

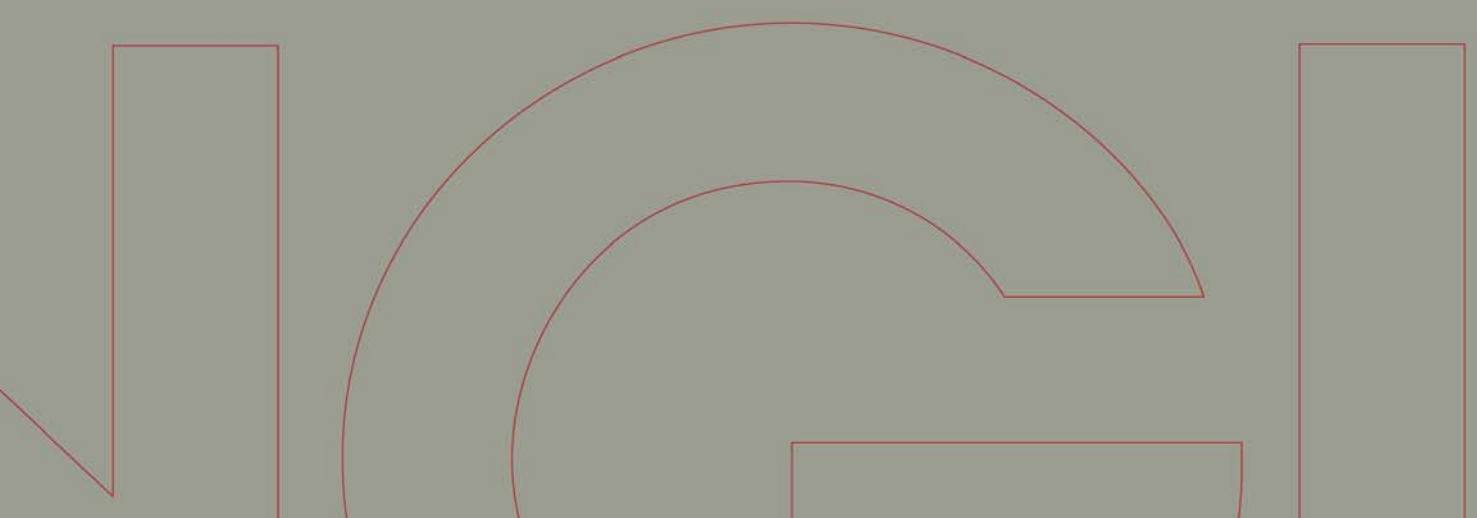


Rapport / Report

Overvåking av forurensning ved mudring og deponering

Prøvetildekking av
dypvannsdeponiet

20051785-34
15. april 2008



Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentsiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere dette før bruk av dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this before using this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Prosjekt

Prosjekt: Overvåking av forurensning ved mudring og deponering
Rapportnummer: 20051785-34
Rapporttittel: Prøvetildekking av dypvannsdeponiet
Dato: 15. april 2008

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Oslo Havn KF
Oppdragsgivers
kontaktperson: Kjetil Lønborg Jensen
Kontraktreferanse: 40HAV05

For NGI

Prosjektleder: Audun Hauge
Rapport utarbeidet av: Gijs Breedveld
Hans Nilsson (NIVA), Tore Kvalstad



Sammendrag

NGI har i samarbeid med NIVA gjennomført undersøkelse av massene i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven før og etter prøveutlegging av et tildekkingslag. Sand ble brukt som tildekkingsmateriale i et 5000 m² stort prøvefelt. Undersøkelsene omfattet 3 ulike metoder: i) prøvetaking av masser og etterfølgende analyse, ii) in-situ testing ved hjelp av sedimentprofilfotografering, iii) visuell inspeksjon ved hjelp av undervannskamera (ROV). Resultatene har blitt brukt til å vurdere styrke i deponert materiale, utleggingsmetodikken, vertikal (innblandingsdybde) og horisontal fordeling av utlagt materiale.

Resultater fra undersøkelsene viser at:

- Det er deponerte masser i deponeringsområdet som er brukt som forsøksfelt.
- Det er tydelige sjikt med forskjellig kornstørrelse i prøvene tatt av deponimassene i nærheten av nedføringsriggen.

Sammendrag (forts.)



Rapport nr.: 20051785-34
Dato: 2008-04-15
Rev. dato:
Side: 4 / Rev.: 0

- Utlegging av tildekkingslag av sand, med kornstørrelse 0-8 mm, ved hjelp av splitlekter fungerer bra. For å oppnå en jevn lagtykkelse anbefales utlegging av flere tynne (5-10 cm) lag i et kryssende mønster.
- Sedimentenes styrke øker etter tildekking. Sanden blandes delvis med overflatesedimentet til 5-8 cm dyp. Nærmere bestemmelse av bæreevne krever prøvetaking gjennom deponiet ned til opprinnelig sjøbunn.
- Den observerte spredningen av sand på bunnen fra prøvetildekkingen er større enn det definerte prøvetildekkingsområdet.

Innhold



Rapport nr.: 20051785-34
Dato: 2008-04-15
Rev. dato:
Side: 5 / Rev.: 0

1	Innledning	6
2	Bakgrunn	6
3	Feltarbeid	6
3.1	Forundersøkelser	6
3.2	Utlekking av tildekkingsmaterialet	9
3.3	Kontroll av tildekkingslag	10
4	Analyser	11
4.1	Vingebor	11
4.2	Platebelastning	12
4.3	Sedimentprofil kamera	13
4.4	Visuell inspeksjon med ROV	14
5	Resultater	14
5.1	Før tildekking	14
5.2	Etter tildekking	17
6	Vurdering	22
6.1	Dypvannsdeponiet før tildekking	22
6.2	Dypvannsdeponiet etter tildekking	23
7	Konklusjon	24
8	Referanser	24

Vedlegg:

Vedlegg A	Resultater fra karakterisering av tildekkingsmaterialet
Vedlegg B	SPI bilder fra deponiet før prøvetildekking
Vedlegg C	SPI bilder fra deponiet etter prøvetildekking

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI gjennomfører kontroll og overvåkning ved mudring og nedføring av forurensede sedimenter til dypvannsdeponi etablert ved Malmøykalven i indre Oslofjord. Overvåkningsprogrammet er definert i kontrollplanen (HAV, 2007) som bygger på SFTs tillatelser.

I tillegg til den påkrevde overvåkingen utfører Oslo Havn et utvidet overvåkningsprogram. Som et ledd i kontroll og overvåkingen av dypvannsdeponiet har det blitt utført fysiske undersøkelser av deponerte masser både før og etter utlegging av et tildekkingslag av ren sand i et prøvefelt på 5000 m². Dette arbeidet er gjennomført i samarbeid med NIVA.

Denne rapporten presenterer resultater og vurderinger fra undersøkelsene som har blitt utført ved hjelp av prøvetaking, sedimentprofilfotografering og visuell inspeksjon med undervannskamera i perioden desember 2006 til april 2007.

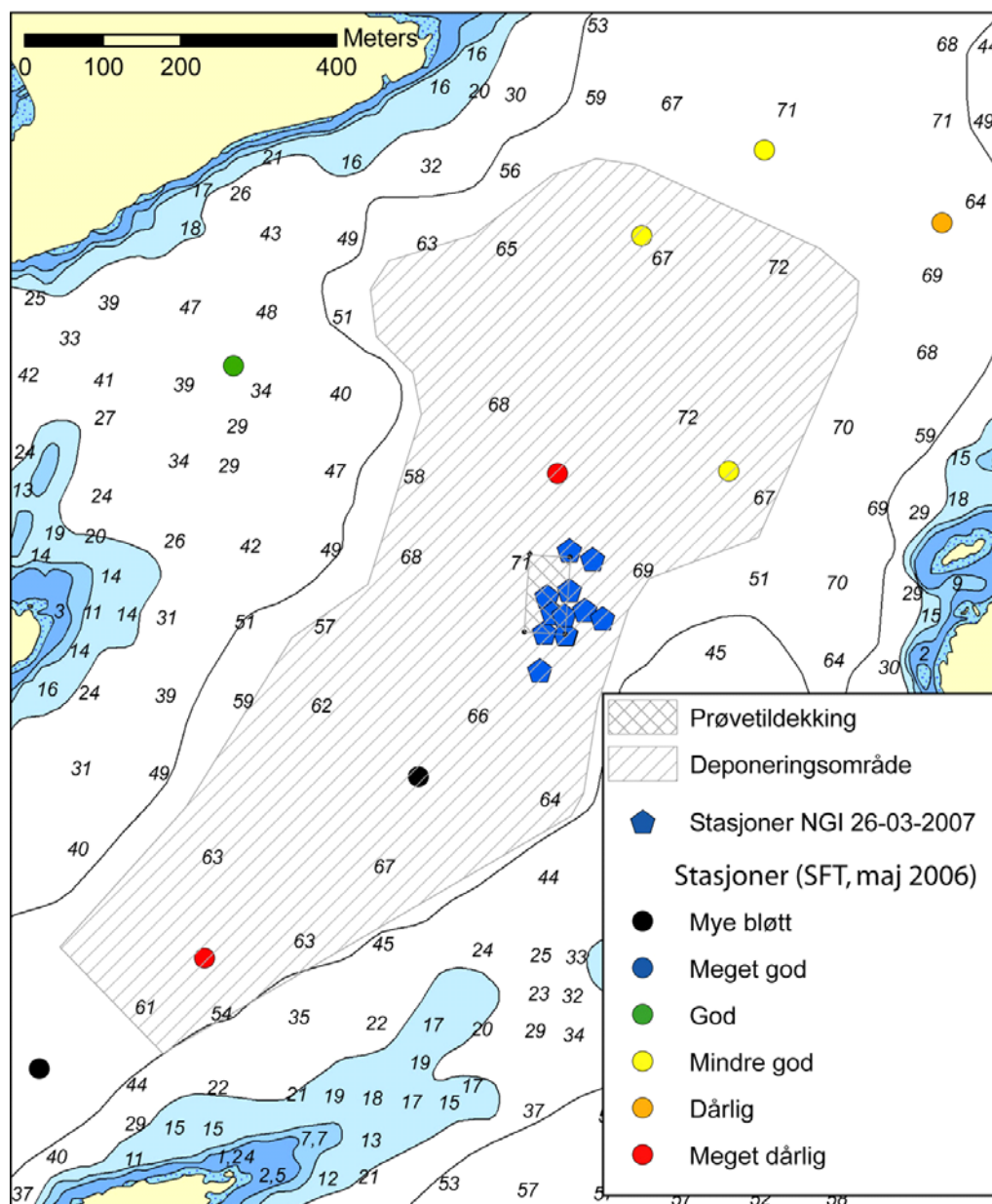
2 Bakgrunn

Tiltaksplanen for opprydding av forurensede sedimenter i Oslohavn forutsetter at mudrede masser som nedføres i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven tildekkes med rene masser etter at tiltaksarbeidet er avsluttet. For å nærmere vurdere egnede metoder for utlegging av tildekkingsmaterialet har det blitt utført en prøvetildekking med sandig materiale. Studiene omfattet både vurdering av styrken i mudrede masser i deponiet samt fordeling av tildekkingsmaterialet etter utlegging både vertikalt og horisontalt

3 Feltarbeid

3.1 Forundersøkelser

Forundersøkelser av mudremasser i dypvannsdeponiet ble gjennomført med UiOs forskningsfartøy ”Trygve Braarud” den 12. desember 2006. Undersøkelsene i deponiet konsentrerte seg om områdene vest og nord/nord-øst for posisjonen til nedføringsriggen ”Rielle”. I tillegg ble posisjoner i Bekkelagsbassenget nord for dypvannsdeponiet undersøkt. En oversikt over området er vist i figur 1.

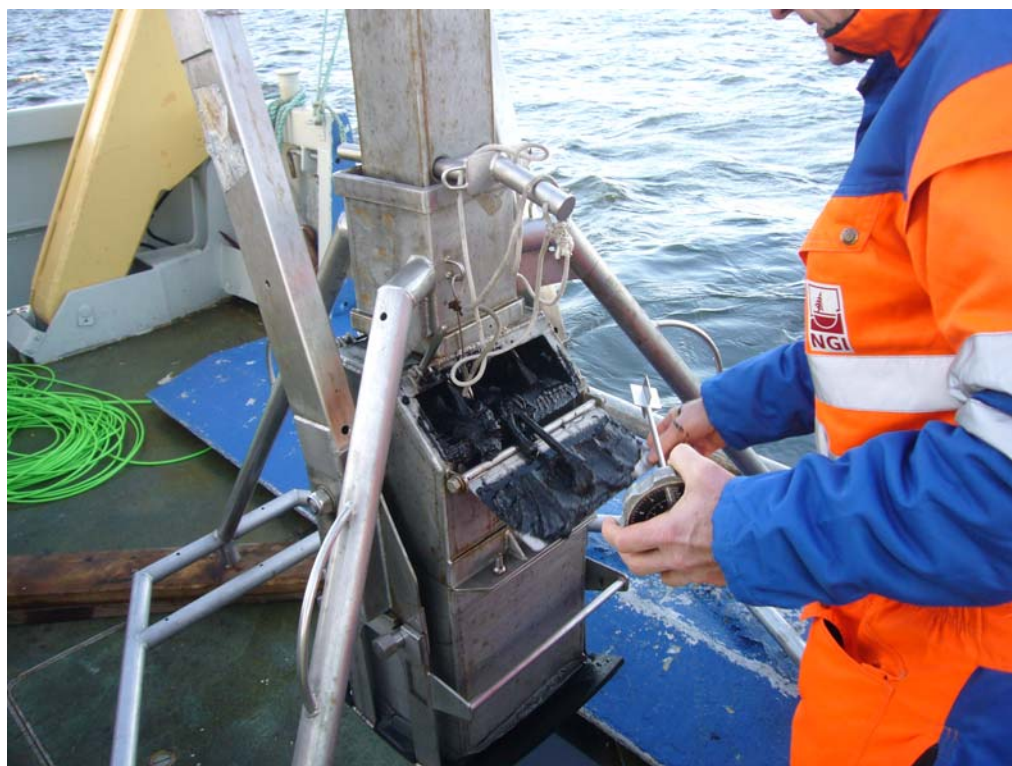


Figur 1 Oversikt over området som har blitt undersøkt (SFT, 2007)

Undersøkelsene besto i: i) opptak av store uforstyrrede prøver ved hjelp av boxcorer (figur 2) med påfølgende bestemmelse av skjærfasthet ved hjelp av vingebor og platebelastningsforsøk, ii) sedimentprofil fotografering med NIVAs SPI kamera og iii) visuell inspeksjon med ROV som dessverre måtte avbrytes pga utstyrssvikt. Tabell 1 viser nøyaktig posisjon til prøvetakingspunktene samt undersøkelsene utført ved de ulike posisjoner.

Tabell 1 Prøvetakingsstasjoner i deponiet 12. desember 2006 og utførte bestemmelser

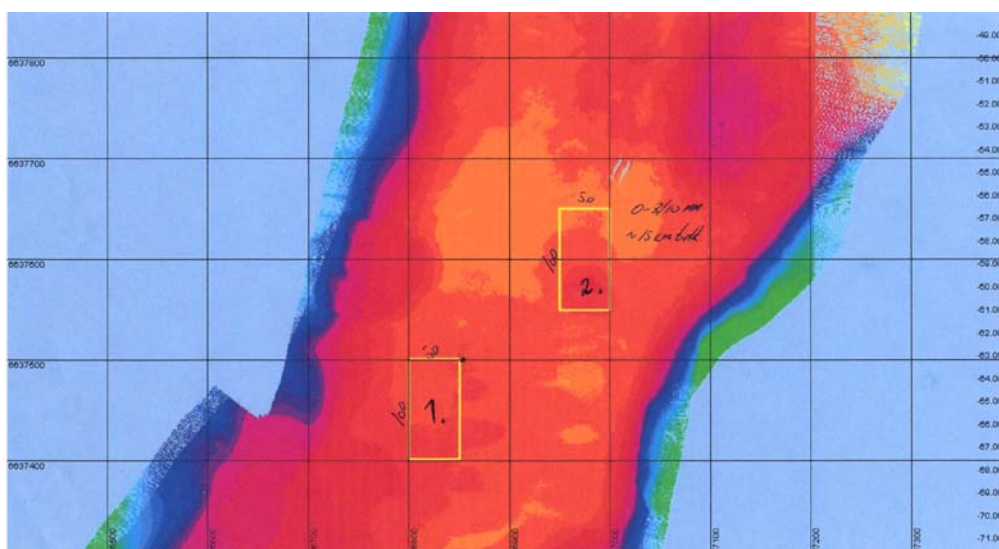
Stasjon	Latitud	Longitud	Dyp (m)	Undersøkelser
Prøvestasjoner i deponiet				
A-1	59,86320	10,72872	69	SPI
A-2	59,86343	10,72897	69	Boxcorer, SPI
A-3	59,86415	10,73148	68	SPI
A-4	59,86492	10,72998	69	Boxcorer, SPI
Prøvestasjoner nord for deponiet				
A-5	59,86592	10,73165	68,5	SPI
A-6	59,86608	10,73570	67	SPI
A-7	59,86897	10,73337	62	SPI



Figur 2 Prøvetaking med boxcorer

3.2 Utlegging av tildekkingsmaterialet

Et område på 50 x 100 m i nærheten av prøvetakingsstasjon A-3 ble pekt ut som prøvefelt for tildekking. Forundersøkelsene hadde vist lav skjærfasthet i området og det hadde foregått lite nedføring i det aktuelle området siden forundersøkelsene (Figur 3). Utleggingsmaterialet besto av sand i fraksjonen 0-8 mm fra Storsand Sandtak AS. Før utlegging ble massene karakterisert med hensyn til partikkelstørrelse fordeling og kjemisk sammensetning (Vedlegg A). Utleggningen ble gjennomført i 2 omganger 7. og 8. mars 2007 ved hjelp av en splitlekter (Mudder 080). Hver dag ble det lagt ut et lekterlass på 400m³ sand. Lekteren ble slept på tvers over prøvefeltet ved hjelp av en slepebåt. På denne måte kunne sanden legges ut i en bredde på 30 m i prøvefeltets lengderetning. Utleggningen er nærmere illustrert i figur 3. Den påfølgende dagen ble lasten lagt ut med litt overlapp i forhold til den første lasten for å kunne se på variasjonen i tildekkingsmektighet. En oversikt over utleggingsdata er gitt i tabell 2.



Figur 3 Utleggingsfelt 2 ble valgt til pilotforsøket

Tabell 2 Utleggingsdata i prøvetildeckingsfeltet 7. og 8. mars 2007

Dato	Hastighet	Tid	Åpning	Merknader
07-03-2007	1,8 km/t	0 min	20 cm	50 m N for feltet
	2,7 km/t	1 min	20 cm	Start feltet, rask tømning
	2,7 km/t	2 min	40 cm	Midt i feltet tømning går sakte
	2,7 km/t	6 min	40 cm	100 m S for feltet
	1,8 km/t	8 min	full åpning	Tømning av restlasset 150 m S for feltet
08-03-2007	1,8 km/t	0 min	20 cm	50 m N for feltet
	1,8 km/t	2 min	20 cm	Start feltet, 30% tømt
	1,8 km/t	4 min	40 cm	Midt i feltet, 50% tømt
	1,8 km/t	6 min	40 cm	Slutt av feltet, 70% tømt
	1,8 km/t	8 min	40 cm	50-75 m S for feltet, tom

Utleggingen viste at tømningen gikk fort i starten, deretter måtte lekteren åpnes videre for å holde samme tømningshastighet. Generelt gikk tømningen saktere enn forventet og et område på 7000-9000 m² ble dekket til for hvert lass. Utstrekning av prøvefeltet i sørlig retning ble dermed nesten fordoblet (fra 100 m til ca. 200 m). Den gjennomsnittlige mektigheten av sandlaget kan estimeres basert på sandvolumet (ca. 400 m³) og tildeckingsarealet til 4-6 cm.

3.3 Kontroll av tildekkingslag

Kontroll av tildekkingslaget ble gjennomført ved hjelp av UiOs forskningsfartøy "Trygve Braarud" den 26. mars 2007. I perioden mellom utlegging og kontrollmålingene hadde nedføringsenheten blitt flyttet nærmere prøvefeltet, noe som kan ha tilført mudrede masser til den vestlige delen av prøvefeltet. Undersøkelsene besto i: i) opptak av store uforstyrrede prøver ved hjelp av boxcorer med påfølgende bestemmelse av skjærfasthet ved hjelp av vingebor, ii) sedimentprofil fotografering med NIVAs SPI kamera og iii) visuell inspeksjon med ROV. Tabell 3 viser nøyaktige posisjoner til prøvetakingspunktene samt undersøkelsene utført ved de ulike posisjoner.

Tabell 3 Prøvetakingsstasjoner ved kontroll av tildekkingslaget 26. mars 2007

Stasjon	Latitude	Longitude	Dyp (m)	Undersøkelser
Prøvestasjoner i deponiet				
B-1	59,86415	10,73213	68	Boxcorer, SPI
B-2	59,86416	10,73212	68	SPI + 11,2 kg
B-3	59,86504	10,73263	69	SPI + 11,2 kg
B-4	59,86513	10,73209	68	SPI + 11,2 kg
B-5	59,86466	10,73215	68	Boxcorer, SPI + 11,2 kg
B-6	59,86458	10,73164	68	Boxcorer, SPI + 11,2 kg
B-7	59,86416	10,73165	68	SPI + 11,2 kg
B-8	59,86372	10,73159	68	SPI + 11,2 kg
B-9	59,86439	10,73180	67	SPI
B-10	59,86437	10,73206	67	SPI
B-11	59,86444	10,73253	68	SPI
B-12	59,86436	10,73294	68	SPI

4 Analyser

Prøvene som ble tatt opp med boxcorer ble brukt for å bestemme skjærfasthet med håndvingebor og med enkle platebelastningsforsøk med lodd. NIVAs sedimentprofilkamera (Sediment Profile Imaging; SPI) ble presset ned i sjøbunnen med en kjent vekt og med kjent geometri. I tillegg til et visuelt bilde av sedimentets lagdeling gir penetrasjonsdybden (som kan leses av på foto) informasjonen om skjærfasthet til sedimentene.

4.1 Vingebor

Vingebor er et standard utstyr for måling av leirers skjærfasthet. To plater danner et kors med 4 "vinger". Vingene er montert på enden av en stang som presses ned til ønsket dybde. Deretter roteres stangen og vingene og skjærer av et sylindereformet stykke leire. Rotasjonsmotstanden måles og den udrenerte skjærfastheten, s_u , uttrykkes som

$$s_u = \frac{\pi}{2} D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$$

hvor D = diameter og H = høyde på vingebolet

Et håndholdt vingebor (Geotest E-290) med 33mm diameter vinge ble benyttet i undersøkelsen i desember 2006. Sedimentene var svært bløte (se Tabell 4) og avlesningsnøyaktigheten ble dermed noe dårligere enn ønsket. For kontrollundersøkelsen i mars 2007 ble det derfor laget en 72 mm diameter vinge som gir ca. 10 ganger større motstand og dermed bedre avlesningsnøyaktighet.



Figur 4 Bilde av vingebor brukt til vurdering av skjærfasthet

4.2 Platebelastning

Platebelastningsforsøk med lodd kan evalueres med følgende formel:

$$s_u = (W/A - \gamma z) / N_c$$

hvor W = loddvekt (1kg og 2 kg \approx 10N og 20 N)
 A = loddareal (ca. 0.008m²)
 γ = total romvekt av prøvemateriale (antatt 13 kN/m³)
 z = penetrasjonsdybde av lodd
 N_c = bæreevnemfaktor mellom 6 og 7

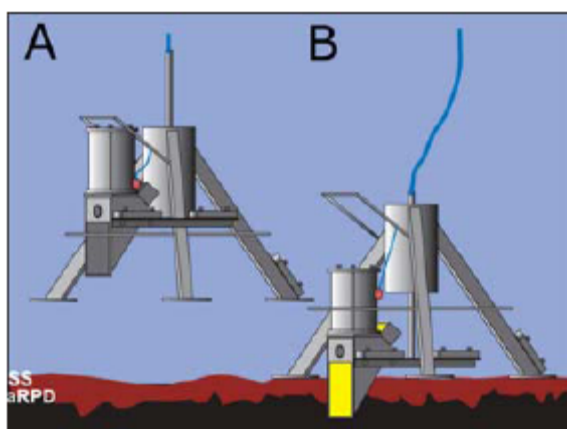


Figur 5 Bilde av platebelastningsforsøk utført på en boxcoreprøve

4.3 Sedimentprofil kamera

4.3.1 Visuell vurdering

NIVAs SPI er et digitalt kamera med blits som er montert i et vanntett hus på en rigg med tre ben (Figur 2). Denne senkes ned til sedimentoverflaten slik at en vertikal glassplate presses ca. 20 cm ned i sedimentet. Bildet tas gjennom glassplaten via et skråstilt speil hvilket til sammen utgjør prismet. Resultatet er digitale fotografier med detaljer både av strukturer og farger av overflatesedimentet. Utstyret veier i luft 124 kg og i vann 70 kg. Prismet presses ned i sedimentet av egenvekten som er 35 kg (Kamerahus, aksel og prisme).



Figur 6 NIVA's SPI tripod med kamerahus som presses ned i sjøbunnen, (prinsippskisse Nilsson, NIVA)

4.3.2 Evaluering av skjærfasthet fra penetrasjon av kameradel

Vekten av kamerahuset neddykket i vann er avgjørende for beregning av skjærfasthet basert på penetrasjonsdybde av kameraet. Det kan se ut som om oppdriften på kamerahuset er undervurdert med ca. 8 kg. I så fall vil penetrasjonsvekten være $W' = 27 \text{ kg}$ ($=265 \text{ N}$) fremfor $W' = 35 \text{ kg}$ ($=343 \text{ N}$).

Kameraboksen som penetrerer ned i sjøbunnen har en bredde $B = 22 \text{ cm}$, og med 45° helning på bunnplaten. Kontaktflaten blir dermed $A = Bz$, hvor z er penetrasjonsdybden som kan avleses på foto av glassflaten. Dette forutsetter at sidefriksjonen på føttene er tilstrekkelig til at kameraet penetrerer vertikalt, noe bildene bekrefter. Bæreevnen, q , til kameraboksen kan dermed estimeres med følgende uttrykk:

$$q = W'/Bz$$

Der W' er neddykket vekt til kamerathuset. Udrenert skjærfasthet, s_u , kan beregnes som:

$$s_u = q/N_c$$

hvor bæreevnefaktoren N_c øker fra 5 ved liten penetrasjon til ca. 9 ved full penetrasjon av kameraboksen. dvs. $z = B = 22\text{cm}$.

4.4 Visuell inspeksjon med ROV

Et lite fjernstyrt kamera (mini-ROV) ble brukt for å filme forholdene på bunnen av deponiet. Som følge av tekniske feil var det ikke mulig å filme før tildekkingen. Etter tildekkingen ble kameraet brukt for å visuelt dokumentere sandlaget. Ved hjelp av kloa på ROV-en ble det gravd spor i tildekkingslaget for å vurdere kornstørrelse og sedimentasjonsegenskaper til topplaget.

5 Resultater

5.1 Før tildekking

5.1.1 Skjærfasthet

På stasjon A-2 og A-4 ble det tatt opp boxcorer som ble undersøkt ved hjelp av vingebor og platebelastningsforsøk med både 1 og 2 kg belastning. Resultatene viser en lav skjærfasthet som varierer fra 0,2 til 0,4 kPa (Tabell 4). Vingebor gir noe høyere verdier i bunnen av prøve A-2 (0,5 til 0,8 kPa) som skyldes at prøvematerialet til platebelastningsforsøk ble mer omrørt ved tømning av boxcorer.

Tabell 4 Skjærfasthet basert på vingebor og platebelastningsforsøk ved 1 kg og 2 kg belastning (kPa).

Forsøk	Stasjon	Topp (0-10 cm)		Bunn (50-60 cm)	
Vingebor	A-2	0,2 – 0,3 kPa		0,5 – 0,8 kPa	
	A-4	0,1 - 0,2 kPa		-	
Plate- belastning		z	s_u	z	s_u
	A-2 1 kg	1,7 cm	0,17 kPa	1,2 cm	0,18 kPa
	A-2 2 kg	4 cm	0,32 kPa	3,4 cm	0,33 kPa
	A-4 1 kg	2 cm	0,16 kPa	1 cm	0,18 kPa
	A-4 2 kg	4,5 cm	0,30 kPa	2cm	0,36 kPa

Penetrasjonsdybde til SPI kamera gir en in-situ skjærfasthet som ligger generelt høyere enn vingebor eller platebelastningsforsøk. Selv om det korrigeres for en mulig lavere egenvekt til kameraet (27 kg fremfor 35 kg) ligger skjærfastheten en faktor 4 til 5 ganger høyere. Det kan være flere grunner til dette. Vingebor forsøkene viste en klar økning med dybden på prøven fra A-2, med 2 til 3 ganger høyere fasthet på bunnen av boxcore prøven enn på toppen. SPI kameraboksen mobiliserer skjærmotstand betydelig dypere.

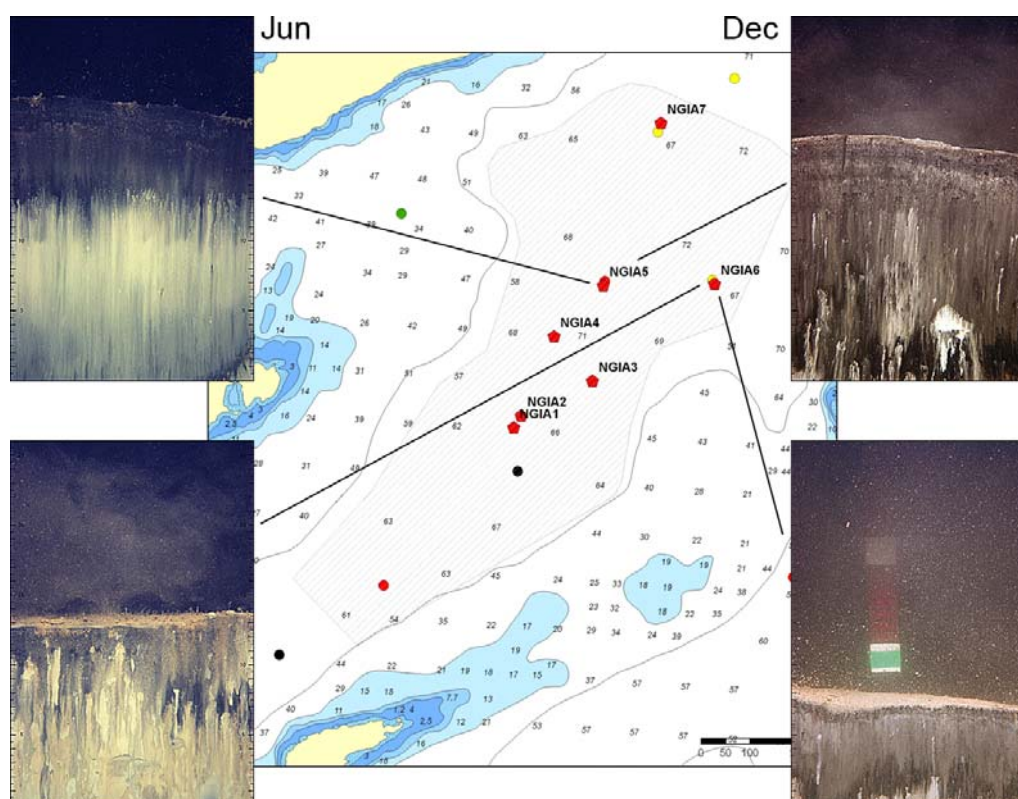
Prøvetaking med boxcorer kan også føre til en viss forstyrrelse av sedimentene særlig i bunnen av prøven når den ble sluppet ut på dekk, og dette vil gi en betydelig reduksjon av skjærfasthet i forhold til in-situ forhold i bunnen av deponiet. Det er heller ikke å forvente at forholdene skal være like over hele deponiområdet, da massene som slippes ut kan ha store variasjoner i vanninnhold og mengde finstoff. Målingene på lokasjon A-1, A-3 og A4 viste også skjærfasthetsverdier mellom 0.5 og 1 kPa som er i samme størrelsesorden som vingebordata fra bunnen av prøven på lokasjon A-2.

Tabell 5 Skjærfasthet beregnet på basis av SPI penetrasjon

Stasjon	Penetrasjon, z cm	z/B	Bæreevnefaktor, Nc	Beregnet skjærfasthet, s_u W' = 35kg (kPa)	Beregnet skjærfasthet, s_u W'=27kg (kPa)
A-1	18.5	0.84	~8	1.1	0.8
A-2	10.8	0.49	~7	2.0	1.5
A-3	26	1.18	~9	<0.7	<0.5
A-4	22.2	1.01	~9	0.8	0.6
A-5	12.1	0.55	~7	1.8	1.4
A-6	10.8	0.49	~7	2.0	1.5
A-7	7	0.31	~6	3.7	2.8

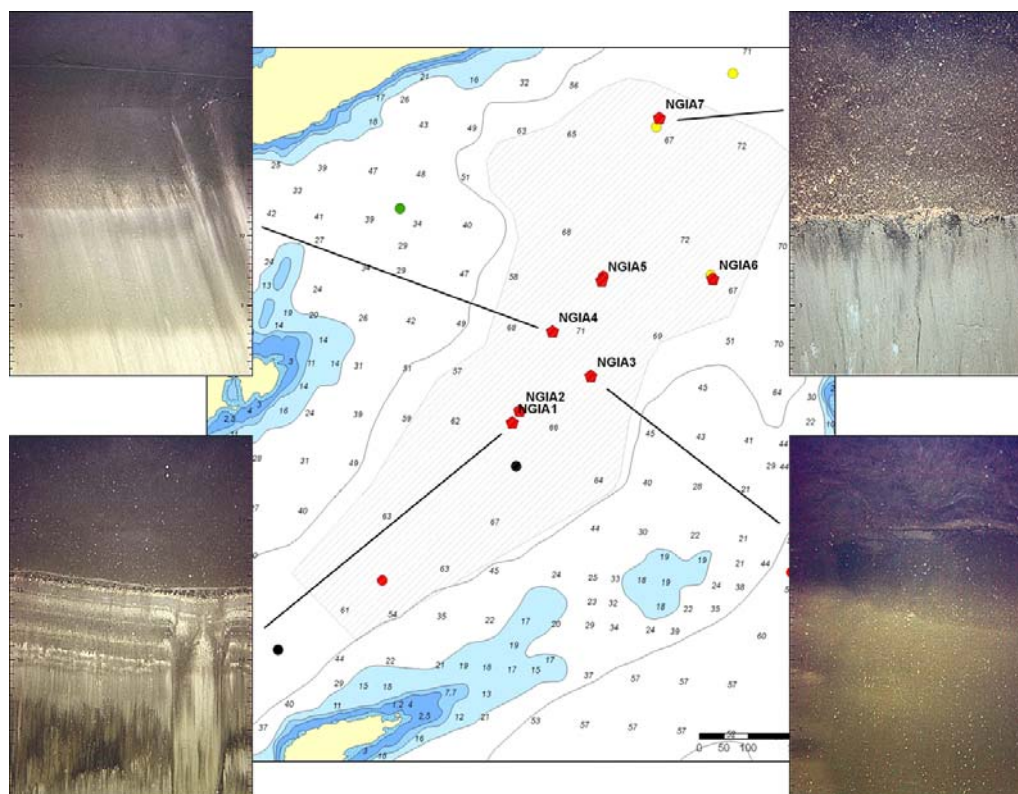
5.1.2 Visuell observasjon SPI

SPI bildene viser at sedimentene i hele området er påvirket av deponeringen, hvilket er forventet. Det ble imidlertid observert både rør av børstemark på sedimentoverflaten og bløtbunnfauna i sedimentet. For 2 stasjoner (A-5 og A-6) kan forholdene i desember 2006 sammenlignes med tidligere observasjoner i juni 2006 (figur 7). På stasjon A-5 var det i juni 2006 et tynt (ca. 1 mm) oksidert sjikt med nysedimentert materiale og fekal pellets over et ca. 6 cm tykt sjikt med sort sediment. Sort farge skyldes vanligvis nydannet jernsulfid og indikerer dermed reduserte forhold. Under det reduserte sjiktet sees et lysere, grått sjikt. Dette bildet viser en sedimentprofil typisk for områder med relativt høy organisk belastning og oksygenmangel i bunnvannet. Dette anses å være representativt for "før-situasjonen" (før deponeringen startet). I desember viste bildene fra A-5 og A-6 at det sorte sjiktet lå betydelig dypere enn i juni måned. Dette skyldes antageligvis pålagring av sediment fra deponeringen.



Figur 7 SPI bilde fra stasjonene A-5 og A-6 i henholdsvis juni (venstre) og desember (høyre) 2006, før prøvetildekking

Bildene fra stasjonene A-1, -3, og -7 fra desember 2006 er vist i figur 8. Stasjonene nærmest deponeringslekteren (A-1 og -4) viser i desember 2006 en tydelig fin sjiktning av sedimenter med forskjellige kornstørrelser. Dette laget var ca. 6 cm tykt og viser vekslingen mellom store partikler som sedimenterer raskt etter utpumping og finfraksjonen som sedimentere langsommere og legger seg over det grovere materialet. En lignende sjiktning ble observert på A-2, men ikke ved de andre stasjonene. Ved stasjon A-4 og A-3 ble det videre observert flere sjikt av løsere sorte masser på toppen av sedimentet. Sjiktningen vurderes som et direkte resultat av nedføringen der innslaget av grovkornet materiale minsker raskt med økende avstand fra utslippspunktet.



Figur 8 Utvalgte SPI bilder fra desember 2006, før prøvetildekking. Ved stasjonene A-1 og -4, som ligger nærmest nedføringen, vises en tydelig sjiktning av sedimentene som ikke ses på stasjonene lenger unna.

Bilder fra alle stasjonene er vist i vedlegg B i skala 1:2,5.

5.2 Etter tildekking

Hovedhensikten med undersøkelsen i mars 2007 var å vurdere mektighet og utbredelse av tildekkingslaget og bestemme endringer i sedimentenes styrke i prøvetildeckingsområdet sammenlignet med andre deler av deponeringsområdet.



Figur 9 Boxcore prøve tatt ved B-1 som viser et tydelig sandlag over de deponerte sedimentene

5.2.1 Skjærfasthet

På stasjon B-1, B-5 og B-6 ble det tatt opp boxcorer som ble undersøkt ved hjelp av et større vingebor som gir bedre avlesningsnøyaktighet. Resultatene for intakte prøver viser en skjærfasthet som varierer fra 0,4 til 2,3 kPa (Tabell 6). Dette er høyere enn det som ble målt før tildekkingen i desember 2006. Den høyeste verdien i B-1 var påvirket av tang eller fiber i massene og er ikke representativ for deponimassene.

Tabell 6 Skjærfasthet basert på stort vingebor

Forsøk	Stasjon	Skjærfasthet (kPa)	Kommentar
Vingebor	B-1	1,3-2,3	I deponimasse under sandlag, intakt, tang i massen?
	B-1	0,2-0,4	Omrørt
	B-5	0,5-0,6	I deponimasse under sandlag, intakt
	B-6	0,4-0,5	I deponimasse under sandlag. Ca. 2 cm slam over sandlaget

For å kunne ta SPI bilder etter utlegging av tildekkingslaget var det nødvendig å øke vekten til kameraet med 11 kg for stasjonene B-2 til B-8. Et topplag med sand vil føre til betydelig økning i bæreevne gjennom lastspredning i sandlaget. Det derfor ikke mulig å gjøre en enkel tilbakeregning av skjærfasthet i massene basert på penetrasjonsdybden av SPI kameraet etter tildekking med sand. Bare på de stedene sandlaget er fraværende eller tynt kan en direkte sammenligning gjøres. Dette gjelder først og fremst stasjonene B-3, B-11 og B-12 som iht. oppgitte posisjon ligger utenfor tildekkingsområdet. De laveste skjærfasthetsverdiene finnes på stasjon B-3 og B-12 (Tabell 7) med 0,6 til 0,9 kPa som stemmer relativt godt overens med vingebor resultatene fra deponimasser under sandlaget.

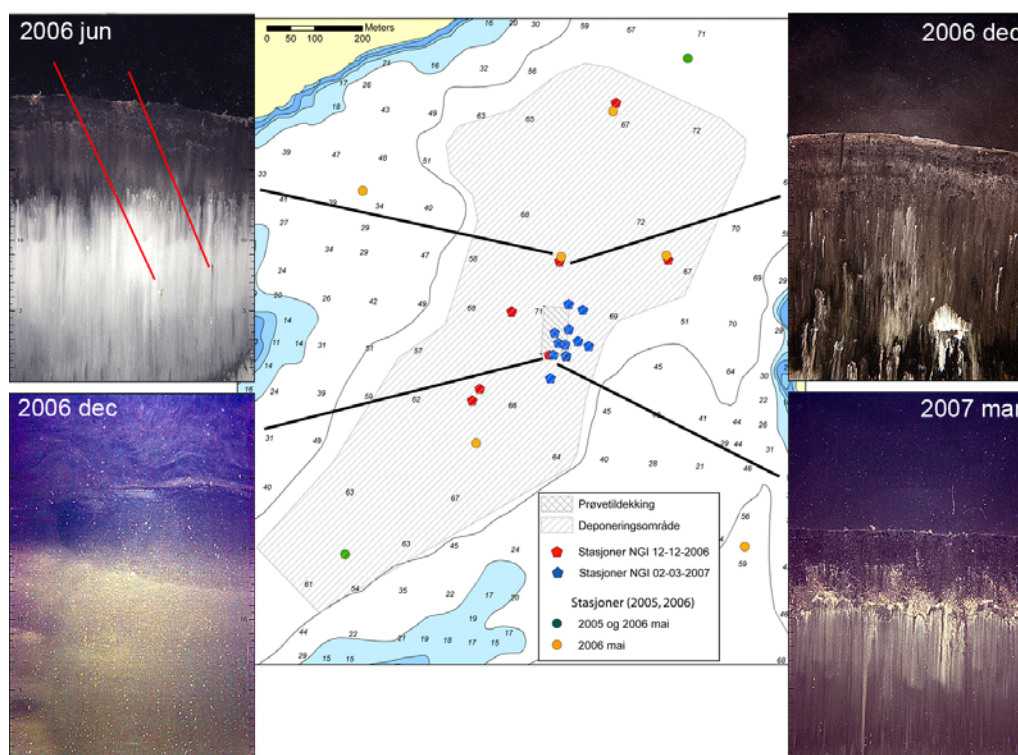
Tabell 7 Skjærfasthet beregnet på basis av SPI penetrasjon for stasjonene B3, B11 og B12 hvor det antas at tildekningslaget er svært tynt eller fraværende.

Stasjon	Penetra- sjon, z cm	z/B	Bæreevnefaktor, Nc	Beregnet skjærfasthet, S_u W' = 35kg (kPa)	Beregnet skjærfasthet, S_u W'=27kg (kPa)
B-3*	26,0	1,18	9,0	0,88	0,73
B-11	12,0	0,55	7,0	1,86	1,43
B-12	23,8	1,08	9,0	0,73	0,56

* kamera vekten ble økt med 11 kg

5.2.2 Visuell observasjon SPI

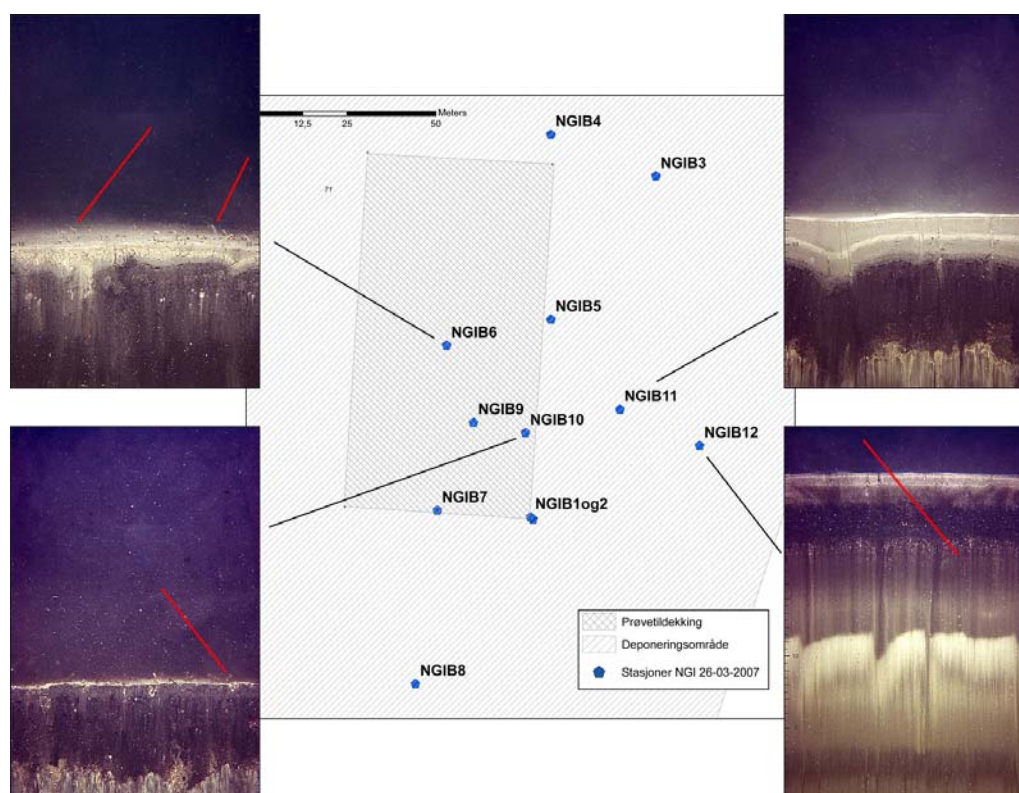
SPI stasjonenes plassering i forhold til deponerings- og prøvetildekkingsområdet er vist i figur 10. De to nederste SPI bildene i figuren viser en sammenligning av forholdene før og etter tildekking. Etter tildekkingen ble vekten til kameraet økt med 11 kg for å få tilstrekkelig nedtrenging av SPI kameraet i sedimentene. Dette tyder på en økt styrke i sedimentene etter prøvetildekkingen (bilde "2007 mar"). Bildet fra mars 2007 (nederst til høyre i figuren) viser et sjikt med sand som ikke ble observert før prøvetildekkingen (bildet til venstre). Det lyse sjiktet ble observert ned til ca. 5-8 cm dyp i sedimentet, hvilket antydningvis betyr at sanden blandet seg delvis inn i de deponerte sedimentene.



Figur 10 Kart som viser prøvetildeckingsområdet og nærliggende SPI stasjoner undersøkt i perioden 2005-2007. Utvalgte SPI bilder viser sedimentene i og utenfor prøvetildeckingsområdet, før og etter tildekking. Røde linjer markerer bløtbunnfauna.

Figur 11 viser SPI bilder i et transekt fra det sentrale prøvetildeckingsområdet og ut mot randsonen av deponeringsområdet. Styrken av sedimentene minsker betydelig ved stasjon B-12 (dypere penetrasjon) som ligger utenfor tildeckingsområdet. Penetrasjonsdyp er direkte korrelert med vekten på kameraet (tabell 1 og 3), hvilket gjør at visuell sammenlikning mellom penetrasjonsdyp er enklest mellom stasjoner med samme vekt på kameraet. Transektet (stasjon B-9 til B-12) viser forandringer i penetrasjonsdyp fra det sentrale prøvetildeckingsområdet til ca. 100 m utenfor dette området med samme vekt på kameraet. Ved stasjonene B-1, -2, -4, -5, -6, -7, -9, -10 og -11 sees et sjikt med sand delvis blandet ned i de tidligere deponerte muddermassene.

Bilder fra alle stasjonene er vist i vedlegg C i skala 1:2,5.



Figur 11 Utvalgte SPI bilder fra mars 2007. Røde linjer markerer bløtbunnfauna og røt av børstemark.

5.2.3 Visuelle inspeksjon med ROV

Mini ROV ble brukt til å ta bilder fra området rundt B-1 og lenger østover. Bildene viser en jevn overflate av relativt lyst og fint materiale. Propellen til ROV-en klarer å virvle opp massene, som imidlertid legger seg raskt når propellen slås av. Kloa til ROV graver seg lett gjennom massene som er finest i toppsjiktet, litt lenger ned er det tydelig sandige masser som kommer frem. Dette er antageligvis et resultat av utleggingmetodikken der de minste partikler (finsand/silt) bruker lengre tid å komme ned til sjøbunnen i deponiet.



Figur 12 ROV opptak som viser ktoa som graver i tildekkingsmasser

6 Vurdering

6.1 Dypvannsdeponiet før tildekking

Beregning av udrenert skjærfasthet basert på penetrasjon av NIVA's SPI kamera kan benyttes i områder uten tildekning av sand og viser skjærfasthet i deponimassene i området 0,5 til 1,0 kPa for stasjonene A1, A3-A4, B-3 og B-12. Dette resultatet ligger relativt nær målingene gjort med vingebor i toppen av deponimassene på stasjonen A-2, B-5 og B-6 og antas å representere nedre grense for skjærfasthet (s_u).

Vingebor og platebelastningsforøk på/nær overflaten av prøver tatt med box-corer ga lavere verdier (0,2 til 0,4 kPa). Dette skyldes at box-corer utstyret medfører en betydelig prøveforstyrrelse, spesielt på prøver som tømmes over i en kasse og har så lav fasthet at materialet siger utover.

Det kan også være at friksjon langs akslingen som fører kameraprismet ned i sjøbunnen er av betydning, noe som vil gi for høye s_u -verdier fra SPI forsøkene.

For å gjøre en sammenligning med predikterte skjærfastheter er det nødvendig med informasjon om mektighet av deponimasser over deponiområdet. En beregning med bare 0,5 m deponitykkelse etter 9 måneder indikerer at poreovertrykket ligger i størrelsesordenen 40 til 50% av trykket fra neddykket vekt, og at effektivspenningen øker fra 0 ved sjøbunn til ca. 1,1 kPa ved 0,5 m

dybde. Med normalisert skjærstyrke s_u/σ'_{vc} i området 0,5 til 0,8 tilsier dette at skjærfastheten av deponimassene burde ligge mellom 0,2 til 0,4 kPa 20 cm under sjøbunnen og øke til mellom 0,6 og 0,9 kPa på 0,5 m dybde. Med så små tykkelser av deponisedimenter og dybder under sjøbunnen blir det stor variasjon og usikkerhet i resultat, men de laveste verdiene målt med vingebor og lodd (platebelastning) og SPI resultatene fra de bløtste områdene ligger i dette området.

Med 1 m deponitykkelse viser sedimentasjonsberegningene at poreovertrykket blir betydelig høyere, mellom 80 og 90% og at effektivspenningen på 0,5 m dybde bare kommer opp mot 0,3 kPa. Dette medfører betydelig lavere udrenert skjærfasthet som antas å ligge rundt 0,1 kPa 20 cm under sjøbunnen og stige til 0,20 til 0,25 kPa ved 0,5 m.

Det må imidlertid tas hensyn til at prøvetaking ble av praktiske årsaker gjennomført like i nærheten til nedføringsriggen. Dermed var massene utsatt for en kortere konsolideringsperiode enn forutsett ved pilotforsøket.

6.2 Dypvannsdeponiet etter tildekking

Resultatene fra SPI forsøkene viser større penetrasjonsmotstand i områder med sandtildekning. Dette skyldes primært sandens evne til å fordele vekten av utstyret. Det er derfor ikke mulig å trekke konklusjoner om de underliggende massenes skjærfasthet ut fra SPI forsøkene på stasjoner med sandtildekning. Skjærfastheten i deponimassene under sandlaget målt med vingebor faller relativt godt sammen med de beregnede fasthetene basert på SPI forsøk på de bløtste områdene utenfor tildekningsområdet. Usikkerheten er relativt stor mht. styrke og bæreevne i de mektigste delen av deponiet. En grundigere kartlegging av deponimassenes fordeling over området og prøvetaking gjennom de mektigste deler er nødvendig for å trekke endelig konklusjon mht. bæreevne.

7 Konklusjon

NGI har gjennomført undersøkelse av massene i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven før og etter prøveutlegging av et tildekkingslag. Sand ble brukt som tildekkingsmateriale i et 5000 m² stort prøvelfelt. Undersøkelsene omfattet 3 ulike metoder: i) prøvetaking av masser og etterfølgende analyse, ii) in-situ testing ved hjelp av sedimentprofilfotografering, iii) visuell inspeksjon ved hjelp av undervannskamera (ROV). Resultatene har blitt brukt til å vurdere styrke i deponert materiale, utleggingsmetodikken, vertikal (innblandingsdybde) og horisontal fordeling av utlagt materiale.

Resultater fra undersøkelsene viser at:

- Det ble funnet deponerte masser i hele deponeringsområdet som ble brukt som testområde.
- Det er tydelige sjikt med forskjellig kornstørrelse i prøvene tatt i nærheten av nedføringsriggen.
- Utlegging av sand, 0-8 mm, som tildekkingslag fungerer bra ved hjelp av splitlekter. For å oppnå en jevn lagtykkelse anbefales utlegging av flere tynne (5-10 cm) lag i et kryssende mønster.
- Sedimentenes styrke øker etter tildekking. Sanden blandes delvis med overflatesedimentet ned til 5-8 cm dyp. Nærmere bestemmelse av bæreevne krever prøvetaking gjennom deponiet ned til opprinnelig sjøbunn.
- Den observerte spredningen av sand på bunn fra prøvetildekkingen er større enn det definerte prøvetildekkingsområdet

8 Referanser

HAV (2007)

Kontrollplan for mudring og deponering i dypvannsdeponi. Oslo Havn KF, datert 17/4-07 (rev. 02)

SFT (2007)

Kartlegging av sjøbunn med sedimentprofilbilde (SPI) i indre Oslofjord knyttet til mudring og tildekking i Oslo havn og dypvannsdeponering ved Malmøykalven – 2007. Rapport TA-2288/2007, Statensforurensningstilsyn, Oslo.



Rapport nr.: 20051785-34
Dato: 2008-04-15
Rev. dato:
Side: A1 / Rev.: 0

Vedlegg A - Resultater fra karakterisering av tildekkingsmaterialet

ANALYSE Steinmateriale

0/8 mm Natur Knust

Side 1 av 1

Bestiller
Storesand Sandtak AS
Tore Saltermark

Uttaksdato
2007-01-24
Ankomstdato
2007-01-24

Analyse start
2007-01-24
Analyse slutt
2007-01-24

Produkt
0/8mm NK
Leverandør
Storesand Sandtak AS
Entreprenør

Referansenr.
Uttakssted
Lager
Prøvetager

ID-nr.
145-003-07

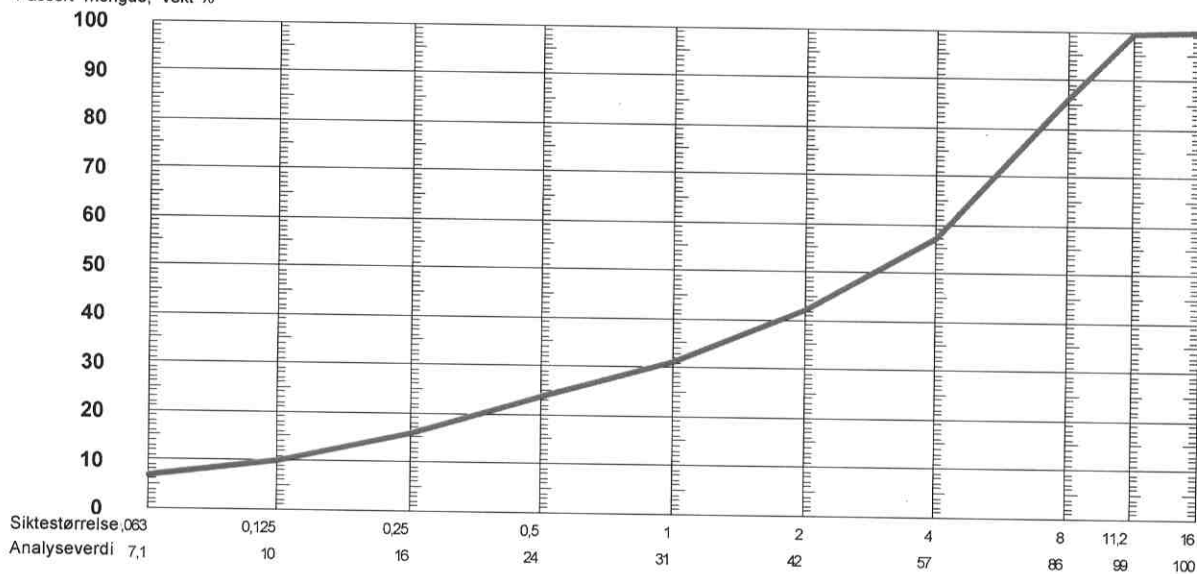
Objekt
50 % sjøsand

SORo
Merking
Sendt prøve til NGI, Oslo

KORNKURVE

Passert mengde, vekt-%

Grenselinje



Prøveresultat

Kommentar

Middel-
verdi

Fraksjo
(mm)

Notat

EN 933-1 Kornkurve
EN933-1 Vasking og sikting

Sted og dato
Vinterbro 25.01.07

Tore Saltermark, Laborant

Utskriften er med en elektronisk signatur



Prosjekt **Oslo Havn**
 Bestnr **20051785**
 Registrert **2007-01-30**
 Utstedt **2007-02-07**

NGI
Arne Pettersen
Miljøgeologi
Box 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo
Norge

Analyse av faststoff

Deres prøvenavn	Natur knust 0-8 Sand			
Labnummer	N00003521			
Analyse	Resultater	Enhet	Metode	Utført
Tørrstoff (E)	97.0	%	1	1
As	2.8	mg/kg TS	1	1
Cd	<0.50	mg/kg TS	1	1
Cr	18	mg/kg TS	1	1
Cu	16	mg/kg TS	1	1
Hg	<0.050	mg/kg TS	1	1
Ni	16	mg/kg TS	1	1
Pb	9.2	mg/kg TS	1	1
Zn	63	mg/kg TS	1	1
Cyanid-fri	<0.10	mg/kg TS	1	1
PCB 28	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 52	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 101	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 118	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 138	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 153	<0.0030	mg/kg TS	1	1
PCB 180	<0.0030	mg/kg TS	1	1
Sum PCB-7	n.d.	mg/kg TS	1	1
Pentaklorfenol	<0.0050	mg/kg TS	1	1
g-HCH (Lindan)	<0.0010	mg/kg TS	1	1
o,p'-DDT	<0.010	mg/kg TS	1	1
p,p'-DDT	<0.010	mg/kg TS	1	1
o,p'-DDD	<0.010	mg/kg TS	1	1
p,p'-DDD	<0.010	mg/kg TS	1	1
o,p'-DDE	<0.010	mg/kg TS	1	1
p,p'-DDE	<0.010	mg/kg TS	1	1
Monoklorbensen	<0.010	mg/kg TS	1	1
1,2-Diklorbensen	<0.020	mg/kg TS	1	1
1,4-Diklorbensen	<0.020	mg/kg TS	1	1
1,2,4-Triklorbensen	<0.030	mg/kg TS	1	1
1,2,3,5+1,2,4,5-Tetraklorbense	<0.020	mg/kg TS	1	1
Pentaklorbensen	<0.010	mg/kg TS	1	1
Heksaklorbensen	<0.010	mg/kg TS	1	1
Diklormetan	<0.060	mg/kg TS	1	1
Triklorometan (kloroform)	<0.030	mg/kg TS	1	1
Trikloreten	<0.010	mg/kg TS	1	1
Tetrakloreten	<0.020	mg/kg TS	1	1



Deres prøvenavn	Natur knust 0-8 Sand			
Labnummer	N00003521			
Analyse	Resultater	Enhet	Metode	Utført
1,2-Dikloretan	<0.0030	mg/kg TS	1	1
1,1,1-Trikloretan	<0.010	mg/kg TS	1	1
1,2-Dibrometan	<0.0040	mg/kg TS	1	1
Naftalen	<0.080	mg/kg TS	2	1
Acenaftilen	<0.080	mg/kg TS	2	1
Acenaften	<0.080	mg/kg TS	2	1
Fluoren	<0.080	mg/kg TS	2	1
Fenantren	<0.080	mg/kg TS	2	1
Antracen	<0.080	mg/kg TS	2	1
Fluoranten	<0.080	mg/kg TS	2	1
Pyren	<0.080	mg/kg TS	2	1
Benso(a)antracen^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Krysen^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Benso(b)fluoranten^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Benso(k)fluoranten^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Benso(a)pyren^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Dibenso(ah)antracen^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Benso(ghi)perylene	<0.080	mg/kg TS	2	1
Indeno(123cd)pyren^	<0.080	mg/kg TS	2	1
Sum PAH-16	<0.70	mg/kg TS	2	1
Bensen	<0.0050	mg/kg TS	2	1
Toluen	<0.10	mg/kg TS	2	1
Etylbensen	<0.020	mg/kg TS	2	1
Xylener	<0.050	mg/kg TS	2	1
Sum BTEX	<0.20	mg/kg TS	2	1
Fraksjon >C5-C8	<10	mg/kg TS	2	1
Fraksjon >C8-C10	<10	mg/kg TS	2	1
Fraksjon >C10-C12	<2.0	mg/kg TS	2	1
Fraksjon >C12-C16	<3.0	mg/kg TS	2	1
Fraksjon >C16-C35	<10	mg/kg TS	2	1



* etter parameternavn indikerer uakkreditert analyse.

Metodespesifikasjon		
1	Bestemmelse av Normpakke, normverdier for følsom arealbruk, del 1 (2).	
Metode:	Metaller:	I-11885, I-17294
	Hg:	C-465735
	Cyanid-fri:	Intern metode (Q21-540-094/02(2))
	PCB-7:	EPA 8082 og EPA 3550
	Pentaklorfenol:	DIN ISO 14154
	Klorpesticider:	EPA 8081
	Klorbenser:	EPA 624
	Klorerte løsemidler:	EPA 624
	1,2-dibrometan:	Intern metode (SOP-320-004)
Deteksjon og kvantifisering:	Metaller:	ICP-AES, ICP-MS
	Hg:	AAS-AMA
	PCB-7:	GC-ECD eller GC-MS
	Pentaklorfenol:	GC-ECD eller GC-MS
	Klorpesticider:	GC-ECD eller GC-MS
	Klorbensener:	GC-MS
	Klorerte løsemidler:	GC-MS
	1,2-dibrometan:	GC (MS,FID,PID,ECD)
Noter:	Analyse av 1,2-dibrometan er ikke akkreditert.	
2	Bestemmelse av Normpakke, normverdier for følsom arealbruk, del 2 (2).	
Metode:	PAH:	SPIMFAB
	BTEX:	EPA 624
	C5-C35:	SPIMFAB eller EN 14039
Deteksjon og kvantifisering:	PAH:	GC-MS
	BTEX:	GC-MS
	C5-C35:	GC-MS

Underleverandør ¹	
1	Ansvarlig laboratorium: Ecochem a.s., Dolejskova 3, 182 00 Praha 8, Tsjekkia Akkreditering: Czech Accreditation Institute, registreringsnr. 500/2006

Måleusikkerheten angis som en utvidet usikkerhet (etter definisjonen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beregnet med dekningsfaktor på 2 hvilket gir en konfidensnivå på omtrent 95%.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet.

Angående laboratoriets ansvar i forbindelse med oppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webside www.analytica-norge.no

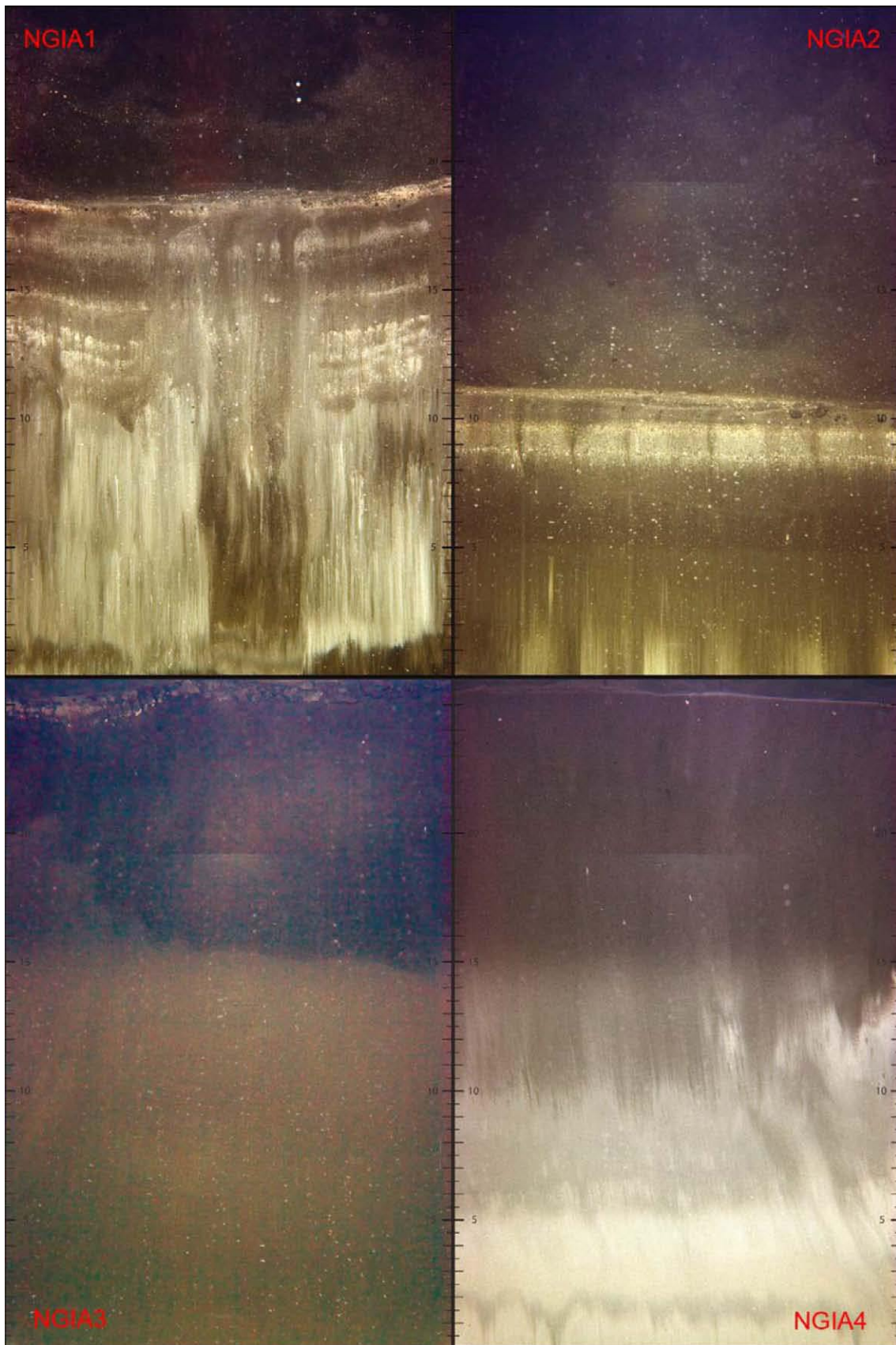
Laboratorier akkrediteres av Styrelsen for akkreditering og teknisk kontroll (SWEDAC) etter svensk lov. Den akkrediterte virksomheten ved laboratoriene oppfyller kravene i SS-EN ISO/IEC 17 025 (2000).

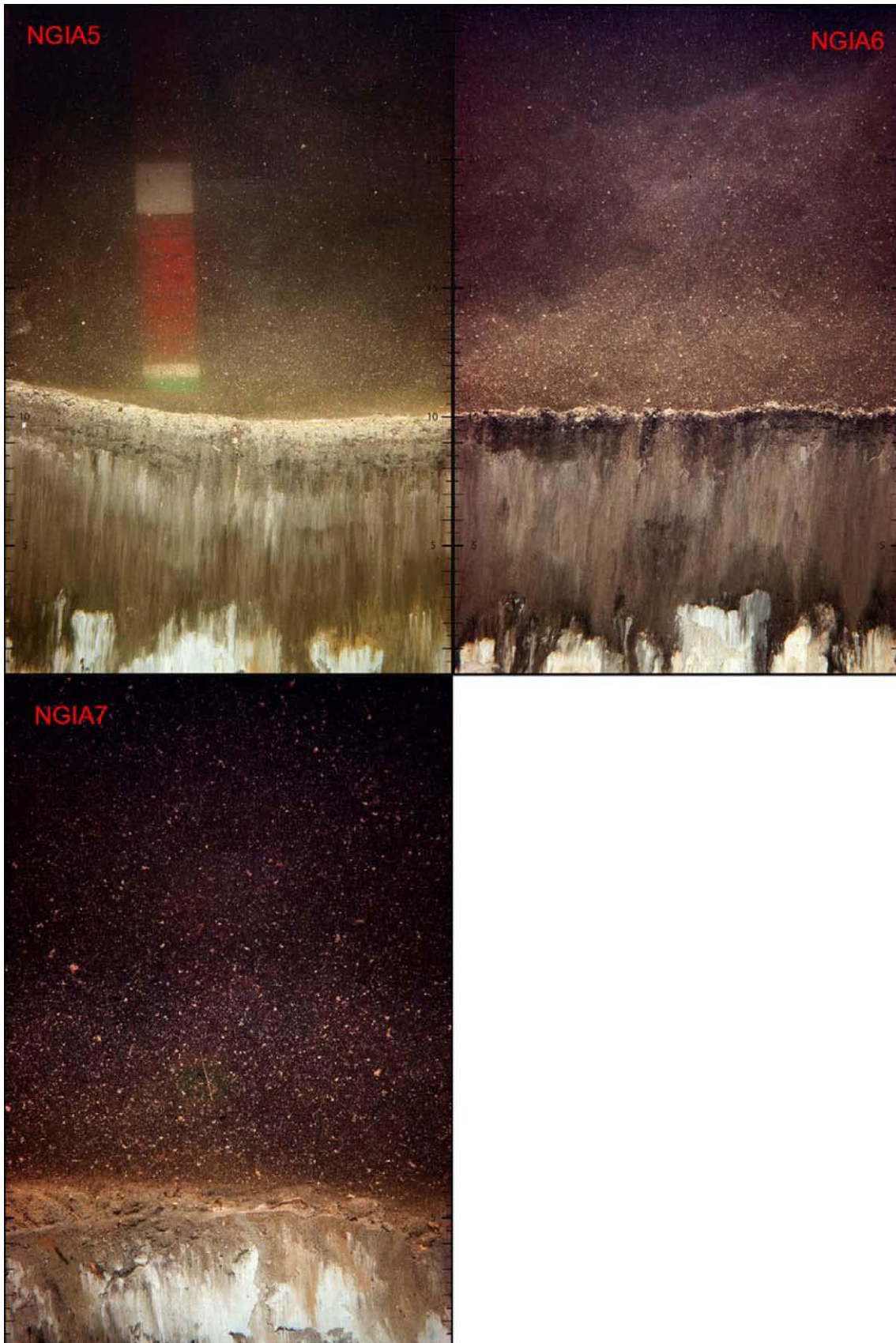
¹ Utførende teknisk enhet (innen Analytica) eller laboratorium (underleverandør).



Rapport nr.: 20051785-34
Dato: 2008-04-15
Rev. dato:
Side: B1 / Rev.: 0

Vedlegg B - SPI bilder fra deponiet før prøvetildekking

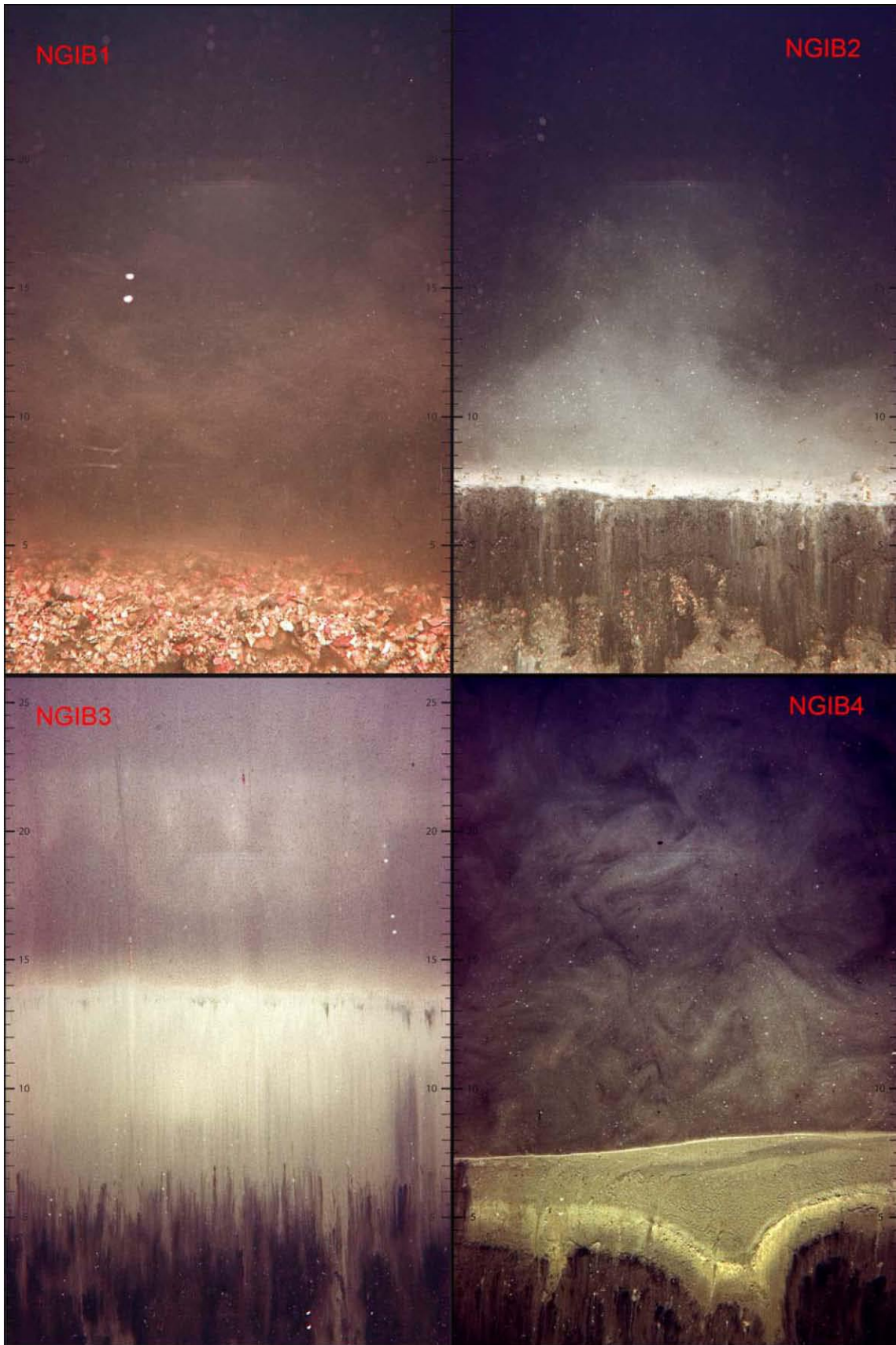


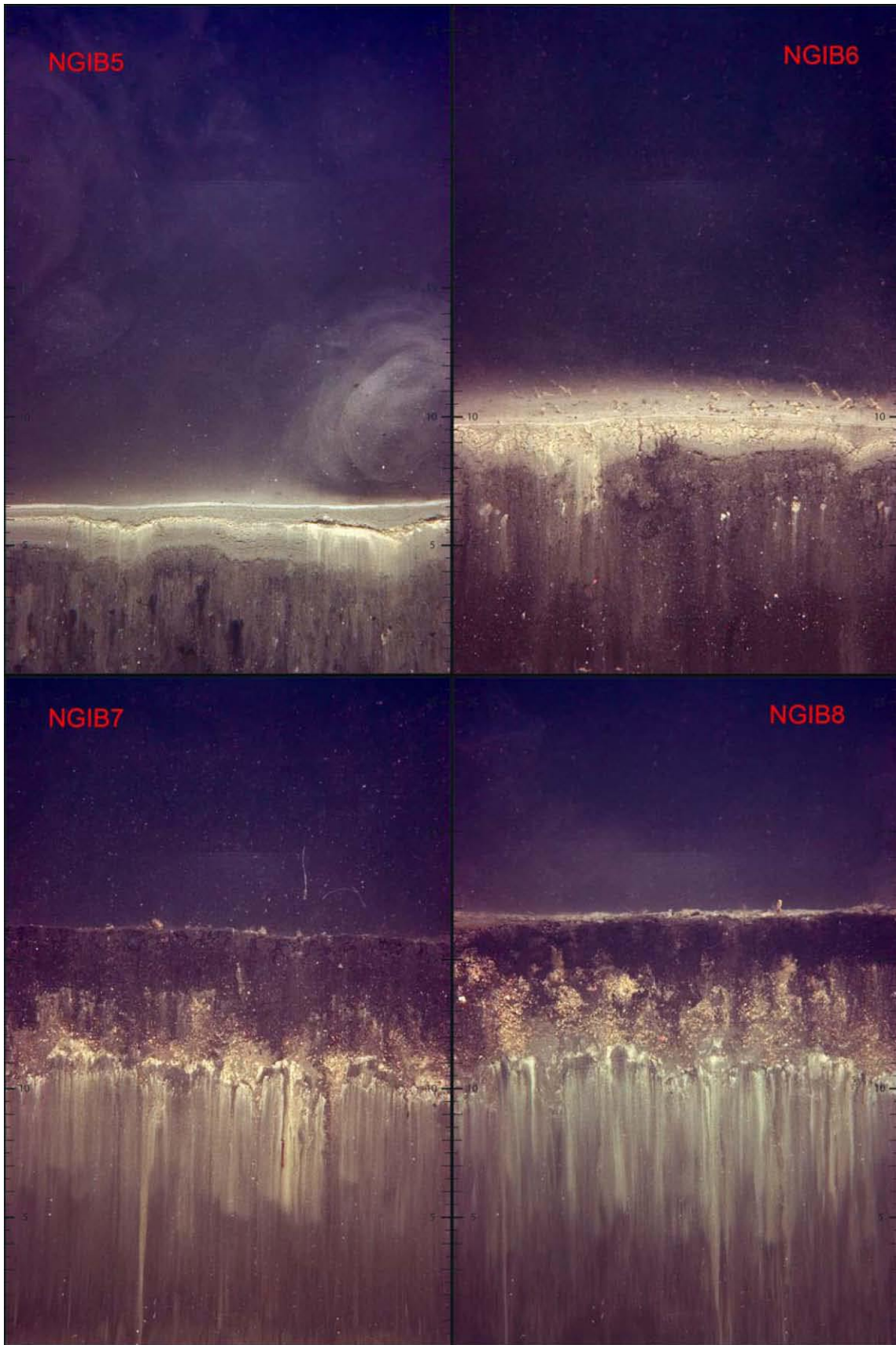


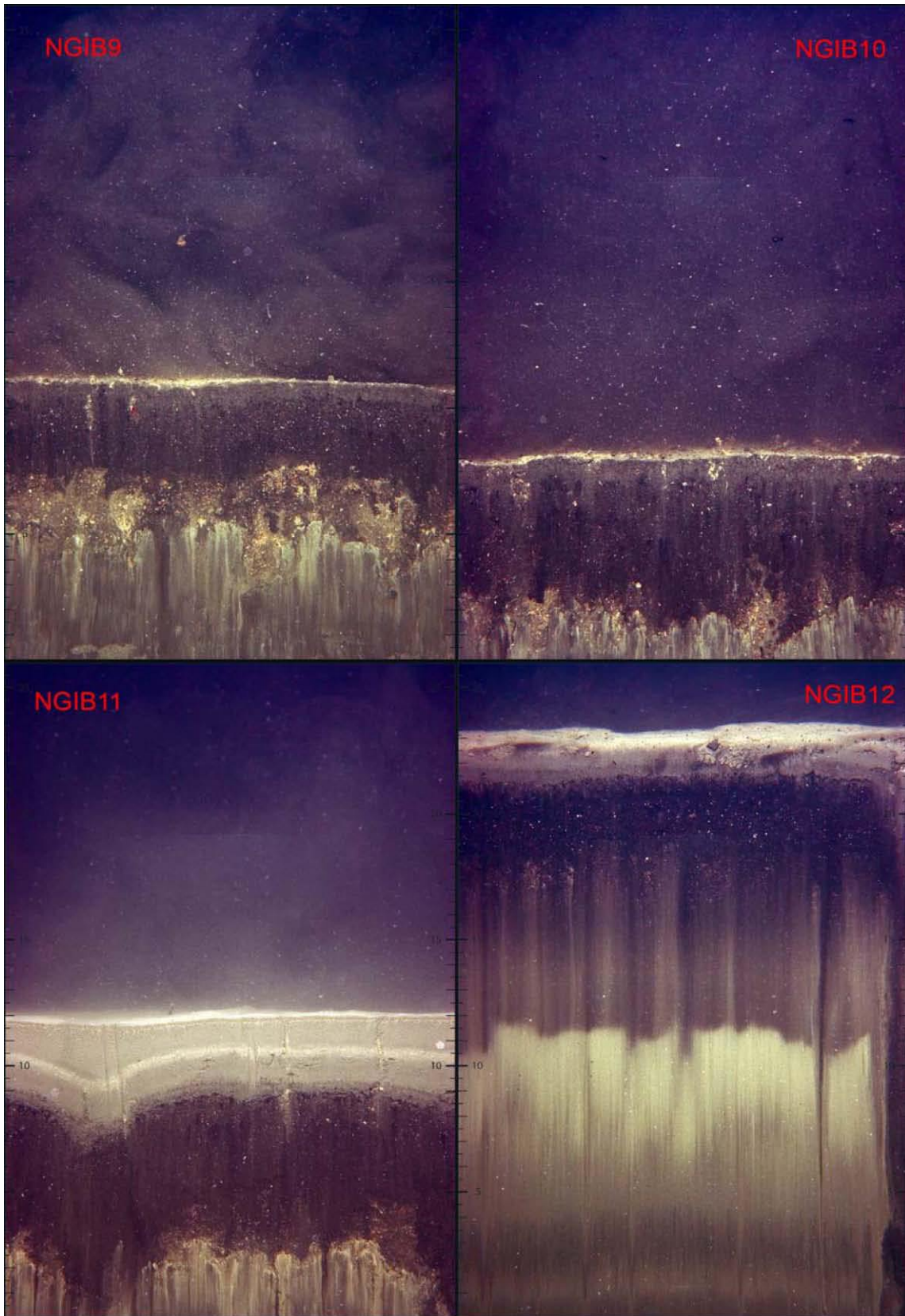


Rapport nr.: 20051785-34
Dato: 2008-04-15
Rev. dato:
Side: C1 / Rev.: 0

Vedlegg C - SPI bilder fra deponiet etter prøvetildekking










Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Overvåking av forurensning ved mudring og deponering Prøvetildekking av dypvannsdeponiet			Dokument nr/Document No. 20051785-34		
Dokumenttype/Type of document		Distribusjon/Distribution		Dato/Date	
<input checked="" type="checkbox"/> Rapport/Report <input type="checkbox"/> Teknisk notat/Technical Note		<input type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None		15. april 2008 Rev.nr./Rev.No. 0	
Oppdragsgiver/Client Oslo Havn KF					
Emneord/Keywords environmental geotechnology, harbour, sea bed, sea water, sedimentation					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Oslo			Havområde/Offshore area		
Kommune/Municipality Oslo			Feltnavn/Field name		
Sted/Location Malmøykalven			Sted/Location		
Kartblad/Map 1914 IV			Felt, blokknr./Field, Block No.		
UTM-koordinater/UTM-coordinates 32VNM375970					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:	Sidemans- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Original dokument	GBr 	AP 		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 15/4-08		Sign. Prosjektleder/Project Manager Audun Hauge 	

NGI er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

NGI arbeider i følgende markeder: olje og gass, bygg og anlegg, samferdsel, naturskade og miljøteknologi.

NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002, og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI is a leading international centre for research and consulting in the geosciences.

NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the environment, installations and structures.

NGI works within the oil and gas, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA. NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002, and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion,
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd. Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr. 5096 05 01281 / IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

