farge angir tilstandsklasse 1 (ubetydelig forurenset).

Parameter	Null prøve	Oppstart sør etter 8 uker	Ref. etter 12 uker	Nord etter 12 uker	Sør etter 12 uker
TBT, µg/kg tørrvekt	514,5	349,6	526,6	484,2	478,9
Sum PAH detekterbare, µg/kg	3,7	24,2	23,1	21,4	18,9
PCB, mg/kg tørrvekt	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Bly, mg/kg tørrvekt	1,7	3,9	3,5	3,3	2,9
Kadmium, mg/kg tørrvekt	1,6	2,5	1,8	1,5	1,6
Kvikksølv, mg/kg tørrvekt	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1
Arsen, mg/kg tørrvekt	5,8	9,2	10,5	9,9	9,9
Kobber, mg/kg tørrvekt	7,2	16,0	9,1	8,8	8,6
Krom, mg/kg tørrvekt	1,4	2,3	1,4	1,2	1,3
Nikkel, mg/kg tørrvekt	1,3	1,7	1,3	1,1	1,1
Sink, mg/kg tørrvekt	80	134,5	118,9	105,3	98,7
Tørrstoff, %	13,80	11,9	14,3	17,1	15,2
Fettinnhold, %	0.70				

Vi ser en økning i PAH (ikke over tilstandsklasse I) i prøvene som har stått ute etter 8 uker dvs før anleggsperioden, og etter anleggsperioden så er nivå mer eller mindre det samme i alle prøvene. På bakgrunn av dette kan vi tilskrive denne økningen at blåskjellene har kommet i likevekt med PAH og metaller i vannmassene og at anleggsarbeidet ikke har medført en økning av PAH, metaller eller andre miljøgifter i blåskjellene.

4.2 Miljøgiftanalyser av vann

Da det var forventet en viss oppvirvling av leire og eventuelt opprinnelig sediment, skulle det tas en prøve 1 m over bunn i umiddelbar nærhet av utleggingspunktet. Denne prøven skulle splittes i vann og faststoff (partikler) som skulle analyseres separat for å kunne si om det suspenderte stoffet var ren leire eller oppvirvlet sediment. Til dette arbeidet ble det brukt en Niskin-vannhenter med et volum på 2 liter. Det viste seg at prøvene ikke inneholdt partikler som kunne tas prøve av (dette samsvarte med andre resultater samt video av utleggingen), men vannfasen ble sendt til analyse av miljøgifter. Prøvene ble tatt under utlegging ved 20 og 90 % av utlagt masse i hvert delområde.

Resultatene fra analysen (Tabell 4.2) viste at det er litt høye verdier av sink og bly i noen av prøvene. Bly er spesielt høyt i Bunnefjorden (tilsvarende tilstandsklasse 4). Analysemetodikk er gitt i Vedlegg 4.

Tabell 4.2. Resultater av vannprøver tatt under utlegging av massene i de ulike delområdene ved gitte tidspunkt. Fargene henspeler til SFTs tilstandsklasser. Verdier uten farge angir under deteksjonsnivå ved valgt metode. Område 1A og 1B var i Bjørvika og område 2 var i Bunnefjorden.

Parameter	D.g.	Område 1A 20%	Område 1A 90%	Område 1B 20%	Område 1B 90%	Område 2 20%	Område 2 90%
TBT, µg/l	µg/l	< 0,02	< 0,02	0,03	0,04	< 0,02	< 0,02
PCB, µg/l	0,01	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Arsen, µg/l	2	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	2,80	2,80
Bly, µg/l	0,2	0,30	< 0,2	< 0,2	0,41	0,63	0,64
Kadmium, µg/l	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Krom, µg/l	1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Kobber, µg/l	3	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
Kvikksølv, µg/l	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nikkel, µg/l	2	2,50	< 2,0	< 2,0	3,00	< 2,0	< 2,0
Sink, µg/l	2	4,40	4,20	< 2,0	2,90	2,80	9,00

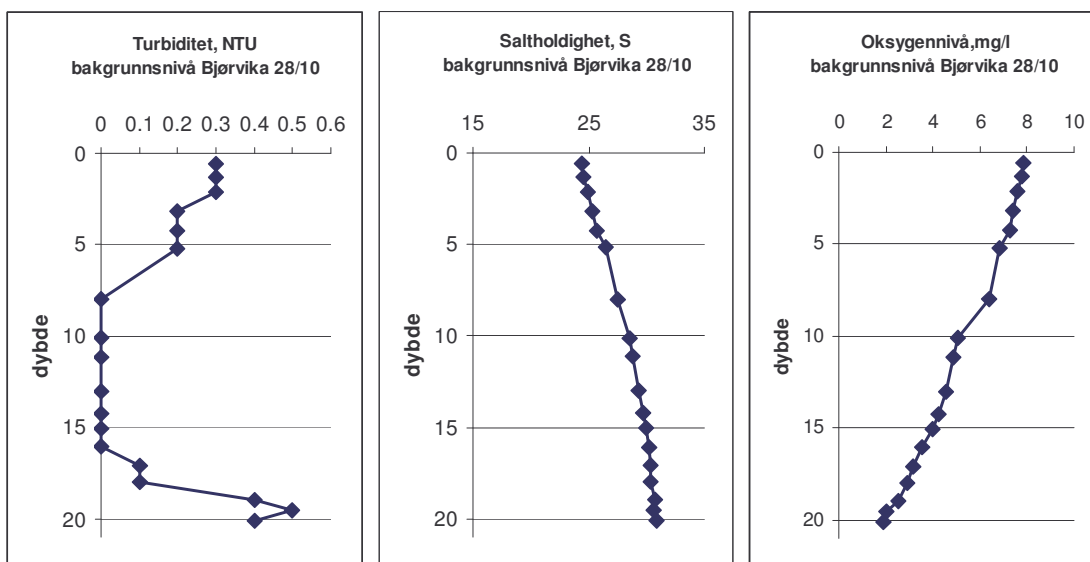
Deteksjonsgrensene er relativt høye i forhold til en vurdering av om vannprøvene var tatt i helt uforurensede vannmasser eller ikke. Meningen var at vannprøvene skulle sammenliknes med analyser av partikler i samme prøve. Man kan anta at de signalene vi ser mht. forhøyede metallkonsentrasjoner ikke skyldes utleggingen, men kan tilskrives bakgrunnskonsentrasjon, prøvetakning og analysemetode. Hvis dette skulle være et resultat av frigjøring av miljøgifter i opprinnelig sediment kunne man forventet økte verdier av flere parametere særlig PAH. Vi vil vakte oss for å trekke noen konklusjoner ut fra disse resultatene, utover at det høyst sannsynlig ikke har forekommet en spredning av miljøgifter fra opprinnelig sediment til vannsøylen som følge av tildekkingen.

4.3 Turbiditet

Turbiditet i område 1 (20 m) ble målt ved hjelp av YSI 9820 turbiditetsmåler med skjerm og lagringsenhet, men i Bunnefjorden var det for dypt for dette instrumentet og en Aanderaa RCM9 MK II ble benyttet. Prosedyre for arbeidene samt beskrivelse av feltarbeidet er beskrevet i Vedlegg 6. YSI måleren ble testet med hensyn til egnethet for leirepartikler før igangsettelse av arbeidene (Vedlegg 6).

4.3.1 Bjørvika

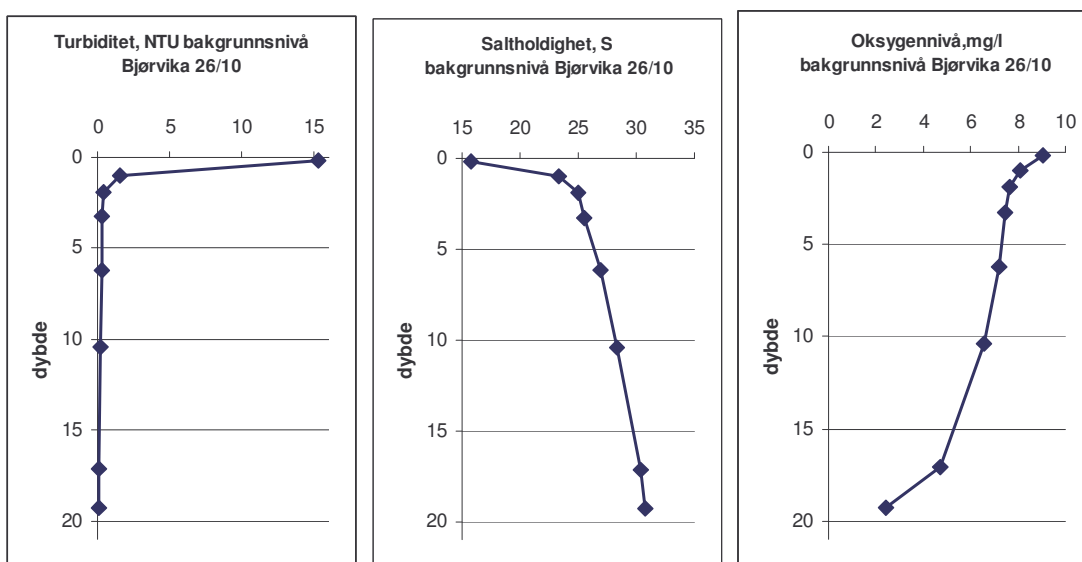
Bakgrunnsverdiene var veldig stabile gjennom anleggsperioden og er her eksemplifisert med data fra den 28/10-2004. Turbiditeten er tilnærmet null i hele vannsøylen, men har en marginal økning i overflatelaget og helt nede ved bunnen (Figur 4.1). Saltholdigheten viste en jevn økning mot dypere vannlag uten markant sprangsjikt. Oksygennivåene var minkende med økende vanddyp og vi målte lave oksygenverdier i bunnvannet. Dette var en gjennomgående trend ved alle måletidspunkt. Temperaturen er ikke grafisk fremstilt da den var mer eller mindre stabil på 10°C i hele vannsøylen.



Figur 4.1. Representative bakgrunnsverdier av turbiditet, saltholdighet og oksygen i Bjørvika i anleggsperioden, her eksemplifisert med data fra 28/10-2004.

Episode med forhøyet turbiditet i bakgrunnsverdiene.

26. oktober var det svært dårlig sikt i vannet grunnet store nedbørsmengder dagen før. For å utelukke spekulasjoner rundt årsaksforholdet ble det gjennomført turbiditetsmålinger flere steder i området før utleggingen startet (Figur 4.2 viser normalkurvene). Det var stabile forhold med turbiditet rundt 15 i overflatevannet og en rask reduksjon ved 2 m dyp. Saltholdigheten viser klart at det er et etablert overflatelag med lavere saltholdighet.



Figur 4.2. Bakgrunnsverdier av turbiditet, saltholdighet og oksygen den 26/10 før utlegging av masse.

Disse forholdene skiller seg ut fra normal bakgrunn ved at turbiditeten og saltholdighetsprofilen den 26/10 er markant forskjellige i forhold til normal bakgrunn. Med andre ord kan den økte turbiditeten tilskrives ferskvannsavrenninger fra land.

Målinger under utlegging av masser

Det ble ikke observert noen vesentlig spredning av partikler i vannfasen (over om lag 10 NTU 1 m over bunn) under anleggsarbeidet. Det ble tatt målinger ved hver utleggingslekter i startfasen, men etter 10 utlegginger uten påvisning av spredning ble måleomfanget redusert til om lag hver annen utlegging. Det var noen tilfeller av økt turbiditet (0-10 NTU) 0,5 -1 m over bunn, men samtidig var det ikke noe økt turbiditet i vannsøylen (fra 1 m over bunn til overflaten).

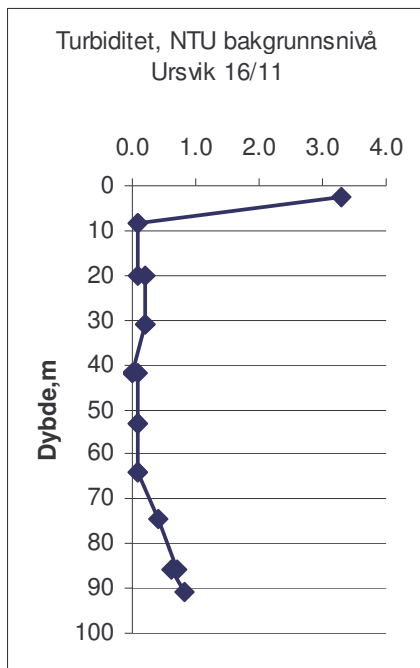
20. oktober ble det observert turbiditet på 3,5 NTU 0,5 m over bunn ved 10 m avstand nord nordvest av diffusor. Dette var under vasking og utspyling av lekter og rør. Målte også turbiditet opp imot 8 NTU rundt 20 m nord for diffusor men dette var svært nær bunn. 1 m over bunn var turbiditeten nede i om lag 0,5 NTU.

Videofilming av en utlegging

For å bekrefte resultatene fra turbiditetsmålingene samt få ett visuelt inntrykk av utleggingen ble det filmet en utlegging i Bjørvika (område 1). Filmen ble tatt av en dykker som dykket ned til munnstykket og sto på dette under utleggingen. På videoen ser en tydelig at leiren kommer ut av munnstykket i jevn strøm, går til bunns og legger seg uten å virvle opp leire eller opprinnelig sediment. Utstrømningshastigheten ble regulert fra 100 m³/t til 400 m³/t uten at det påvirket partikkelmengde i vannsøylen, visuelt på video. Resultatet var entydig, leiren strømmer ut av munnstykket og legger seg på bunnen uten oppvirvling. Leiren flyter så sirkelformet utover til den kommer i likevekt mht bunntopografien og slurryen sin iboende treghet mot utflyting.

4.3.2 Bunnefjorden

Bakgrunnsverdiene var lave i dypvannet (0 – 0,5), men overflatevannet hadde ved noen målinger verdier helt opp i over 100 NTU (10/11-04) (Vedlegg 10). Trolig har enkelte høye verdier i overflaten sammenheng med partikkelavrenning i fra land, eller naturlige partikler i sjøvannet. Figur 4.3 viser dataene fra 16/11 som er representative for de andre måledagene. Saltholdighets- og temperatursondene ga ikke tilfredsstillende data så kun turbiditetsmålinger er tatt med.



Figur 4.3. Bakgrunnsverdier av turbiditet den 16/11 før utlegging av masse.

Målinger under utlegging av masser

Turbiditeten ble målt under utlegging av masser på følgende datoer 10/11, 15/11 og 16/11. Resultatene i Bunnefjorden (område 2) var sammenfallende med erfaringene fra Bjørvika (område 1). Under utleggingen ble det ikke målt noen nevneverdig økning av turbiditet.

5 Resultater

5.1 Fiskeundersøkelsen

I dette avsnittet gjengis hovedresultatene. For nærmere detaljer henvises det til Vedlegg 5.

5.1.1 Bjørvika

Området er preget av høyt organisk innhold i sedimentet og periodevis lite oksygen i bunnvannet, som igjen medfører lav faunadiversitet. Dette preger også artssammensetning av fisk. Det ble med unntak av en veldig liten flyndre og en del kutlinger ikke observert noen stedbundne fiskearter som er utpreget bunnlevende.

Tiltaket som skal gjennomføres antas å ikke ha noen effekter på populasjoner av fisk i område 1. Dette baseres på observasjonene gjort 6. – 7. september og de begrensede områdene som skal tildekkes.

Selve tildekkingen kan muligens ha effekter på enkeltindivider av stedbundne bunnlevende fisk hvis de hadde vært tilstede. Men det antas at fiskene flytter på seg når tiltakene blir iverksatt for så å oppholde seg andre steder eller returnere til det tildekkede området etter at forholdene stabiliserer seg.

5.1.2 Bunnefjorden

Det ble ikke observert noen stedbundne fiskearter utover slimål som ikke har kommersiell interesse og heller ikke er en truet art. Man kan anta at slimålen vil flytte på seg under anleggsperioden for å oppholde seg andre steder eventuelt returnere senere. Samme dag som ROV undersøkelsen ble gjennomført var UiO og NIVA ute på tokt i Bunnefjorden. De målte blant annet oksygen rett over bunn og nivået var 0,46 ml/l (pers. med. Jon Arthur Berge) noe som er for lavt for de fleste levende organismer. Oksygennivået i bunnvannet vil endre seg gjennom året og det er sannsynlig at det er høyere nivå i perioder. Men det er nok en indikasjon på at tildekking av et område på 30 * 30 m ikke vil ha noen vesentlig effekt på bunnfisk.

5.2 Tillaging av leire slurry og utlegging av masser

5.2.1 Utførelsen utenfor Bjørvika – dybde -20

Leiremassenes egenskaper og innholdet av grus, treverk og noe stein gjorde at blandeoperasjonen tok lengre tid en forutsatt. I tillegg ble slitasje og reparasjoner på blandeutstyret uforholdsmessig høyt.

Lekter ble først fylt med sjøvann tilsvarende volumet av leire som skulle lastes. Lastingen og blandingen tok ca. 6 timer. Basert på DHI sine innledende tester av leiren ble et blandingsforhold med 1 del leire + 1 del sjøvann med 25 PSU, benyttet. I storskala er dette en utfordring med tanke på innmåling av sjøvann kontra tilsetning av leire ved hjelp av gravemaskin, men Tabell 5.1 viser at blandingsforholdet stemte sånn noenlunde med 1:1.

Volumet av slurryen i lekteren var ca 250 m³, men varierte noe basert på blandingseffektivitet med mer. Utlagt volum som vist i Tabell 5.1 er basert på måleren som var plassert på rørledningen. Dette volumet er lavere enn de 250 m³ som lekteren rommet. Dette skyldes dels at lekteren ikke alltid var full og dels at en del masse ble liggende igjen i lekteren (bunnsлам).

Tabell 5.1. Resultater av leireprøver tatt av slurry under utlegging, mengdene er basert på fluxmåleren montert på utleggingsrøret.

	Område	dato	%TS	Tetthet	Utlagt	Mengde leire, basert på 27% vanninnhold
Lekter			%	g/cm ³	m ³	m ³
1	1A	13/10/04	38,97	1,28	106,0	52,0
2	1A	14/10/04	38,31	1,30	129,5	62,5
3	1A	15/10/04	43,36	1,34	157,3	85,9
4	1A	20/10/04	46,94	1,41	180,7	106,9
5	1A	21/10/04	49,79	1,42	155,1	97,3
6	1A	22/10/04	45,97	1,39	184,5	106,9
Sum					913,0	511,5
7	1B	25/10/04	36,94	1,28	103,4	48,1
8	1B	26/10/04	41,16	1,34	193,9	100,6
9	1B	27/10/04	36,20	1,25	188,5	86,0
10	1B	28/10/04	36,11	1,28	185,0	84,2
11	1B	2/11/04	51,14	1,46	118,0	76,0
12	1B	2/11/04	41,51	1,33	148,5	77,7
13	1B	3/11/04	45,34	1,36	200,3	114,4
14	1B	4/11/04	47,89	1,44	188,0	113,5
Sum					1325,6	700,4

Selve transporten ut til utleggerfartøyet gikk bra og ble utført med ulike tilgjengelige slepebåter. Ved utleggingsfartøyet ble rør og slanger koblet sammen, noe som også fungerte bra.

Utleggingen og pumping av slurry gikk meget bra. Med full kapasitet på pumpen ble lekteren tømt på ca 40 minutter. Mye av grusen som fantes i leirmassen sank til bunns i lekteren da blandeutstyret ikke var dimensjonert for dette. Grusen måtte graves ut av lekterne sammen med bunnsلامmet når lekteren var tilbake på lasteplassen. Ved noen anledninger gikk diffusoren tett. Diffusor ble åpnet ved at hele nedføringsrøret ble trukket opp, demontert og treflis, stein og beinrester fjernet. Dette var tidkrevende og for å unngå dette ble det forsøkt å fjerne mest mulig treflis, stein og beinrester under blandingen.

Hastigheten og dermed kapasiteten under utleggingen ble regulert med ventilen plassert ovenfor diffusoren. Diffusor ble plassert ca 1,5 m over bunn, noe som viste seg å være riktig avstand. Basert på videoopptak under utlegging kan en med sikkerhet si at utleggingen skjedde uten at det ble noe oppvirvling av massen, verken når massene forlot diffusor eller når massene traff bunn.

Viser her til video som verifikasjon, videoen finnes hos Statens vegvesen. Opptaket viser utlegging av ca. 250 m³ slurry som ble fotografert og kommentert av dykker som befant seg ved diffusoråpningen.

5.2.2 Bunnefjorden

Etter utførelsen med tildekking av to områder utenfor Bjørvika, ble utstyret rigget om ved at nedføringsrøret ble forlenget og utleggingsfartøyet flyttet til ny posisjon og forankret i moringer ved Ursvik/Hellvik.

Utleggingen av ca 700 m³ leirmasser (1350 m³ slurry) på dette området foregikk uten problemer. Som vist i Tabell 5.2 ser vi at volumene pr lekter er vesentlig større enn i Bjørvika. Dette skyldes bedre erfaring med utstyret og optimalisering av blandingsteknikken.

Tabell 5.2. Resultater av leireprøver tatt av slurry under utlegging, mengdene er basert på fluxmåleren montert på utleggingsrøret.

	Område	dato	%TS	Tetthet	Utlagt	Mengde leire
Lekter			%	g/cm ³	m ³	m ³
15	2	4/11/04	47,93	1,39	201,5	121,7
16	2	9/10/04	35,25	1,24	210,5	93,5
17	2	10/11/04	47,55	1,40	172,3	103,2
18	2	11/11/04	42,39	1,36	208,9	111,6
19	2	12/11/04	42,57	1,33	175,4	94,1
20	2	15/11/04	35,92	1,25	190,1	86,0
21	2	16/11/04	35,28	1,24	205,0	91,1
Sum					1363,7	701,2

6 Etterundersøkelser

6.1 Vurdering av tildekkingen

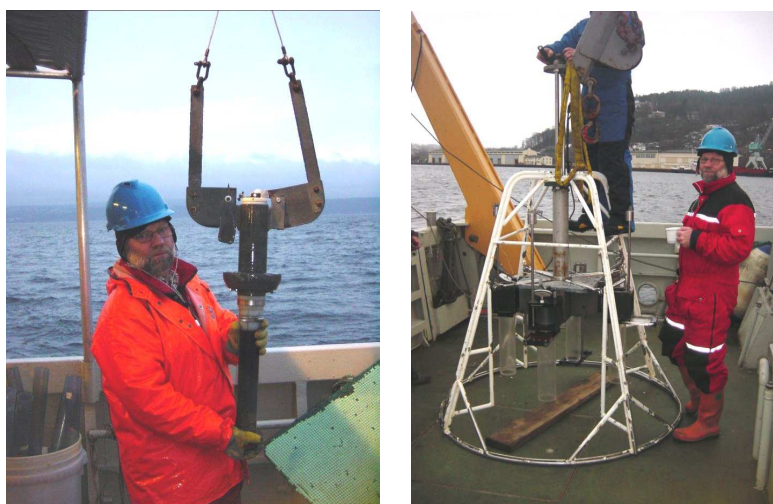
Tildekkingen skulle vurderes ved hjelp av kjerneprøver, analyser av utvalgte kjerneprøver, ekkolodd og videofilming med ROV.

6.2 Prøvetaking av sediment

Bunnprøvene ble tatt med kjerneprøvetakere. En multi-corer (satt opp med fire rør) og en enkel-corer ("Abdulla type"), Figur 6.1. Begge prøvetakerne tar prøver av sjøbunnen ved at gjennomsiktig PVC-rør presses ned i bunnen ved hjelp av gravitasjon (lodd). På grunn av tekniske problem med multi-coreren ble de fleste prøvene tatt med enkel-coreren.

Prøvene ble tatt 15. og 16. desember fra F/F "Trygve Braarud". Prøvene ble vurdert visuelt, og tykkelsen på leirelag målt i gjennom røret og vanligvis etterkontrollert ved å trykke ut prøven av røret. Uttak av sedimentprøver til kjemiske analyser ble gjort med en skje og prøvene lagt på glass og sendt til Eurofins, for analyse (metaller, PAH, PCB og TBT).

Tykkelsen på sedimentlagene (utlagt leire) ble notert og de fleste prøvene ble dokumentert med foto.



Figur 6.1. Bilde av kjerneprøvetakere. Til venstre er enkel-corer, Abdulla-type og multi-corer til høyre.

6.2.1 Bjørvika

Det ble tatt prøver på 33 steder i fire hovedretninger med faste avstander ut fra midtpunktet til utleggingsstedene. Stasjonsplasseringen ble hovedsakelig bestemt under

feltarbeidene etter hvert som resultatene forelå. Prøveinnsamlingen ble gjort i et 400 m langt og 200 m bredt belte. Tabell 6.1 angir prøve, posisjon, dyp og leiretykkelse på stasjonene. Figur 6.2 viser kart over prøvepunktene.

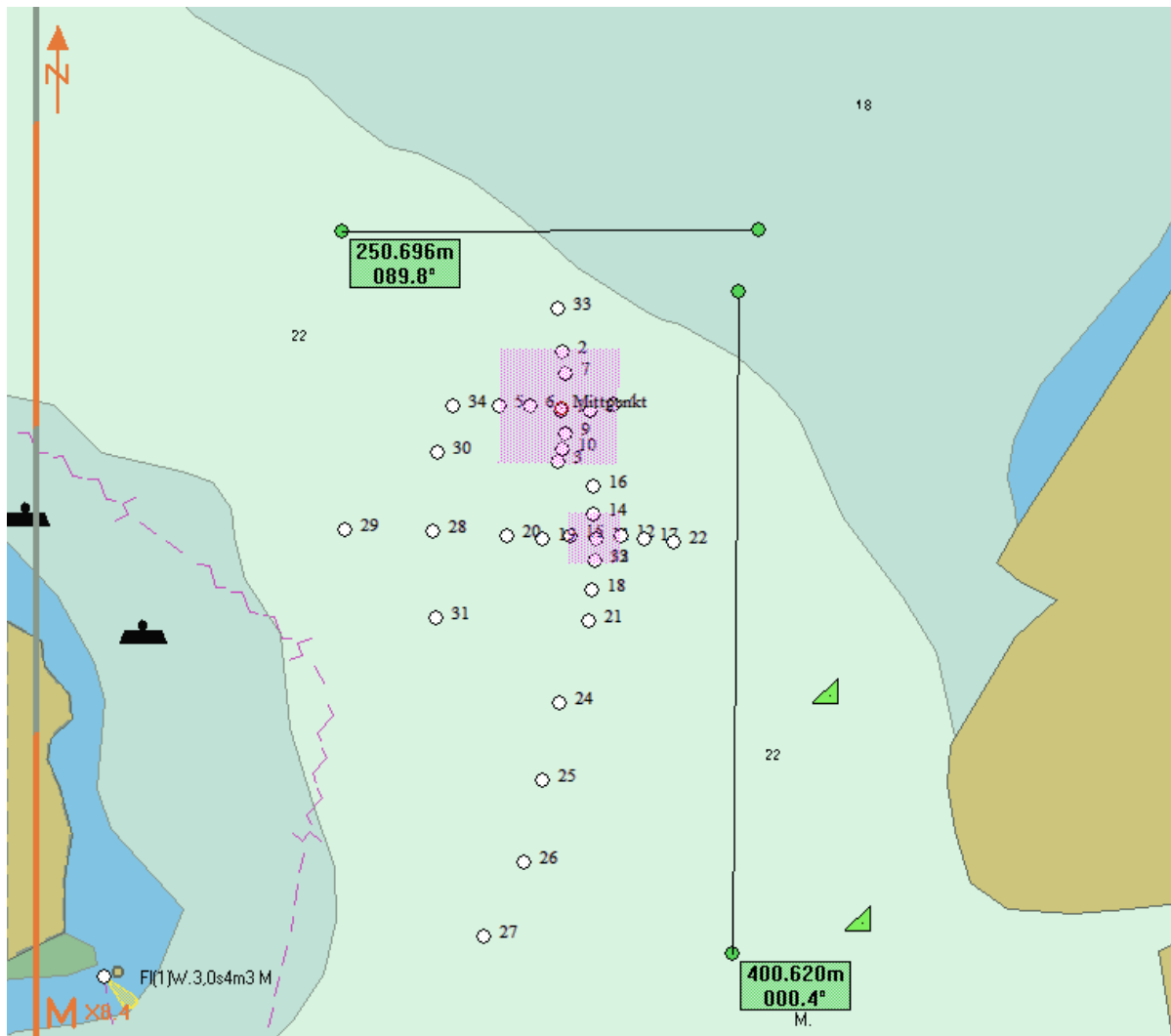
I noen tilfeller var det vanskelig å skille opprinnelig sjøbunn ut fra utlagt leire, når leirelaget var tynt. Leiren var fremdeles meget bløt i konsistens (tilnærmet som ved utleggelse), men ut fra visuell bedømmelse i liten grad blandet seg med opprinnelig sediment. I Bjørvika var det opprinnelige sedimentet nokså bløtt og grå-svart på farge. Resultatene viste at leiren hadde spredt seg ut over et stort område. Det ble ikke funnet et tykkere leirelag enn 8 cm og det var mindre enn det som var ønskelig i målsetningen for pilotprosjektet. Prøvene viste at leiren fremdeles var tyntflytende og den har trolig i stor grad fulgt bunntopografien og flytt utover til områder hvor det var dypest. Selv de små dybdeforskjellene i dette området var nok til at leiren fløt over betydelige avstander fra utleggingspunktene.

Ut fra utleggingscenteret til det sørligste området ble leiren funnet 200 m sørover. I de andre retningene var spredningen mindre for begge feltene og antatt til å være ca 50 m nord- og østover og opptil 50 m vestover på område 1A og 100 m vestover på område 1B. Noen steder kunne det vært tatt flere prøver for å få en mer nøyaktig avgrensning av utbredelsesområdet (Figur 6.2 og 6.3).

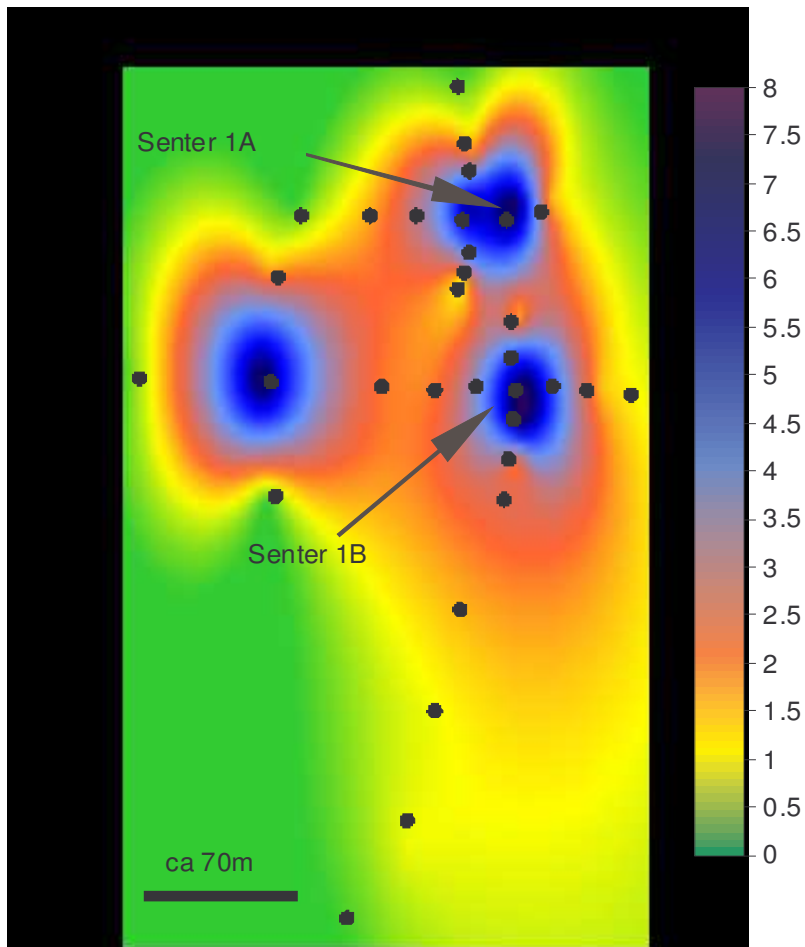
Generelt var utbredelsen større enn forventet. Man antok at det skulle være avtagende tykkelse på leirelaget ut fra senteret i utleggingsposisjonen (plassering av diffusor). Imidlertid var det et 8 cm tykt leire-lag vest for område 1A og det var like tykt lag som i sentrum av feltene. Dette tolkes slik at det har vært noe dypere vest for område 1A og at leiren dermed har flytt i den retningen og fylt opp forsenkningen i sjøbunnen.

Tabell 6.1. Stasjonsopplysninger. Prøvenummer, tykkelse av leirelag, dyp (ikke korrigert for tidevann) og posisjon til prøvestedene. Prøvene fra senteret til feltene er uthevet med **fet** skrift. MC angir multi-corer og GC angir enkelt-corer.

Stasjon	Utstyr	Leire	Dyp	N	E	N	E
Kart	Prøvebenev- nelse	Tykkelse, cm	Fra vannoverflaten, m	WGS-84, desimal- grader	WGS-84, desimal- grader	WGS-84	WGS-84
1	MC1	7,0	20,0	59,89800	10,74752	59 53.880N	10 44.851E
2	MC2	1,0	20,3	59,89832	10,74753	59 53.899N	10 44.852E
3	MC3	1,0	20,7	59,89772	10,74748	59 53.863N	10 44.849E
4	MC4	1,5	20,3	59,89803	10,74808	59 53.882N	10 44.885E
5	MC5-1	1,5	20,9	59,89802	10,74685	59 53.881N	10 44.811E
5-2	MC5-2	2,0	-	59,89802	10,74685	59 53.881N	10 44.811E
6	MC6	3,0	20,7	59,89802	10,74718	59 53.881N	10 44.831E
7	MC7	2,0	20,3	59,89820	10,74757	59 53.892N	10 44.854E
8	MC8	8,0	20,5	59,89800	10,74783	59 53.880N	10 44.870E
9	MC9	5,0	20,7	59,89787	10,74757	59 53.872N	10 44.854E
10	MC10	4,0	20,7	59,89779	10,74753	59 53.867N	10 44.852E
11	MC11	8,0	21,1	59,89730	10,74790	59 53.838N	10 44.874E
12	MC12	4,0	-	59,89732	10,74817	59 53.839N	10 44.890E
13	MC13	8,0	20,9	59,89718	10,74788	59 53.831N	10 44.873E
14	MC14	5,0	20,9	59,89743	10,74787	59 53.846N	10 44.872E
15	MC15	4,0	20,9	59,89732	10,74762	59 53.839N	10 44.857E
16	MC16	1,5	20,0	59,89758	10,74787	59 53.855N	10 44.872E
17	MC17	1,5	-	59,89730	10,74842	59 53.838N	10 44.905E
18	MC18	2,0	21,7	59,89702	10,74785	59 53.821N	10 44.871E
19	MC19	2,0	22,0	59,89730	10,74732	59 53.838N	10 44.839E
20	MC20	2,0	22,1	59,89732	10,74693	59 53.839N	10 44.816E
21	MC21	2,5	21,8	59,89685	10,74782	59 53.811N	10 44.869E
22	MC22	1,0	-	59,89728	10,74873	59 53.837N	10 44.924E
24	GC44	1,5	22,4	59,89640	10,74750	59 53.784N	10 44.850E
25	GC45	1,0	22,9	59,89599	10,74732	59 53.759N	10 44.839E
26	GC46	1,0	23,4	59,89554	10,74712	59 53.732N	10 44.827E
27	GC47	0,0	23,0	59,89513	10,74668	59 53.708N	10 44.801E
28	GC48	8,0	21,9	59,89734	10,74613	59 53.840N	10 44.768E
29	GC49	0,0	21,3	59,89735	10,74518	59 53.841N	10 44.711E
30	GC50	1,5	21,6	59,89777	10,74618	59 53.866N	10 44.771E
31	GC51	0,0	21,6	59,89687	10,74617	59 53.812N	10 44.770E
32	GC52	7,5	20,7	59,89718	10,74788	59 53.831N	10 44.873E
33	GC53	0,0	20,2	59,89855	10,74748	59 53.913N	10 44.849E
34	GC54	0,0	21,3	59,89802	10,74635	59 53.881N	10 44.781E



Figur 6.2. Kart over prøveinnsamlingssteder. Litt modifisert etter mottak fra Sindre Holm, F/F Trygve Braarud. MERK, prøvenummering er gitt fra kartprogrammet og viser ikke til benevnelse og rekkefølge fra feltarbeidet. Rød skravering angir område 1A på 70*70 m og 1B på 30*30.



Figur 6.3. Skjematisk fremstilling over utbredelsen og tykkelsen (cm) til utlagt leire. Sirkler markerer prøvepunkter. Se Tabell 6.1 og kart Figur 6.2 for grunnlagsdata.

Prøvene viste også nokså tydelig at de to prøvene tatt i samme punkt (MC13 og GC52 kart pos. 13 og 32) var meget nær der hvor leiren ble lagt ut. Det var mye sand og små stein fra leiremassene på bunnen, og bare et tynt lag med leire (Figur 6.4).



Figur 6.4. Bilde av prøvene fra senter til område 1A (stasjon kart 1, MC1) til venstre og bilde til høyre viser prøven med mye sand fra 15 m sør for senter til område 1B (kartposisjon 13, MC13 og GC52).

6.2.2 Bunnefjorden, Ursvik-Hellvik

Det ble tatt prøver på 22 steder i hovedsakelig nord-sør retning fra senteret (Figur 6.5). Stasjonsplasseringen ble tildels bestemt under feltarbeidene etter hvert som resultatene forelå. Prøveinnsamlingen ble gjort i et 450 m langt og 100 m bredt belte. Tabell 6.2 angir prøve, posisjon, dyp og leiretykkelse på stasjonene.

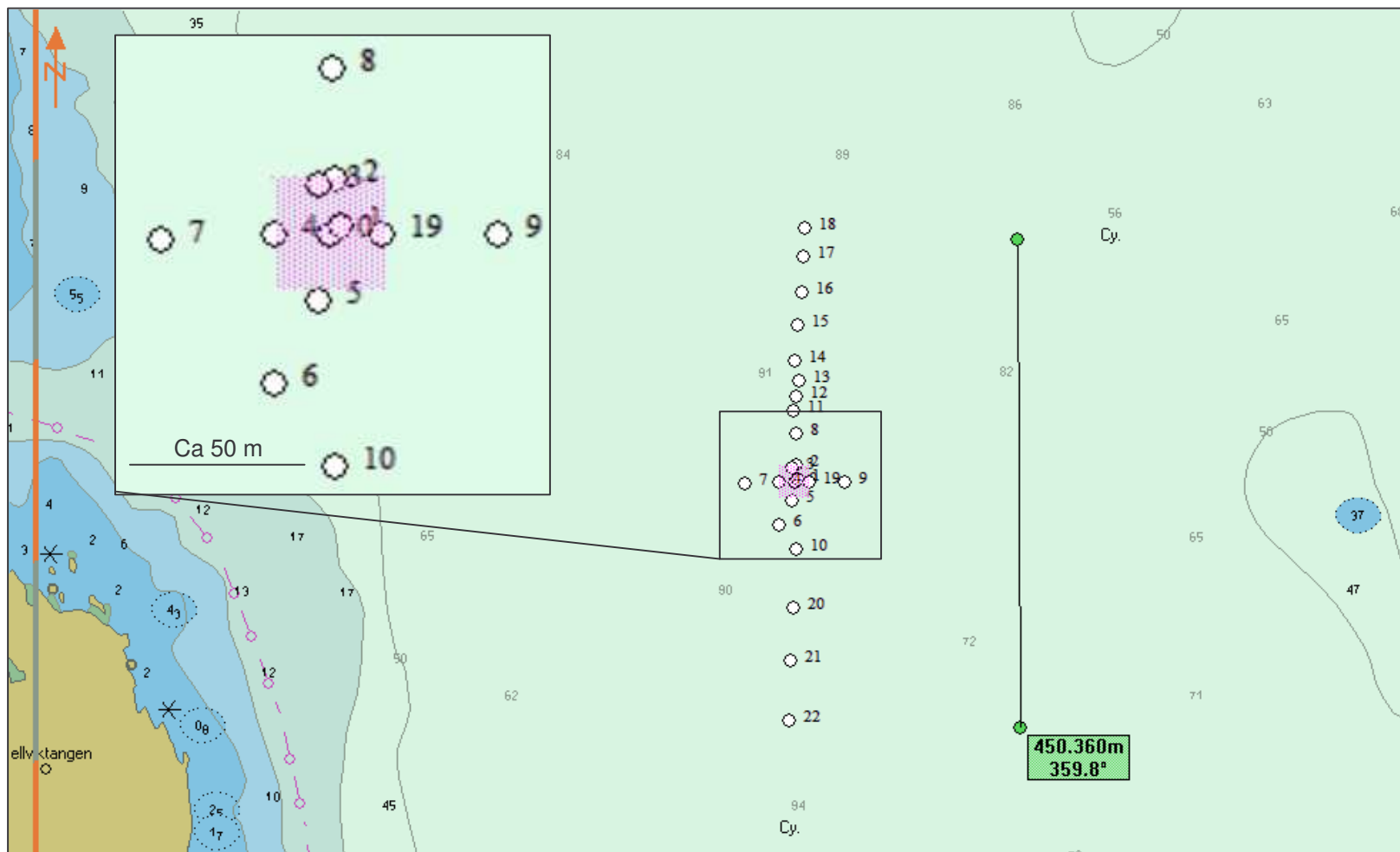
I Bunnefjorden var det opprinnelig laget under leiren, meget bløtt og svart på farge og luktet sterkt hydrogensulfid (H_2S). I de lengste kjerneprøvene fra Bunnefjorden gikk prøvene ned til leireholdig sediment, under det bløte og svarte laget (20-30 cm tykt). På noen prøver var det tegn til at leiren var tildekket av naturlig sediment ("dynn"), men det antas at dette er transportert inn fra sidene og ikke som følge av innblanding ved utleggingen.

Resultatene viste at leiren hadde spredt seg ut over et stort og langstrakt område. Det ble ikke funnet tykkere leirelag enn 23 cm og det var mindre enn det som var ønskelig i målsetningen for pilotprosjektet. Dette tykke leirelaget ble funnet 60 m sør for antatt utslippspunkt og det kunne tyde på at angitt koordinat var feil. Imidlertid ble det tatt GC-prøver i kartposisjon 1 (feltsenteret) og i en av disse var det ca 6 cm sand i fra leiremateriallet, de andre to inneholdt tilsvarende tykkelse med leire. Resultatet viser at den ene prøven kom fra området hvor diffusoren hadde vært plassert og de andre to trolig litt lenger i fra. Det er ikke naturlig sand i sedimentet i dette området.

Prøvene viste at leiren fremdeles var tyntflytende og den har trolig i stor grad fulgt bunntopografien og flytt utover til områder hvor det var dypest. Selv de små dybdeforskjellene i dette området var nok til at leiren fløt over betydelige avstander fra

utleggingspunktene. Bunntopografien preges av en smal langsgående renne i fjorden. 50 m til sides for utleggingsstedet var det 1,5-2 m grunnere enn i senteret.

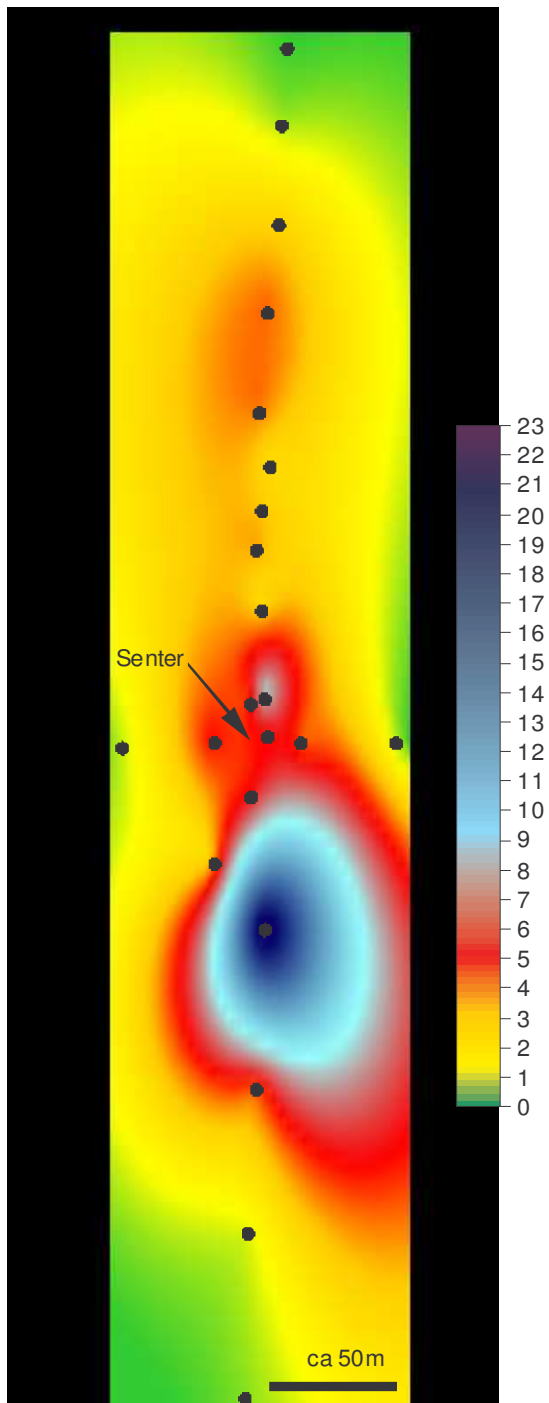
Ut fra utleggingscenteret ble leiren funnet ca 200 m sørover og nordover. I øst-vest retningene var spredningen mindre og et 4-5 cm tykt lag ble funnet 15 m fra senteret og 0,5 og 0 cm 50 m ut til sidene fra senteret. Flere prøver ville vært ønskelig for å få en mer nøyaktig avgrensning av utbredelsesområdet. Kart med modellert dybde av dekklag er illustrert i Figur 6.6. og noen utvalgte bilder av prøvene er vist i Figur 6.7.



Figur 6.5. Kart over prøveinnsamlingssteder. Litt modifisert etter mottak fra Sindre Holm, F/F Trygve Braarud. MERK, prøvenummerering er gitt fra kartprogrammet og viser ikke til benevnelse og rekkefølge fra feltarbeidet. Rød skravering angir felt på 30*30 m.

Tabell 6.2. Stasjonsopplysninger. Prøvenummer, tykkelse av leirelag, dyp (ikke korrigert for tidevann) og posisjon til prøvestedene. Posisjonen til senteret er uthevet med **fet** skrift. GC angir enkelt-corer

Stasjon	Utstyr	Leire	Dyp Fra	N	E	N	E
Kart	Prøvebenev- nelse	Tykkelse, cm	vannoverflaten, m	WGS-84, desimal- grader	WGS-84, desimal- grader	WGS-84	WGS-84
0	Midtpunkt	-	-	59.852749	10.6992	59 51.165N	10 41 952E
1	GC23	5.0	94.0	59.852768	10.699250	59 51.166N	10 41.955E
2	GC24a	9.0	94.0	59.852882	10.699233	59 51.173N	10 41.954E
3	GC24b	4.5	94.0	59.852867	10.699150	59 51.172N	10 41.949E
4	GC25	5.0	94.0	59.852749	10.698934	59 51.165N	10 41.936E
5	GC26	5.0	94.0	59.852585	10.699150	59 51.155N	10 41.949E
6	GC27	2.5	94.0	59.852383	10.698934	59 51.143N	10 41.936E
7	GC28	0.5	92.5	59.852734	10.698383	59 51.164N	10 41.903E
8	GC29	2.5	94.0	59.853149	10.699217	59 51.189N	10 41.953E
9	GC30	0.0	91.7	59.852749	10.700017	59 51.165N	10 42.001E
10	GC31	23.0	-	59.852184	10.699233	59 51.131N	10 41.954E
11	GC32	3.5	93.9	59.853333	10.699183	59 51.200N	10 41.951E
12	GC33	3.0	93.7	59.853451	10.699217	59 51.207N	10 41.953E
13	GC34	2.5	93.4	59.853584	10.699266	59 51.215N	10 41.956E
14	GC35	4.0	93.5	59.853748	10.699200	59 51.225N	10 41.952E
15	GC36	4.0	93.0	59.854050	10.699250	59 51.243N	10 41.955E
16	GC37	2.5	92.0	59.854317	10.699317	59 51.259N	10 41.959E
17	GC38	0.5	92.2	59.854618	10.699333	59 51.277N	10 41.960E
18	GC39	0.0	91.6	59.854851	10.699367	59 51.291N	10 41.962E
19	GC40	4.0	-	59.852749	10.699450	59 51.165N	10 41.967E
20	GC41	4.0	93.7	59.851700	10.699183	59 51.102N	10 41.951E
21	GC42	1.0	93.3	59.851265	10.699133	59 51.076N	10 41.948E
22	GC43	0.5	92.7	59.850765	10.699117	59 51.046N	10 41.947E



Figur 6.6. Skjematisk fremstilling over utbredelsen og tykkelsen (cm) til utlagt leire. Sirkler markerer prøvepunkter. Se Tabell 6.2 og kart (Figur 6.5) for grunnlagsdata. Trolig er illustrasjonen ikke korrekt med hensyn til utflytning mot sør-øst for senter på grunn av manglende datapunkt



Figur 6.7. Bilde av prøver fra Bunnefjorden. Øverst: Prøver fra senter (stasjon kart 1, GC23). Bilde til venstre viser første prøven med leire og til høyre er det mye sand i prøven. Tykkelsen ble målt til 5-6 cm. Legg merke til svart naturlig bunnsediment i bunn av prøven. Nederst: Til venstre vises prøven fra GC31 (kart posisjon 10) hvor leirelaget var 23 cm og til høyre vises GC27 (kart posisjon 6) hvor leiren delvis var dekket av opprinnelig sediment.

6.3 Kjemiske analyser av kjerneprøver og utlagt leire

Våren 2004 ble det utført en forundersøkelse (DNV 2004-080) av sedimentet i og omkring det område som var tenkt tildekket med ren leire. Sedimentprøvene ble analysert for PAH, PCB, metaller og organiske tinnforbindelser (TBT). Resultatene viste at sedimentet var mer forurenset i Bjørvika enn i Bunnefjorden, spesielt med hensyn på PAH, PCB og TBT. Resultatene viste dessuten at forurensningsnivåene var i samme størrelsesorden som man fant i 1992.

Prøver ble tatt for analyse av forurensninger i den utlagte leiren (topplag og laget ned mot opprinnelig bunn). I tillegg ble sedimentsjiktet under det nye leirelaget (opprinnelig sjøbunn) analysert samt utvalgte prøver av slurry før utlegging (3 lektere, 1 pr felt). Prøvene valgt til analyse var fra de stasjoner der det ble funnet det tykkeste leirelaget.

Under forundersøkelsen (DNV 2004-080) var det kun ett punkt i hvert område som var representativ for de områdene der leiren ble utlagt. Data fra disse punktene sammen med resultater fra etter undersøkelsen finnes i Tabell 6.3 og 6.4.

De prøver som er merket topplag er tatt i den øverste delen av det nye leirelaget. I disse prøver var det ingen synlig innblanding av det mudderaktige sedimentet som ble dekket med ren leire. De prøver som er merket bunnlag er tatt i den underste delen av det nye leirelaget, det vil si i fra laget over opprinnelig sediment.

Analysene fra leiren før den ble utlagt viser at den inneholder noe høyere nivå av nikkel enn hva SFT klassifiserer som meget god miljø (SFTs klasse 1). Leiren før utlegging inneholdt også lave, men målbare konsentrasjoner av mange PAH'er. En av leireprøvene inneholdt dessuten TBT tilsvarende SFTs klasse 3. Det er vanskelig å forstå hvordan man kan forurense en hel lekter med TBT, dette kan være en indikasjon på at deteksjonsgrensene for TBT er høyere enn antatt. Skyldes TBT-innholdet malingen i lekteren, skulle en forvente et mer jevnt innhold i alle prøvene. Merk at innholdet er meget lavt sammenlignet med sedimentprøvene.

Resultatene fra laget under den utlagte leiren i Bjørvika viser klart høyere nivå av både organiske og uorganiske forurensninger. Områdene med tykkeste lag av leire er sannsynligvis groper på sjøbunnen som er fylt opp med leiren. I Bunnefjorden så er det rimelig god overensstemmelse med resultatene fra forundersøkelsen og hva etterundersøkelsen fant av forurensninger i sjiktet under leiren. Dette område har sammenlignet med Bjørvika område et lavere forurensningsnivå.

Resultatene fra laget med den utlagte leiren tyder på at det egentlig bare er en prøve som ser ut til å ha en signifikant innblanding av forurenset sediment. Dette er prøve 1B bunnlag. Dette kan skyldes innblanding av underliggende sediment under utleggingsfasen, men kan også skyldes vanskeligheter med å separere leire fra opprinnelig substrat under prøvetakingsprosedyren da sjiktet av utlagt leire var tynt. Det kan konstateres at topplaget inneholder metaller og organiske miljøgifter i samme størrelsesorden som leiren i slurry før den ble utpumpet. Leiren er ikke undersøkt mht TBT i analysene som statsbygg fikk gjennomført i forkant, men dybden leiren er gravd ut fra samt at leiren er karakterisert som ren mht de andre parametrene, tilsier at leiren ikke var forurenset med TBT. Den eneste forbindelsen som høyst sannsynlig ikke var i leiren før utlegging som med rimelig sikkerhet kan spores i det nye leirelaget, er TBT.

Tabell 6.3 Resultat fra målinger av organiske forurensninger i den utlagte leiren og underliggende sediment. Der SFTs klassifisering er relevant er klassen markert med respektive farge. Betegnelsen 1A og 1B henviser til prøver fra Bjørvika (område 1) og 2 henviser til prøver fra Bunnefjorden (område 2).

	<i>1A</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>1B</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>B-SB-4</i>	<i>2</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>UH-SB-2</i>	<i>Lekter 5</i>	<i>Lekter 13</i>	<i>Lekter 16</i>	<i>1A</i> <i>topplag</i>	<i>1A</i> <i>bunnlag</i>	<i>1B</i> <i>topplag</i>	<i>1B</i> <i>bunnlag</i>	<i>2</i> <i>topplag</i>	<i>2</i> <i>bunnlag</i>
	Forurenset sediment	Forurenset sediment	DNV-04	Forurenset sediment	DNV-04	Leire Felt 1A	Leire Felt 1B	Leire Felt 2	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire
	Føre					Utlagt leire			Etter					
Polyklorete bifenyler	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
PCB nr. 28	0,024	0,022	0,002	<0,05	<0,002				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 52	0,040	0,039	0,005	0,005	<0,002				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 101	0,046	0,044	0,008	0,0063	0,003				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 118	0,033	0,032	0,007	0,0066	0,005				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 138	0,044	0,043	-	0,0087	-				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 153	0,040	0,040	0,011	0,0082	0,008				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
PCB nr. 180	0,024	0,023	0,006	<0,0050	0,003				<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Sum 7 PCB	0,25	0,24	0,039	0,039	0,019				D.L.	D.L.	D.L.	0,0097	D.L.	D.L.
<i>PAH-forbindelser</i>														
Naphthalen	0,350	0,400	0,390	0,053	0,083	0,0053	<0,0050	0,0073	0,0094	0,0085	0,0080	0,0380	0,0150	0,0064
Acenaphthylen	0,230	0,320	0,062	0,039	0,013	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,0130	<0,0050	<0,0050
Acenaphthen	0,150	0,110	0,066	0,012	0,017	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,0067	<0,0050	<0,0050
Fluoren	0,200	0,180	0,150	0,025	0,031	<0,0050	<0,0050	0,0051	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,0140	0,0074	<0,0050
Phenanthren	0,920	0,810	0,590	0,120	0,140	0,0070	0,0100	0,0260	0,0200	0,0092	0,0340	0,0770	0,0490	0,0220
Anthracen	0,450	0,480	0,300	0,059	0,048	<0,0050	<0,0050	0,0080	0,0058	<0,0050	0,0120	0,0350	0,0170	0,0070
Fluoranthren	1,600	1,700	1,300	0,260	0,280	0,0088	0,0150	0,0490	0,0290	0,0110	0,0600	0,1500	0,0860	0,0370
Pyren	2,500	2,600	1,400	0,560	0,360	0,0075	0,0130	0,0440	0,0300	0,0100	0,0500	0,1600	0,0730	0,0300
Benzo(a)anthracen	0,940	1,100	0,670	0,110	0,100	<0,0050	<0,0050	0,0190	0,0086	<0,0050	0,0210	0,0630	0,0360	0,0068
Chrysen/Triphenylen	0,680	0,850	0,470	0,084	0,100	<0,0050	0,0052	0,0170	0,0130	<0,0050	0,0240	0,0760	0,0430	0,0110
Benz(b+j+k)fluoranthren	2,800	3,600	1,300	0,450	0,320	0,0056	0,0120	0,0420	0,0330	0,0082	0,0460	0,2100	0,0740	0,0230
Benzo (k) flu.			0,460		0,120									
Benzo(a)pyren	1,500	1,900	0,880	0,200	0,170	<0,0050	0,006	0,021	0,017	<0,0050	0,024	0,12	0,039	0,011
Indeno(1.2.3-cd)pyren	1,100	1,400	0,750	0,210	0,200	<0,0050	<0,0050	0,015	0,0098	<0,0050	0,014	0,073	0,02	<0,0050
Dibenzo(a,h)anthracen	0,310	0,390	0,140	0,051	0,030	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	0,023	0,0054	<0,0050
Benzo(g,h,i)perylen	1,100	1,300	0,810	0,250	0,270	<0,0050	<0,0050	0,016	0,013	<0,0050	0,016	0,086	0,026	<0,0050
Sum 16 PAH (16 EPA)	15,000	17,000	9,738	2,500	2,282	0,034	0,061	0,270	0,19	0,047	0,31	1,1	0,49	0,15
Sum 16 PAH-Naphalene	14,65	16,6	9,348	2,447	2,199	0,029	0,061	0,263	0,1806	0,0385	0,302	1,062	0,475	0,1436

Tabell 6.4. Resultat fra målinger av organiske tinnforbindelser og metaller i den utlagte leiren og underliggende sediment. Der SFTs klassifisering er relevant er klassen markert med respektive farge. Betegnelsen 1A og 1B henviser til prøver fra Bjørvika (område 1) og 2 henviser til prøver fra Bunnefjorden (område 2).

	<i>1A</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>1B</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>B-SB-4</i>	<i>2</i> <i>opprinnelig</i> <i>sediment</i>	<i>UH-SB-2</i>	<i>Lekter 5</i>	<i>Lekter 13</i>	<i>Lekter 16</i>	<i>1A</i> <i>topplag</i>	<i>1A</i> <i>bunnlag</i>	<i>1B</i> <i>topplag</i>	<i>1B</i> <i>bunnlag</i>	<i>2</i> <i>topplag</i>	<i>2</i> <i>bunnlag</i>
	Forurenset sediment	Forurenset sediment	DNV-04	Forurenset sediment	DNV-04	Leire Felt 1A	Leire Felt 1B	Leire Felt 2	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire	Utlagt leire
						Utlagd leire			Etter					
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Metaller														
Arsen (As)	24	28	23	37	45	4	7	6,3	7,5	6,5	6,5	7,7	8	8
Bly (Pb)	300	390	172	180	151	18	20	22	22	20	18	36	28	22
Kadmium (Cd)	7,7	9,7	3,5	1,6	2	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,43	<0,10	<0,10
Krom (Cr)	120	160	83,3	95	92,4	24	29	30	31	28	24	27	29	35
Kobber (Cu)	430	870	251	140	136	18	20	20	23	18	15	47	19	22
Kvikksølv (Hg)	5,9	6,2	2,67	2,2	1,46	0,026	0,033	0,06	0,091	0,039	0,037	0,4	0,13	0,05
Nikkel (Ni)	47	62	39,3	47	39,3	27	32	34	37	35	28	25	33	43
Sink (Zn)	910	1200	527	550	488	59	69	75	71	63	54	110	67	76
Tin forbindelser	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Monobutyltinn	7,9	5,4	72	1,7	19	<0,7	<0,8	<0,8	3,4	1	1,3	35,6	3,6	1,4
Dibutyltinn	110	96,7	250	11,8	63	0,8	<0,8	<0,8	2,3	0,5	0,7	36,3	3,6	0,7
Tributyltinn	788	900	750	25,3	65	2,2	<0,8	<1,3	5,8	1,2	2,1	104	24,2	2,5

6.4 ROV-undersøkelser av områdene etter utlegging

Undersøkelsene ble gjennomført samtidig med prøvetakningen av sedimentene. Det var planlagt å undersøke områdene med ROV i forkant av sedimentprøvetakningen slik at leiren kunne posisjonsanvises for å forenkle prøvetakningen. Dette lot seg dessverre ikke gjøre da det viste seg at overgangen mellom utlagt leire og opprinnelig sediment var umulig å påvise visuelt. Årsaken til dette er at det var et tynt lag med opprinnelig sediment over den utlagte leiren som ga samme visuelle inntrykk som det opprinnelige sedimentet. Leiren ble påvist ved at ROV'en berørte bunn (virvlet opp leirematerialet som lå under). Dette vanskeliggjorde hele det visuelle verifikasjonsarbeidet.

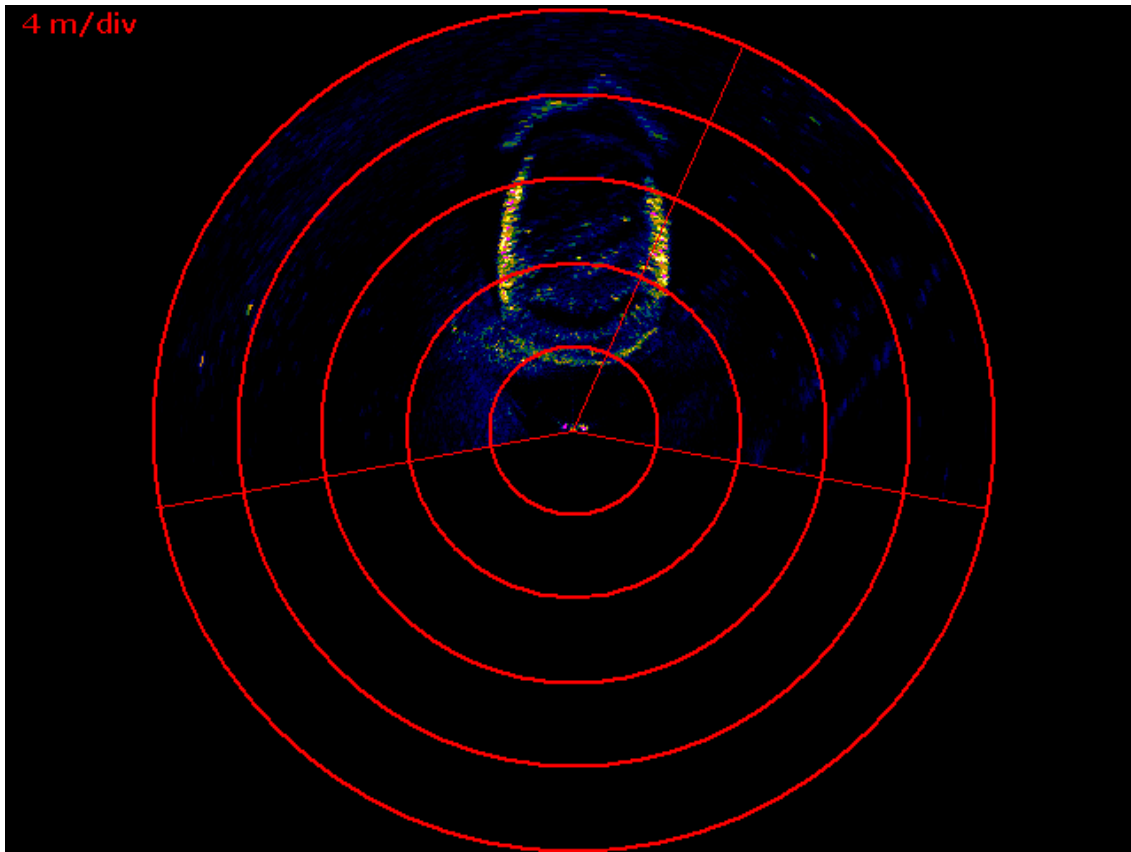
Bjørvika

Det var som tidligere nevnt problematisk å se overgangen mellom utlagt leire og opprinnelig sediment, men en fikk et inntrykk av dyrelivet på leiren. Der hvor leiren var tydelig visuelt ble det sett en del småkutling (sandkutling eller leirkutling). Av andre dyr ble det ikke observert noe tegn til rekolonisering (Feil årstid og for kort tid siden tildekkingen). Et forsøk med "side scan" sonaren som var påmontert ROV ga ikke noe bilde av den utlagte leiren. Variasjonen i naturlig bunntopografi var større enn variasjonen som følge av utleggingen.

Bunnefjorden

Her ble det observert et tynt svart lag med dynn (opprinnelig sediment) som lå over leiren. Det ble sett en del døde fisk som lå over leiren. Det kunne se ut som om fisken var sløyet og sannsynligvis er dette fisk som er dumpet fra passerende skip.

Det var ikke mulig å avgrense utbredelsen til leirelaget visuelt, på grunn av dynn på toppen av leiren. Ved hjelp av "sidescan" sonaren på ROV ble det tatt gode bilder av noe som antas å være utleggingspunktet (Figur 6.8).



Figur 6.8. "Sidescan" sonarbilde av forhøyning rundt antatt utleggingspunkt. Tatt mot nord, avstanden mellom sirklene er 4 m.

Bildet viser en oval forhøyning i bunntopografien som kan tilskrives nærområdet til utleggingspunktet. Forhøyningen er omtrent 10 m bred (vest øst) og 15-20 m lang (nord sør). Sikten var som under ROV-undersøkelsen før utlegging, svært dårlig, noe som gjorde arbeidet veldig vanskelig. Det var ikke mulig å identifisere forhøyningen som utleggingspunkt, men da denne forhøyningen ikke var tilstede i den første ROV undersøkelsen kan man anta at forhøyningen er et resultat av utleggingen.

6.5 Akustisk verifikasjon av oppnådd tildekkingsstykkelse

Det var planlagt å verifisere tykkelsen på de utlagte lagene ved hjelp av akustiske metoder slik som ekkolodd eventuelt sidescan-sonar. I forkant av arbeidene ble området undersøkt ved ekkolodd og kotekart utarbeidet (Vedlegg 1). Det ble forsøkt å dokumentere endringene i dyp ved hjelp av sidescan-sonar (Vedlegg 8) fra overflaten uten hell. Under ROV-undersøkelsen ble det også gjennomført sidescan-sonar måling, hvor det ble sett en liten forhøyning i Bunnefjorden. Men generelt var tykkelsene av de utlagte lagene for små til å lage kart over forskjellen i dyp før og etter arbeidet.

6.6 Oppvirvling av sediment som følge av båttrafikk

Dette arbeidet er gjennomført av DHI i samarbeid med RF. I Vedlegg 7 og 8 er det en utfyllende beskrivelse av arbeidene som er gjennomført. Her gjengis kun hovedresultatene. Det ble gjennomført målinger av strøm og turbiditet mens en slepebåt kjørte over utleggingsfeltet. Resultatet var at det ikke kunne påvises noe signifikant endring av strømbildet ved passering ei heller noen endring i turbiditeten. Det var mulig å se en økning i overflatestrømmen ved passering i full fart, men dette ligger i samme område som egenstøyen til instrumentet. Konklusjonen fra dette arbeidet var at det ikke er sannsynlig at denne type båt skal kunne virvle opp sediment.

Neste fase i arbeidet var å modellere en passering av skip i størrelsen 35000 BRT (Crown of Scandinavia) og 12000 BRT (en mellomstor supplybåt). DHI brukte omdreiningstall som vil være realistiske i området rundt Bjørvika (Indre havneområder) Hovedresultatene er gjengitt i Tabell 6.5 og er sammenliknet med en beregnet terskelverdi for resuspensjon av leirelaget som er 0,28 m/s.

Tabell 6.5 Beregningsresultater for 2 skipstyper, med 3 ulike omdreiningstall i 4 vanddyb, kilde DHI rapport Vedlegg 8. Røde tall angir over terskelverdi for resuspensjon.

Skipstype	Skrue omdreining stall [Hz]	U _{b, max} (dobbel-propell) [m/s]				Vanddyb i omr hvor U _{b,max} ≥ U _{crit} = 0,28 m/s
		Vanddybde = 15m	Vanddybde = 20m	Vanddybde = 25m	Vanddybde = 30m	
1 (35 000 BRT)	0,5	0,46	0,34	0,26	0,22	15-25 m
	1	0,92	0,67	0,53	0,44	15 -30 m
	2	1,84	1,34	1,06	0,87	15 -30 m
2 (12 000 BRT)	0,5	0,25	0,18	0,14	0,11	< 15 m
	1	0,49	0,35	0,28	0,23	15-25 m
	2	0,98	0,71	0,55	0,45	15 -30 m

Beregningene tilsier at det vil forekomme resuspensjon av utlagt leire i indre havn (15 – 20 m) ved skipspassering med skipstypen 35.000 BRT ved lavest omdreiningstall. For skipstypen 12.000 BRT skjer det først resuspensjon ved omdreiningstall 1.

7 Diskusjon

7.1 Valg av teknologiske løsninger

Det var mange utfordringer med tanke på innblanding av sjøvann i leiren. For å oppnå ønsket blandingsforhold (1:1) var det tenkt å tilføre leiren til lekter gjennom et doseringskammer. Dette viste seg fort å ikke fungere så det ble forsøkt å blande leiren i lekteren vha. vannstrøm og gravemaskin. Leiren var svært vanskelig å blande inn ved kun vannstrøm og det ble tatt i bruk en remikser for sement til å forblende leiren med vann før tilsetning i lekter. Dette viste seg å ha god effekt, men dimensjonene var for små til å få til en hurtig nok blanding. Blandetiden var 6-10 timer for en full lekter, noe som er altfor høyt mht fullskala. Men det viste hvilken teknologi som måtte nyttes for å kunne blande leire med vann. Leiren bør skjæres inn med vann med moderat hastighet. Leirklumpene kan inneholde steiner som ødelegger blandingsverket. For storskala anlegg bør det vurderes å legge til rette for en forbehandling av leiren dvs. leiren kuttes opp i klumper som ikke kan inneholde store steiner. Videre bør leiren blandes ferdig i et landbasert blandeverk før tilsats til lekter. På den måte er det mulig å ha flere standard-lektere til transport av massene. I pilotprosjektet var det mest fornuftig å bruke en spesialkonstruert lekter for å prøve ut teknologien.

Blandeverket i lekteren viste seg å fungere mht å holde leireslurry i suspensjon, men var lite brukbar til å blande leire med vann.

Teknologien til utlegging av leiren har vist seg å være svært egnet til utlegging av massene uten å virvle opp sediment. Størrelse på pumpe, rør og diffusor viste seg å være tilstrekkelig for å oppnå ønsket kapasitet. Det var noen problemer med at munnstykket tettet seg, men det skyldes massenes beskaffenhet (stein, bein og treflis). Her kan det være et forbedringspotensiale mht tilgjengelighet for å fjerne fremmedlegemene som tetter munnstykket (luker i munnstykket). En annen løsning kan være å øke dimensjonen på pumpe, rørgate og munnstykkeåpning (5 cm til 10 cm).

Hastighet ut av diffusor var bra, ref videofilming. Hastigheten ut av diffusor var under den kritiske strømhastigheten for resuspensjon (0,28 m/s). Det som er viktig er at den vertikale hastigheten ikke blir for stor. Denne reguleres med avstanden mellom diffusor og bunn. Vi hadde avstander fra 1,5 m og ned til 0,5 m over bunn. Med tanke på kontroll av munnstykkets plassering i forhold til bunn ville et kamera plassert på munnstykke være en meget god forbedring.

Kontinuerlig graving for senketunnellen krever 3 –4 lektere på ca 300 m³.

7.1.1 Tykkelse på leirelaget

Kjerneprøvene viste at leiren hadde omtrent samme konsistens som ved utlegging og den utlagte leiren hadde i stor grad fulgt bunntopografien i områdene og spredt seg mer

enn planlagt. Det tykkeste leirelaget som ble registrert var 23 cm tykt i Bunnefjorden og 8 cm i Bjørvika.

Tettheten på slurryen var en avveining mellom å oppnå ønsket tykkelse, pumpbarhet og transportering uten utfelling. Man så tidlig i utredningene at det ikke var mulig å tildekke områdene med ønsket tykkelse med de tilgjengelige mengdene med leire. Men prosjektet hadde forventet at leiren skulle kunne tildekke et mindre område i midten av feltet med tilnærmet ønsket tykkelse. Med bakgrunn i resultatene fra de innledende forsøkene som viste en utrastningsvinkel på 1:140 (Vedlegg 2) ble det valgt å legge ut all masse i midtpunktet av feltet. Man antok at da det gikk en tid mellom hver utlegging så ville massene stabilisere seg noe før neste utlegging. Etterundersøkelsen viste at leiren ikke har stabilisert seg innenfor området som skulle tildekkes, men har fulgt bunntopografien i større grad enn antatt. Dette tyder på at vanninnholdet i leiren var for høyt til å få ønsket konsolidering. Vanninnholdet var på den andre siden optimalt for transport og pumping samt utlegging uten oppvirvling.

Selv om prosjektet ikke innfridde målet om ønsket tykkelse så er det mulig å si noe om valgte teknologi mht. spredning under utlegging og innblanding av opprinnelig sediment i det utlagte laget. Resultatene fra overvåkingen og de kjemiske analysene tilsier at den valgte metoden tilfredsstiller miljøkravene til utleggingen. Utfordringen ligger i å dekke til de ønskede områdene uten at leiren flytter seg i etterkant. Dette må søkes løst blant annet ved å øke tettheten på leireslurry slik at utflytningsevnen minskes samt konsolideringstiden reduseres. I tillegg må områdene som skal tildekkes vurderes med hensyn til bunntopografi. Uansett hvor tykk slurryen blir så vil den etter utlegging med valgte metode, flyte utover til en viss grad, følgelig må områdene som tildekkes avgrenses fra dypereliggende områder. Dette kan søkes løst enten ved naturlige avgrensninger eller ved utplassering av andre typer masser.

7.2 Overvåking

7.2.1 Turbiditets målinger i anleggsfasen

Det ble gjennomført mange turbiditetsmålinger i anleggsfasen med entydig resultat. Det var lite eller ingen spredning av partikler som følge av utleggingen. Omfanget av målingene var en fornuftig tilnærming med hensyn til kunnskapsnivået og dokumentasjonsbehovet i pilotprosjektet, men vil nok være i meste laget for et fullskalaprojekt. Basert på målingene gjort i dette prosjektet vil et anleggsarbeid i fullskala kunne minimere antall turbiditetsmålinger under utlegging.

7.2.2 Overvåking av miljøgifter i vannsøylen

Tilgjengeligheten på bakgrunnsdata fra forurensninger i vannet fra Oslofjorden er begrenset. Vannløste forurensninger sprer seg normalt raskt og følger de ulike vannmassene. Bare en liten økning av konsentrasjonen kan således innebære en stor potensiell spredning av forurensningen.

Data fra indre Oslofjord fra 20 m dyp fra 1997 (S. Westerlund RF upubliserte data) viste at i henhold til SFT: klassifisering så havnet metallinnholdet i SFT klasse 2. (Tabell 7.1)

Tabell 7.1. Bakgrunnsnivåer på metaller i bunnvannet i indre Oslofjord 1997

<i>Metal</i>		<i>µg/l</i>
Cu	Total	0.56
	Løst	0.56
Cd	Total	0.035
	Løst	0.035
Zn	Total	2.44
	Løst	2.57
Ni	Total	0.51
	Løst	0.50
Pb	Total	0.084
	Løst	0.058

Resultatene i denne undersøkelsen viser at deteksjonsgrensene ikke er lave nok for å miljøklassifisere vannsøylen, dette var heller ikke hensikten med prøvetakningen. Man kan konstatere at sink ligger i samme område som ble funnet i 1997 med unntak av en prøve fra Bunnefjorden som sannsynligvis er en feilaktig måling. Et element som viser høyere nivå er bly. Resultatene for bly fra område 2 kan tyde på en vesentlig lekkasje av bly fra sedimentet i dette området. Resultatene er fremdeles 3 ganger over deteksjonsgrensen. Med tanke på at indre Oslofjord hadde høyere innhold av bly i sedimentet er det vanskelig å skjønne at det skal være en større lekkasje av bly i det ytre området. For å forklare dette trengs det flere målinger, helst med bruk av metoder som er i stand til å måle bakgrunnsnivå.

7.3 Sammenlikning med andre prosjekter

I Norge er det utført noen få tildekkingsprosjekter, men det finnes et stort erfaringsmateriale fra utlandet, spesielt fra USA. Disse arbeidene er nylig oppsummert i SFT-rapport TA-1865, 2002. Det finnes ingen referanser til arbeider gjennomført med leire som tildekkingsmateriale, men veilederen har blitt brukt som grunnlag for en del av planlegging og prosjektering. Piloten skiller seg ut fra de andre prosjektene ved at det i hovedsak er fokus på tildekkingsmateriale som fungerer som partikler i vannsøylen og mekanismene når disse partiklene sedimenterer over den forurensede sjøbunnen. Ved å bruke leire blandet med sjøvann så fungerer tildekkingsmaterialet mer som en tyktflytende masse, ikke partikler. Hvis leiren hadde fungert som partikler i vann ville sedimentasjonstiden (partikkelstørrelsen) vært svært lang og det ville dermed være vanskelig å kontrollere utleggingen.

7.4 Anbefalinger

For å vurdere i hvilken grad den utlagte leiren stabiliserer seg i et lenger tidsperspektiv, anbefales det å ta nye sedimentprøver i vår/sommer for å se på eventuell ytterligere utflytning og konsolidering.

Da målsetningen med å oppnå ønsket tykkelse ikke ble innfridd bør det vurderes om vanninnholdet i slurry skal minskes. Men det må avveies mot risiko for at slurryen blir for tung slik at den blander seg i større grad med opprinnelig sediment.

7.5 Kostnader

Den største uforutsette kostnadsdriveren var grus i massene som forårsaket slitasje på utstyret. Dette vil også være en utfordring i et fullskalaprojekt. For piloten var fremmedlegemer i massene som større stein, treverk og søppel også en utfordring, men her finnes det tekniske løsninger som kan implementeres i et fullskala anlegg.

Kostnadsreduksjoner kan oppnås ved å redusere ventetiden for de ulike delarbeidene. Blandingsteknologien må optimaliseres da den var svært tidkrevende i piloten. Videre er det et klart kostnadsreduksjonspotensiale mht. stordriftseffekt. Ved å ha et landbasert blandeverk for leire, kan lektene lastes uavhengig av blandingsarbeidene. Med flere lektene som kan gå kontinuerlig kan man oppnå en tilnærmet kontinuerlig utlegging uten ventetid. Dette vil redusere anleggsperioden og følgelig kostnadene. Kontinuerlig graving for senketunnelen vil grovt regnet kreve 3–4 lektene på ca 300 m³ for å kunne ta unna massene etter hvert.

I Tabell 7.1 er det satt opp et estimat vedrørende kostnader i fullskala prosjekt. Dette estimatet er basert på erfaringene som ble ervervet i pilotprosjektet. For enkelthets skyld er det laget anslag for 100 000 m³, så for videre planlegging vil det være hensiktsmessig å se på den estimerte enhetsprisen pr m³ som er 210 kroner.

Tabell 7.1. Estimert pris utlegging av leire over sjøbunn med rør og diffusor, basert på kvantum 100 000 m³ kapasitet inntil 2 000 m³/døgn, RS (Rund sum).

Aktivitet	enhet	kvantum	pris	kostnad
Forberedelser tillatelser, forundersøkelser	RS	1	300 000	300 000
Rigg for graving	RS	1	350 000	350 000
Graving	m ³	100 000	30	3 000 000
Rigg for blanding slurry	RS	1	1 500 000	1 500 000
Blanding slurry	m ³	100 000	55	5 500 000
Fjerning fremmed legemer	m ³	100 000	10	1 000 000
Rigg for transport masser	RS	1	1 200 000	1 200 000
Transport masser	m ³	100 000	20	2 000 000
Rigg utlegger inkl. diffusor	RS	1	1 200 000	1 200 000
Utlegging	m ³	100 000	25	2 500 000
Overvåking kontroll	m ³	100 000	5	500 000
Øvrig rigg og administrasjon	m ³	100 000	20	2 000 000
Total pris				21 050 000
Pris pr m ³				210.5

8 Konklusjon

Målsetningen med pilotprosjektet var å undersøke om det er teknisk mulig å bruke leire til å dekke forurensede sedimenter ved ulike dyp, her representert med 20 m og 90 m og i ulike lagtykkelser (0,1 og 1,0 m). En forutsetning for en fullskala tildekking er at de miljømessige konsekvensene av utleggingen ikke er negative, dvs. at miljøgifter i det opprinnelige sediment ikke spredte seg til vannsøylen i urimelig grad.

Pilotprosjektet har vist at det ved valgt teknologi og metode er mulig å bruke leire til å dekke til forurenset sjøbunn. Det er en utfordring å oppnå tykke lag med mindre bunntopografien er veldig flat.

Det er ikke påvist spredning av miljøgifter fra opprinnelig sediment til vannsøylen. Det er heller ikke påvist økt mengde partikulært stoff i vannsøylen som følge av utleggingen.

Det er påvist at leiren legger seg over de opprinnelige sedimentene uten stor innblanding av opprinnelig sediment i det utlagte leirelaget. Det ble observert at et tynt lag med opprinnelig sediment lå over deler av den utlagte leiren. Årsaken til dette kan være at dette laget har lavere tetthet enn leiren og at leiren derfor flyter under dette topplaget eller at dette topplaget er transportert over leiren etter utleggingen. Det var dessverre umulig å ta prøver av dette laget spesifikt, men det inngikk som en del av topplaget i mange av kjerneprøvene.

Det er påvist at leiren etter utlegging flyter jevnt utover. Leiren fulgte bunntopografien og med de tilgjengelige massene var det ikke mulig å oppnå ønsket tykkelse. For å oppnå tykkere lag må området som skal dekkes til være avgrenset fra dypere områder. Til dette kan naturlig bunntopografi nyttes ved å velge større områder for tildekking eller det kan legges motfyllinger på utvalgte steder. Eventuelt kan det vurderes å minke vanninnholdet i slurryen for å redusere utflytningen og øke stabiliteten.

Hovedkonklusjonen er at det er fullt mulig å bruke leire til tildekking av forurenset sjøbunn uten at det medfører spredning av miljøgifter fra sjøbunnen. Det er fremdeles noen utfordringer med tanke på å oppnå ønsket tykkelse og stabilitet på tildekkingslaget.

Beregninger viser at det ved skipspassering av større båter (35 000 BRT) slik som Crown of Scandinavia er det fare for resuspensjon av utlagt leire. Det vil si at det ikke bør brukes leire som tildekking i områder hvor de store ferjene passerer eventuelt så må det legges ut stabiliserende masser med bedre erosjonssikring.

Kostnadene ved en fullskala utlegging er estimert til rundt 210 kroner/m³ basert på utlegging av 100 000 m³ med en kapasitet på inntil 2 000 m³/døgn. Estimater er beregnet ut fra erfaringene som ble ervervet i pilotprosjektet ved bruk av rør og diffusor.

9 Referanser

TA-1865/2002 Tildekking av forurensede sjøsedimenter.

Westerlund S., Rogalandforskning Unpubliserte data, 1997.

Fylkesmannens konsesjon til pilotforsøk tildekking datert 29.06.2004

Nøland S.A, et al. DNV rapport 2004-0870, Forundersøkelser på to disponeringsalternativer for rene masser fra Bjørvika; Ursvik/Hellvik og området utenfor Bjørvika.

Laugesen, J. et al. DNV Rapport 2003-0869, E18 Bjørvikatunnelen- Disponering av leir- og siltmasser.

10 Forklaring til noen ord og uttrykk.

- Aerob** – som kan leve i nærvær av molekylært oksygen.
- Anaerob** – organismer som kan leve og vokse uten nærvær av molekylært oksygen.
- Anoksisk** – uten oksygen, oksygenfritt.
- Aromater** – organiske forbindelser hvor karbonatomene er bundet til hverandre i ring(er) og annenhver binding er en dobbeltbinding.
- Artsmangfold** - et mål på antall arter (artsrikdom) en prøve eller et område.
- Autotrof** – brukes om organismer som kan leve utelukkende av uorganiske forbindelser, eksempelvis fotosyntetiske grønne alger og planter.
- BaP** – Benzo (a) pyren, fem ring struktur av PAH
- Benthos** – organismer som lever på eller i havbunnen.
- Bunnfauna** – dyr som lever på eller i sjøbunnen.
- Børstemark** – mark som har børster på kroppen. Deles inn i mangebørstemark (polychaeter) som har mange børster på kroppen og fåbørstemark (oligochaeter). Mangebørstemark er vanligst i sjøvann og vi omtaler derfor mangebørstemark ofte som bare børstemark.
- CTD sonde** – instrument som måler konduktivitet (ledningsevne for strøm) og temperatur (Conductivity Temperature Density). Resultatene brukes til å beregne saltholdighet og vannets tetthet (Density).
- Deteksjonsgrense** – den laveste verdien som kan påvises med metoden.
- Diversitet** – artsomangfold, et mål på antall arter i en prøve eller et område.
- Finfraksjon** – brukes her om partikler som er mindre enn 0,063 mm, det vil si leire og silt.
- H₂S** – se hydrogensulfid.
- Hydrogensulfid** – (dihydrogensulfid, H₂S). Fargeløs og meget giftig gass. Dannes ved reduksjon av sulfat til sulfid, i fravær eller mangel på oksygen. H₂S tyder på at miljøet er uten oksygen.
- Hydrografi** – den del av oceanografien (læren om havet) som beskriver havvannets fysiske og kjemiske forhold.
- Hydrokarboner** – organiske stoffer som består utelukkende av karbon- og hydrogenatomer. Det enkleste er metan, CH₄. De viktigste finnes i jordolje.
- Isolinje** – linje som forbinder punkter med samme verdi.
- Juvenil** – ung (juvenile –engelsk: ungdom) , brukes om unge individ av dyr eller planter.
- Koeffisient** – betegnelse på en tallfaktor som står foran et matematisk uttrykk eller en del av det.
- Kvantitativt** – uttrykk for en fast mengde, antall, eller størrelse, -finne mengden av ulike stoff i en sammensatt forbindelse. Her i rapporten: Kvantitative bunnprøver. Prøven skal inneholde alle dyrene som var i bunn materialet (arealet) som grabben skulle ta prøve av. Se kvalitativt.
- Kvalitativt** – uttrykk for kvaliteten. For eksempel finne hva slags forbindelser som finnes i et sammensatt stoff. Ikke avhengig av mengdene av hvert stoff.
- Leire** – uorganiske partikler som er mindre enn 0,002 mm (< 2 µm)
- Makrobenthos** – bunnlevende organismer med diameter større enn 0,5 mm.
- Marin** – det som har med havet å gjøre, Latin *mare*, havet.
- Organisk** – av biologisk opprinnelse, eller biologisk materiale. Inneholder karbon.
- Organisk materiale** – organisk stoff, av biologisk opprinnelse.
- Oseanografi** – vitenskapene som angår havet.
- PAH** – (Polyaromatiske hydrokarboner), eller tjærestoffer, er en gruppe forbindelser som består av 2 til 6 aromatiske benzen ringer.
- Parameter** – konstant i en ligning (se koeffisient). Representerer ofte variable som man velger en konstant verdi for som ledd i en forenkling av en matematisk modell. Brukes her også som en betegnelse på en type egenskap som kan observeres, måles eller beregnes, for eksempel næringsalt.
- PCB** (polyklorerte bifenyler). Dette er forbindelser som har blitt brukt i blant annet transformatorer, kjøle(apparat), maling. På grunn av ekstrem lav nedbrytbarhet og giftighet overfor organismer, er PCB regnet som en av de verste miljøgiftene. De er nå mer eller mindre faset ut av bruk i Norge
- Pelagisk** – som er tilknyttet de frie vannmasser (ikke bunnen).
- Resipient** – vannforekomst som mottar tilførsler av antropogen (menneskeskapt) opprinnelse. Begrepet brukes ofte i forbindelse med forurensninger, f. eks. ved utslipp av kommunalt avløpsvann eller prosessvann fra industri.
- Populasjon** – den samlede mengden av organismer av én art innenfor et gitt område.
- Salinitet** – saltholdighet.
- Sediment** – bunnslam, det som ligger på sjøbunnen
- Sedimentere/sedimentasjon** – partikler som synker ut fra vannmasse og til bunn

Sekundærrensing - oppnås dersom: 1) BOF_5 -verdien i avløpsvannet reduseres med minst 70 % i forhold til det som blir tilført rensenanlegget eller overstiger 25 mg O_2/l ved utslipp, og 2) KOF_{cr} - verdien (KOF - Kjemisk oksygenforbruk) i avløpsvannet reduseres med minst 75 % forhold til det som blir tilført rensenanlegget eller overstiger 125 mg O_2/l ved utslipp (avløpsforskriften, SFT 2002). I tillegg anbefales det at SS -verdien (suspendert stoff) for det tilførte vannet reduseres med 90 % før utslipp, eller ikke overstiger 35 mg/l etter rensing.

Silt – uorganiske partikler som er større enn 0,002 mm (< 2 μm) og mindre enn 0,063 mm (<63 μm).

Tetthet – tyngde på vannet. Sjøvannets tetthet (masse pr volum) er oppgitt som σ_t og 1000 kg må legges til for å få tyngde i kg pr m^3 . I våre farvann kan en forenklet si at tettheten øker med økende saltholdighet og trykk, og avtagende temperatur (ned mot frysepunktet).

TOC – totalt organisk karbon, et mål på innhold av organisk materiale

Toksisk – giftig

Topografi – beskrivelse av terrengets fasong, i havet bunntopografi.