



TEKNISK RAPPORT

STATENS FORURENSNINGSTILSYN

FASE 2
VURDERING AV TILDEKKING VED MALMØYKALVEN

RAPPORT NR. 2009-0817

REVISJON NR. 02

DET NORSKE VERITAS



TEKNISK RAPPORT

DET NORSKE VERITAS AS
DNV Business Assurance

Veritasveien 1
1322 Hovik
Norway
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 99 11
http://www.dnv.com
Org. No: NO945 748 931 MVA

Dato for første utgivelse: 2009-06-11	Prosjekt nr.: 47127397
Godkjent av: Erling Svendby Direktør, Offentlig virksomhet <i>Erling Svendby</i>	Organisasjonsenhet: DNV Business Assurance
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn	Oppdragsgiver ref.: Erik Høygaard

Sammendrag:

SFT har bedt DNV om å gjennomføre en uavhengig vurdering av utleggingen av tildekkingsmasser på dypvannsdeponiet ved Malmøykalven som utføres av Oslo Havn og hvor Secora er utførende entreprenør.

Prosjektet er delt i 2 faser;

- Fase 1 – Befaring ved tildekking
- Fase 2 – Erfaringsnotat vedrørende bruk av splittlekter til tildekking

Denne rapporten omhandler fase 2.

Rapport nr.: 2009-0817	Emnegruppe: M0	
Rapporttittel: Vurdering av tildekking ved Malmøykalven		
Utført av: Jens Laugesen og Bjørn Nygård (Yarconsult AS) <i>Jens Laugesen</i>		
Verifisert av: Sam Arne Nøland <i>Sam Arne Nøland</i>		
Dato for denne revisjon: 2009-06-15	Rev. nr.: 02	Antall sider: 27

Indekseringstermer

Splittlekter, tildekking, sedimenter

- Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet, dvs. fri distribusjon innen DNV etter 3 år
- Strengt konfidensiell
- Fri distribusjon



<i>Innholdsfortegnelse</i>	<i>Side</i>
1 FORORD	1
2 INNLEDNING.....	2
3 TILDEKKING AV FORURENSET SJØBUNN.....	2
3.1 Utlegging med splittlekter	3
3.2 Utlegging med fallbunnslekter	3
3.2.1 Tildekking med ren leire med fallbunnslekter i Oslo	3
3.3 Erfaringer internasjonalt	6
3.3.1 Erfaringer fra prosjektet i Massachusetts Bay	6
3.3.2 Erfaringer fra prosjektet ved Palos Verdes	7
4 STYRKER OG SVAKHETER VED DEN VALGTE TEKNOLOGIEN OG FREMGANGSMÅTEN.....	11
5 FAKTORER SOM KAN PÅVIRKE NØYAKTIGHETEN VED UTLEGGINGEN AV DEKKMASSER VED MALMØYKALVEN	12
6 ANDRE SPØRSMÅL.....	16
6.1 Vil de utlagte massene kunne legge seg i hauger på sjøbunnen?	16
6.2 Hvordan vil frosne dekkmasser med isklumper og frosne sandklumper påvirke utleggingen?	16
7 KONKLUSJONER – FASE 2	17
8 VIDERE ARBEID	17
9 REFERANSER	18

Vedlegg 1: Notat fra Dr. Mike Palermo med kommentarer til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven og med internasjonale erfaringer fra tildekking på dypt vann



1 FORORD

Denne rapporten er utarbeidet av Jens Laugesen, DNV med bistand fra Bjørn Nygård (Yarconsult). Videre har Mike Palermo (Mike Palermo Consulting) som er USAs ledende ekspert på tildekking av forurensede sedimenter bistått. Palermo har utarbeidet et notat om amerikanske erfaringer med tildekking på dypt vann og har også kommentert tildekkingen ved Malmøykalven. Deler av Palermos notat er oversatt og tatt med i rapporten og hele notatet til Palermo er vedlagt i Vedlegg 1.

2 INNLEDNING

SFT har bedt DNV om å gjennomføre en uavhengig vurdering av utleggingen av tildekkingsmasser på dypvannsdeponiet ved Malmøykalven som utføres av Oslo Havn og hvor Secora er utførende entreprenør.

Prosjektet er delt i 2 faser;

- Fase 1 – Befaring ved tildekking
- Fase 2 – Erfaringsnotat vedrørende bruk av splittlekter til tildekking

Fase 1 (DNV-rapport 2009-0762) ble oversendt SFT 18.05. 2009.

Denne rapporten omhandler Fase 2 som er en erfaringsrapport om tildekking med splittlekter med fokus på de utfordringer som finnes i prosjektet ved Malmøykalven. Rapporten omhandler:

- Internasjonale erfaringer
- Styrke og svakheter ved den valgte teknologien og fremgangsmåten
- Hvor nøyaktig kan tildekkingen gjøres?
- Vesentlige faktorer som kan gi dårlig nøyaktighet/feil ved utleggingen ved Malmøykalven (posisjonering, inhomogene masser, strøm, utleggingshastighet etc.)

DNV har vurdert utleggingsmetoden, massene som brukes og hvordan utleggingen utføres i praksis ved Malmøykalven. Det er gjort en overordnet fysisk/hydromekanisk vurdering av om de utlagte massene vil kunne legge seg i hauger på sjøbunnen. Hvordan frosne dekkmasser med isklumper og frosne sandklumper påvirker utleggingen er også vurdert.

DNVs vurderinger av arbeidene som utføres med utleggingen av dekkmassene er basert på de observasjoner som ble gjort ved befaringen av to utlegginger i felt den 8. mai 2009.

3 TILDEKKING AV FORURENSET SJØBUNN

Tildekking av forurenset sjøbunn utføres normalt ved utlegging fra vannoverflaten fra lekter eller skip. I Norge har vi erfaring med utlegging med splittlekter og med fallbunnslekter. Internasjonalt brukes også disse metoder eller skip med sugeenhet og i noen tilfeller med splittåpning (se kapittel 3.3.2).



Figur 3-1. Splittlekter (til venstre) og fallbunnslekter (til høyre). Fallbunnslekteren er den som ble brukt ved tildekkingen i Kristiansand havn.



3.1 Utlegging med splittlekter

Utlegging av dekklag med splittlekter gjøres ved at lekteren lastes med egnede løsmasser og transporteres ved utleggingsstedet. Utleggingen foregår i et rutenett som er satt opp på forhånd. En rute skal normalt tilsvare det areal som et lekterlass skal dekke for å oppnå ønsket tykkelse. I de fleste tilfeller bygges dekklaget opp lagvis ved at det legges ut masser i flere omganger med overlapp og i forskjellige retninger.

Splittlekteren forflyttes til posisjonen for utlegging. Posisjonering skjer ved bruk av DGPS. Utleggingen skjer ved at splittlekteren taues/går for egen maskin sideveis samtidig som lekteren åpnes forsiktig. Åpningen i splittlekteren åpnes gradvis etter hvert som massene går ut. Nødvendig åpning er avhengig av kornstørrelsen, hastigheten sideveis og fuktighet i massene (kohesjon). Det etterstrebes at massene går ut jevnt og derved fordeles med jevn tykkelse på sjøbunnen.

Kontroll av utleggingen kan utføres ved utplassering av målestaver på sjøbunnen og ved ekkoloddmålinger.

Det er liten erfaring med bruk av splittlekter til tildekking i Norge. Skanska har benyttet splittlekter til mindre tildekkinger utenfor kaier. Lekteren ble da fylt med sand og vinsjet frem og tilbake mellom kaien og mudderapparatet samtidig som lekteren ble åpnet forsiktig.

I Oslo ble det dekket til med leire ved bruk av splittlekter. Her ble lekteren dyttet tverrlekters samtidig som den ble åpnet forsiktig. Leiren gikk relativt jevnt ut av lekteren og ble fordelt over større områder.

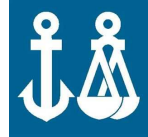
3.2 Utlegging med fallbunnslekter

Utlegging med fallbunnslekter utføres etter samme prinsipper som med splittlekter. Forskjellen er at fallbunnslekteren er inndelt i flere rom (typisk fire rom) med åpning på tvers av sleperetningen. Lukene til rommene åpnes parallelt og lekteren tømmes i sleperetningen. Dette medfører at man kan oppnå en høyere og mer kontrollert hastighet under utleggingen enn med splittlekter. Utleggingen fra flere parallelle åpninger i sleperetningen gir en overlapping av de utlagte massene.

I Norge er det bl.a. tildekket med fallbunnslekter i Kristiansand havn (sand) og i Oslo (sand og leire). Nedenfor er det gitt en redegjørelse fra tildekking med ren leire i Oslo.

3.2.1 Tildekking med ren leire med fallbunnslekter i Oslo

Det ble utført tildekking med ren leire av forurensede sedimenter med fallbunnslekter i Oslo i 2008 av Agder Marine som underentreprenør til Arbeidsfellesskapet Bjørvikatunnelen/Skanska.



Planlagt utførelse



(Fra animasjon laget av Agder Marine)



(Fra animasjon laget av Agder Marine)



(Fra animasjon laget av Agder Marine)



Foto: Bjørn Nygård, Yarconsult

Fallbunnslekteren for tildekking med ren leire hadde en kapasitet på 100 m³. Den var utstyrt med lemmer i bunnen som ble felt ned ved tømning av masse. Lekteren hadde 4 lukeåpninger i bunnen med to lemmer i hver åpning.

I senterlinjen over hver lukeåpning ble det laget en trommel med ”kniver” som skulle kutte opp leiren i mindre deler. Teorien var at oppkutting av leiren sammen med kontrollert åpning av lemmene i hver luke, skulle gi en jevn utlegging av oppdelt leire.

Lekteren skulle slepes i lengderetningen og leiren ”drysses” ut fra 4 tverrlekters åpninger.

Distansen utleggingen skulle utføres over var en funksjon av mengde i lekteren (ca 100 m³) og teoretisk tykkelse på ønsket tildekkingslag.

Observasjoner under utlegging



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4

Til utleggingen benyttet Agder Marine taubåten Kongshavn (foto 1) og to 100 m³ fallbunnslektere med tromler påmontert kniver.

Utleggingsområdet ble delt opp i ruter med angivelse av utstrekning som taubåtføreren skulle fordele massene over. En person var ombord på lekteren og styrte start/stopp av tromler samt lukeåpningen etter instruksjon fra taubåtfører.

Fastheten på massene viste seg å være avgjørende for hvordan leiren gikk ut av lekteren.

Utlegging av relativt bløte masser (foto 2) gikk lett ut og utlegging skjedde forholdsvis jevnt over området.

Utlegging av fastere masser (foto 3) startet sakte i begynnelsen av åpningssekvensen hvoretter massene gikk raskt ut når lukeåpningen var blitt tilstrekkelig stor.

Utlegging av faste masser (foto 4) var til dels vanskelig da massene periodevis var vanskelig å få ut av lekteren.

En rekke observasjoner av tromlenes funksjon viste følgende:

- Tromlene i hver ende begynte å rotere først.
- Tromlene i midten begynte først å rotere når hoveddelen av massene var ute av lekteren.
- Knivene kuttet/delte leiren i svært begrenset grad.
- Tromlene hadde en effekt på oppdelingen ved å være plassert i senterlinjen over åpningene.
- Ved utlegging av fast leire var de siste leirklumpene ut av lekteren vurdert til å være 50-100 cm.

Alle foto: Bjørn Nygård, Yarconsult



Vurdering av tildekkingen med fallbunnslekter i Oslo

Løsningen med fallbunnslekter og tromler påmontert kniver for utlegging av leiren, ga et tilfredsstillende sluttresultat. Basert på observasjoner under arbeidet var følgende elementer av betydning for resultatet (rekkefølge i henhold til betydning):

- Åpningenes lengde i fallbunnslekteren var på tvers av sleperetningen slik at leiren gikk ut i 4 striper under tømmezyklusen, noe som ga det viktigste bidraget til en vellykket tildekking.
- Tromlene montert over hver lukeåpning bidro til at leiren ble delt gjennom tømmezyklusen. Denne effekten var til stede selv om tromlene sto stille. Rotasjonen førte til at det ikke bygget seg opp masse på tromlene.
- Knivene påmontert tromlene hadde minimal betydning for resultatet, da tromlene først begynte å rotere når hovedmengden av leiren var ute av lekteren. Lengden på knivene var kort og graden av oppdeling liten.

3.3 Erfaringer internasjonalt

Spiltteklere brukes i Mellom-Europa til landgjenvinning og anleggsarbeider i sjø.

I USA har man sett på dypvannsdeponering av forurensede sedimenter med påfølgende tildekking siden midten på 1980-tallet. Til utførelse er det så langt kommet to prosjekter, begge disse prosjektene er demonstrasjonsprosjekter for å vise hvordan teknologien fungerer:

- Massachusetts Bay nær Boston
- Palos Verdes nær Los Angeles

Beskrivelsen i de to følgende delkapitlene er en oversettelse av deler av Mike Palermos notat som er vedlagt i Vedlegg 1.

3.3.1 Erfaringer fra prosjektet i Massachusetts Bay

US Army Corps of Engineers, New England District (NAE), utførte et prosjekt hvor et dypvannsdeponi ble tildekket i Massachusetts Bay fra høsten 1998 til og med våren 2000. Hensikten med demonstrasjonsprosjektet var å vurdere effektiviteten av tildekking av muddermasser på dypt vann. Stedet hvor tildekkingen ble utført ligger 22 km sørøst for Gales Point i Manchester, Massachusetts. Lokaliteten er sirkelformet med en diameter på 3,7 km og vanndybden varierer fra 82 til 92 m.

I demonstrasjonsprosjektet ble det benyttet uforurensede sedimenter til å representere mulig forurensede sedimenter som ikke ville vært tillatt plassert på sjøbunnen uten tildekking. Totalt ble det plassert et estimert volum på 56 750 m³ sedimenter (sandig silt) nær den sørlige grensen av lokaliteten. Et dekklag bestående av ca. 154 000 m³ av Boston blåleire (Boston Blue Clay) og glasialmorene hentet fra Boston havn ble plassert over de deponerte massene.

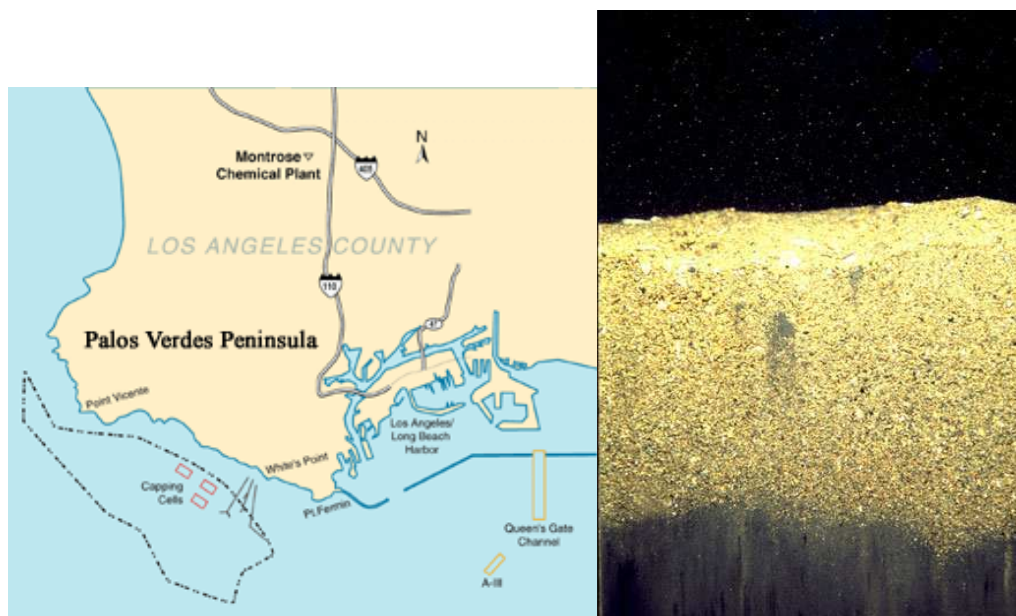
En serie av inspeksjoner ble utført etterpå for å studere utviklingen av den tildekkede sedimenthaugen. Her inngikk undersøkelser med presisjons-batymetri, sidesøkende sonar,

sedimentprofil-fotografering og flere typer av sedimentprøvetaking. Den omfattende datamengden dokumenterte at de utplasserte massene på sjøbunnen bestod av to lag (sedimenter med et dekklag av blåleire/glasialmorene) med et klart skille, og at tildekking derfor var egnet på lokaliteten.

3.3.2 Erfaringer fra prosjektet ved Palos Verdes

Omtrent 15 km² av Palos Verdes sokkelen utenfor kysten til Los Angeles i California er forurenset med DDT og PCB. Lokaliteten er et Superfund prosjekt som administreres av U.S. Environmental Protection Agency. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) utførte i 1999 en analyse av muligheten for *in situ* tildekking for lokaliteten som inkluderte design, modellering, plassering og krav til overvåking.

I 2001 utførte USACE en stor pilotstudie på lokaliteten for å vurdere tildekkings- og overvåkingsmetoder. I pilotstudien inngikk plassering av ca. 103 000 m³ dekkmateriale innen tre tildekkingsområder, hvert på 0,18 km² og vanddyp fra 40 til 70 meter.



Figur 3-2. De tre tildekkingsområdene (røde firkanten) ved Palos Verdes (til venstre). Forurensete sedimenter ved Palos Verdes tildekket med ca. 6 cm sand (til høyre).

Lokaliteten har en sjøbunn som heller 1 til 2 grader, med økende helning på større vanddyp. De forurensete sedimentene på stedet består av siltig sand. Mudrete sedimenter fra farleder (gjennomsnittlig diameter ca. 0,1 mm) og masser fra sandtak på sjøbunnen (gjennomsnittlig diameter i overkant av 0,2 mm) ble brukt som dekkmateriale. Modelleringen utført i forkant av valget av dekkmateriale indikerte at de mer finkornige mudrete sedimentene ga større spredning til areal utenfor lokaliteten og potensielt større spredning mot dypet sammenlignet med grovere sand (sandmassene tatt fra sjøbunnen). Derfor ble det valgt å spre de mer finkornige mudrete sedimentene på tradisjonell måte og den grovere sanden ble plassert med en spredningsmetode.

En selvgående splittleker (skip) med sugeenhet ble valgt for pilottildekkingen ved Palos Verdes. Den ble valgt fordi den var tilgjengelig, ga en bedre kontroll enn en normal splittleker av utleggingen i åpen sjø og var mer fleksibel ved at den hadde mulighet for å pumpe ut sedimenter. Slike selvgående skip med hydraulisk sugeenhet fjerner masser fra sjøbunnen hvilket resulterer i at hardpakkede masser brytes ned og tilsats av vann når materialet lagres i skipet for transport. Masser fra slike selvgående skip med sugeenhet spres derfor lettere i vannsøylen, settler til sjøbunnen med mindre energi og gir mindre potensiale for resuspensjon av de forurensede sedimentene.

Plassering av dekkmassene ble utført med det selvgående skipet med sugeenhet og med splittåpning; (1) ved å slippe massene på de utvalgte plasseringspunktene på konvensjonell måte (åpne splitten i skipet og slippe alt på en gang fra vannoverflaten), (2) spre massene ved å delvis åpne splitten under plasseringen og holde svak fart fremover og (3) pumpe ut massene gjennom mudringsarmene (dragarms) på skipet.



Figur 3-3. Selvgående skip med sugeenhet og mudringsarmer (dragarms)

Overvåkingen var omfattende og inkluderte sedimentprofilkamera, sedimentkjerner, vannprøver, målinger i vannsøylen, strømmålinger, optiske backscatter-målere, sidesøkende sonar og akustiske profiler, sedimentprøver tatt på skipet, posisjonsdata og lastekurver for massene i skipet. Modellering ble utført for å forutsi oppførselen til massene i forkant av plasseringen og design for hele operasjonen inkludert overvåking. Den matematiske modellen MDFATE ble brukt for å forutsi hvor raskt dekklaget ville bygge seg opp avhengig av sedimenttype, varierende vanddyb og forskjellige typer av plassering. Modellene STFATE og SURGE utviklet av USACE ble brukt for å forutsi spredningen av dekkmassene under tildekkingen og vurdere innflytelsen av hastighetene som dekkmassene treffer bunnen med. Disse prediksjonene ble opprinnelig basert på et bredt spekter av antatte egenskaper for dekkmassene. Når dekkmassene var valgt, ble det utført mer detaljerte prediksjoner ved bruk av spesifikke data for lokaliteten og dekkmassene med modellene MDFATE, STFATE og CORMIX. Resultet ble brukt for å justere planen for utførelsen og overvåkingen av pilotprosjektet.

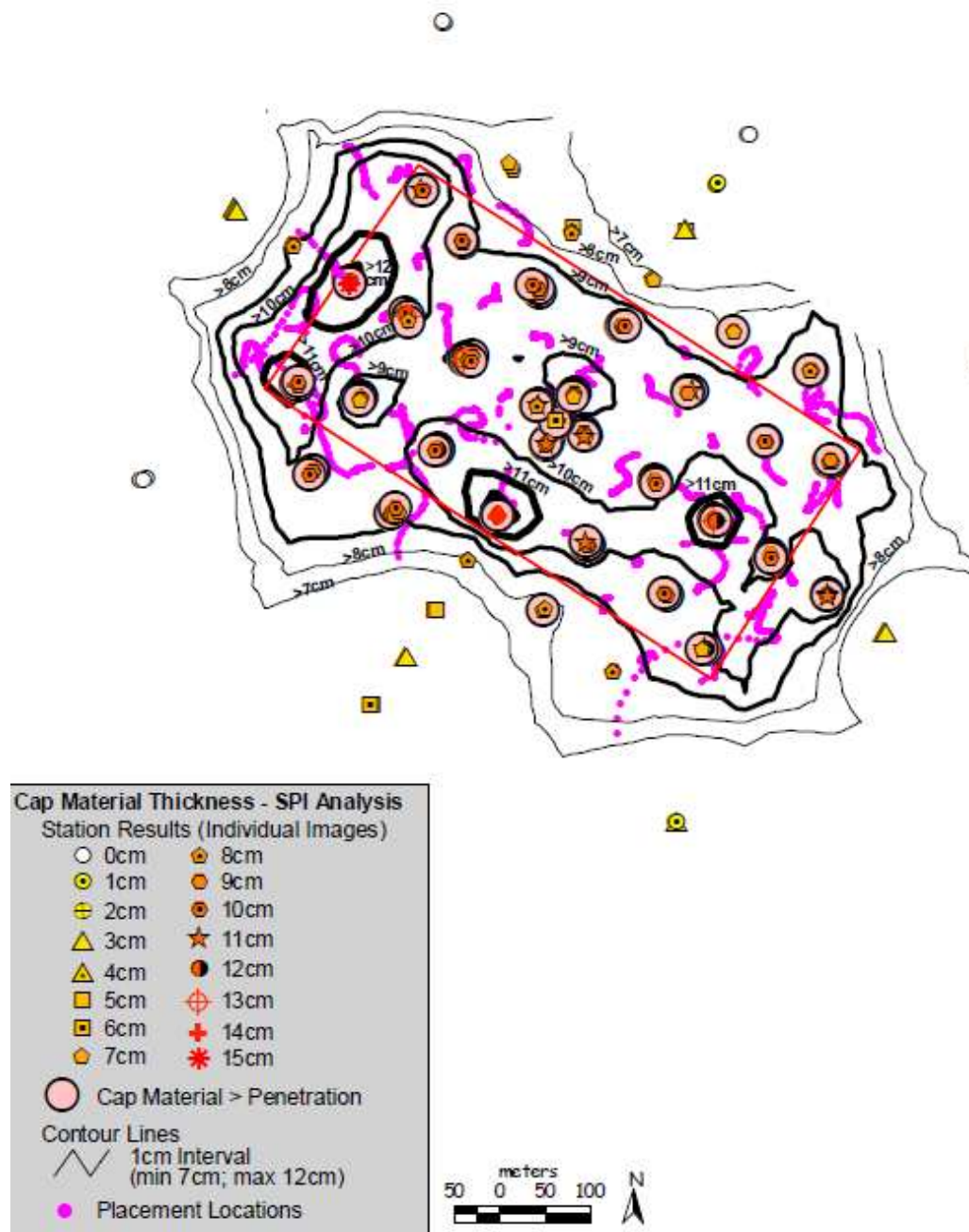


De detaljerte resultatene er publisert av USACE i 2002 (Fredette et al 2002). Et eksempel fra tildekking av ett av prøverarealene er vist i Figur 3-4.

Resultatene fra hele prosjektet kan oppsummeres slik:

- Oppførselen til massene som ble sluppet stemte godt overens med prediksjonen fra de numeriske modellene. Analyser av sedimentprofiler/kjerneprøver og målinger med sidesøkende sonar støttet konklusjonen om at det er mulig å plassere et dekklag på Palos Verdes sokkelen som er forholdsvis ensartet. Dekklagene som ble plassert både med konvensjonell utlegging og med spredning varierte generelt i tykkelse med bare noen få cm over de områder som mottok det som kan defineres som et fullt dekklag under pilotprosjektet. Bruken av spredningsteknologi virket å resultere i et dekklag som var noe mer enhetlig enn det som var plassert på konvensjonell måte.
- Ved å velge overlappende plasseringsposisjoner for skipet var det mulig å få overlappende tildekking og en gradvis oppbygging av dekklaget.
- Noe forstyrrelse av de forurensede sedimentene på sjøbunnen ble observert, men det gjaldt bare for de øverste centimetrene. Denne forstyrrelsen var mulig å minimere ved å bruke resultatene fra modelleringen for å velge de stedene hvor massene ble sluppet fra. I tillegg virket det som om utlegging ved å spre massene (delvis åpne splitten under plasseringen og holde svak fart fremover) reduserte forstyrrelsen av sedimentene *in situ* i forhold til konvensjonell plassering.
- Vannkvalitetsmålinger støttet også konklusjonen at påvirkningen på de forurensede sedimentene var akseptabel. Den høyeste forekomsten av resuspendert DDE (nedbrytningsprodukt av DDT) i vannsøylen ble registrert i den initielle plasseringen av massene. Påfølgende målinger viste en rask reduksjon til bakgrunnsnivåer, sannsynligvis på grunn av at det forurensede sedimentet ble beskyttet av dekkmassene som da hadde lagt seg på plass.
- Plasseringen av dekkmasse resulterte i at ca. 3-4 cm av massene i noen grad ble blandet med de forurensede sedimentene. Når dekklaget ble tykkere enn dette ga det svært lave konsentrasjoner av DDE i de øvre delene av dekklaget.
- Det var ingen indikasjoner på at dekklaget eller de forurensede sedimentene var blitt ustabile som følge av tildekkingen. Målinger indikerer at strømningsbevegelsen (energien) synker med avstanden fra nedslagspunktet for plasseringen av dekkmassene. Dette reduserer bekymringene for at dette skal utløse en massebevegelse nedstrøms. Bruken av spredningsteknologi for plassering av massene ga en svært liten strømningsbevegelse, og vil være den anbefalte teknologien på slike lokaliteter.

Cell LU Cap Material Thickness Post 45 Survey

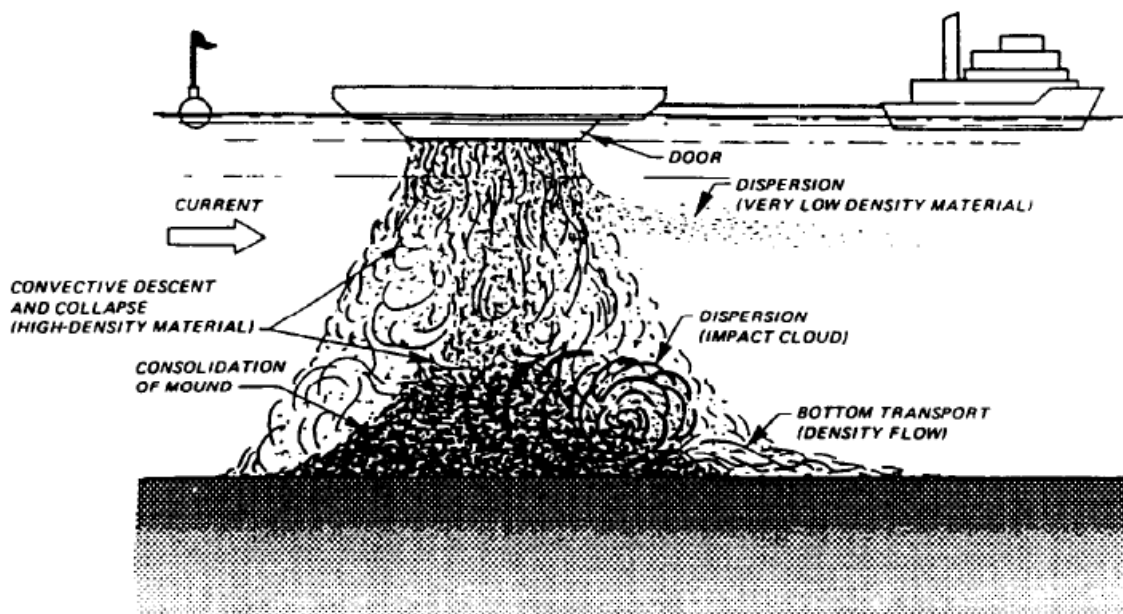


Figur 3-4. Palos Verdes (Fredette et al, 2002). Resultat fra en test med tildekking på et 300 x 600 m areal hvor det ble foretatt utlegging med 45 lekterlass med ca. 800 m³ i hver lekter.

4 STYRKER OG SVAKHETER VED DEN VALGTE TEKNOLOGIEN OG FREMGANGSMÅTEN

Utlegging med splittlekter (og fallbunnslekter) foregår fra vannoverflaten og en har derfor ikke full kontroll på hvordan massene legger seg på sjøbunnen. Utleggingen foregår batchvis slik at overlappingen mellom utleggingene er vanskelig å kontrollere og er avhengig av posisjonen og vanddypet.

Utleggingen ved Palos Verdes ble utført ved at fartøyet gikk i fartsretningen mens massene ble lagt ut, se Figur 4-1. Tildekkingsmassene ble således lagt ut i en relativt smal stripe på overflaten. Dypet i området varierte mellom 40 – 70 meter og massene kunne således flyte utover på vei ned, slik at tildekkingen ble jevn.



Figur 4-1. Illustrasjon av utlegging av dekkmasser med splittlekter i fartsretningen (U.S.Army Corps of Engineers, 1993)

Utleggingen ved Malmøykalven gjøres med selvgående splittlekter som går på tvers under utleggingen. Det som er spesielt er det forholdsvis store vanddypet (60-65 m). Det er i seg selv ingen begrensninger i dybde det kan legges ut masser på med splittlekter, men nøyaktigheten synker med økende vanddyp. Dette medfører at man må gjenta operasjonen flere ganger i samme område for å få tilstrekkelig tykkelse.

5 FAKTORER SOM KAN PÅVIRKE NØYAKTIGHETEN VED UTLEGGINGEN AV DEKKMASSER VED MALMØYKALVEN

I dette kapitlet gjennomgås de faktorer som kan påvirke nøyaktigheten ved utleggingen av dekkmasser ved Malmøykalven.

Faktorer som påvirker nøyaktigheten av utleggingen ved Malmøykalven er:

- Posisjonering (lekterens manøvreringsevne)
- Strøm
- Sporbarhet (hvor er massene lagt ut)
- Kunnskaper og holdninger hos mannskapet
- Dekkmassenes fysiske egenskaper
- Værforhold (bølgehøyde, vind)
- Sjøbunnens topografi

Erfaringer fra tidligere tildekkinger viser at man kan oppnå tykkelser på tildekkingen på 30-50 cm med flere runder utlegginger. Ved Malmøykalven er kravet at dekklaget skal være min. 40 cm. Det vil være fullt mulig å oppnå, men krever utlegging i flere omganger.

Erfaringer fra Palos Verdes viser at man kan oppnå et dekklag med variasjoner på bare noen få cm ved lignende dyp som ved Malmøykalven.

Posisjonering (lekterens manøvreringsevne)

Lekteren som brukes ved Malmøykalven har god manøvreringsevne fordi den har rorpropellere i akterenden og rorpropeller foran se Figur 5-1. Rorpropelleren foran stikker under skutebunnen og kan rotere 360°. Propellerne må betjenes manuelt hvilket gjør det vanskelig å fullt utnytte den manøvrerbarheten man har, og det krever stor dyktighet av den som manøvrerer. Dette kan føre til at det er vanskelig å holde lekteren i riktig posisjon hele tiden under utlegging og følge oppsatt rutemønster. Avvik fra rutemønsteret vil kunne medføre at massene ikke legger seg der hvor de er planlagt. Ved befaring av utleggingen 08.05.2009 ble det registrert slik unøyaktighet i utleggingen på opp til 10-15 m (horisontalt). Utlegging av masser ved avvik fra planlagt rutemønster vil kunne unngås ved å lukke splittlekteren.



Figur 5-1. Venstre: Fremre propeller av den typen som som brukes ved Malmøykalven. Den er nedsenkbar slik at den stikker under skrogbunnen og den har full effekt 360 grader. Høyre: Bakre (aktre) propeller (to stk.) av den typen som som brukes ved Malmøykalven. Kan rotere 360 grader men kan ha noe begrenset effekt i visse posisjoner.



Strøm

Sterk strøm kan gi betydelig avdrift på massene når de synker gjennom vannmassene ned til sjøbunnen. I områder hvor strømmen varierer mye kan dette medføre ujevn avdrift av massene. Ved Malmøykalven forventes det ikke å være store kortsiktige variasjoner av strømretning, slik at eventuell avdrift ved utlegging vil være jevn. Variasjoner i strømretningen forventes ikke å være en vesentlig faktor til dårlig nøyaktighet/feil i utleggingen.

Sporbarhet (hvor er massene lagt ut)

Lekteren har posisjonering med DGPS og den brukes til å posisjonere lekteren i riktig rute ved plassering av massene.

Lekteren har imidlertid ikke noe backtracking system slik at man kan gå tilbake og se hvor lekteren har vært.

Kunnskaper og holdninger til mannskapet

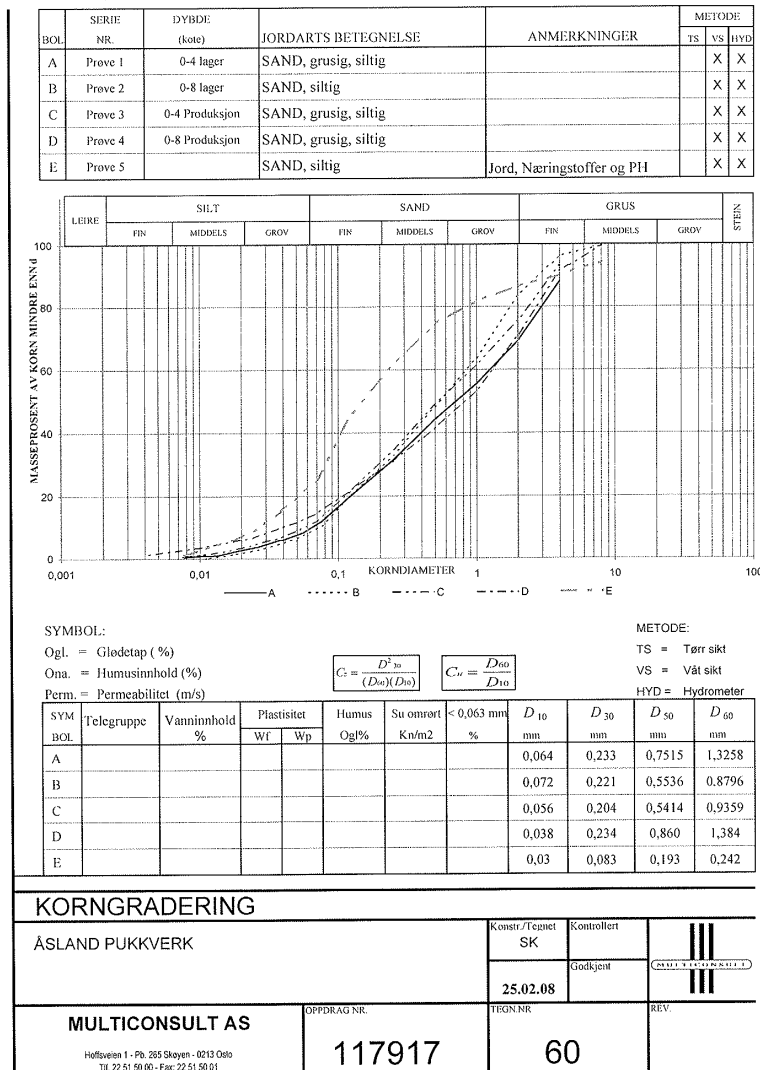
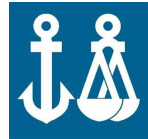
I rapport fra Fase 1 ble det bemerket ”*Det var ingen arbeidsbeskrivelse eller prosedyre for tildekking om bord i Mudder 079 ved befaringen. Det ble opplyst om at prosedyren for tildekking var endret flere ganger siden oppstart. Enkelte utgaver av prosedyrene ble ettersendt; utg. 3 – datert 9.12.08, utg. 5 – datert 20.02.09, utg. 6 – datert 23.03.09 og utg. 7 – datert 11.05.09.*”

I tillegg til prosedyrer er det viktig for å kunne utføre en utlegging, at mannskapet har både kunnskaper og en positiv holdning til arbeidsoppgavene. De som var ombord ved befaringen 08.05.2009 virket å ha kunnskaper og interesse for arbeidet. De hadde bl.a. forbedret utleggingsmetodikken underveis; fra å laste massene i midten av splittlekteren til å laste på begge sider med en halvpart på babord og en halvpart på styrbord side. Videre hadde de redusert mengde masse fra 900 til 720 tonn for at massen lettere skulle gå ut som forutsatt ved utleggingen. Dette er faktorer som bidrar til å redusere feil ved utlegging men de lar seg ikke tallfeste.

Etter DNVs oppfatning burde det ha vært beskrivelser og prosedyrer for tildekkingen om bord i Mudder 079.

Dekkmassenes fysiske egenskaper

Kornfordelingen avgjør massenes sedimentasjonshastighet. Kleber massene sammen (kohesive masser) er synkehastigheten høyere enn hva som kan forventes hvis en betrakter de enkelte kornenes synkehastighet. De aktuelle massene er knuste masser med korngradering 0-8 mm. Multiconsult undersøkt i 2008 massene i henhold til SFTs ”tildekkingsveileder” og konkluderte med at massene tilfredsstillte kravene (ikke forurenset).



Figur 5-2 Kornfordeling for dekkmassene (fra Multiconsult 2008; http://www.renoslofjord.no/sfiles/03/85/4/file/mc-rapport-117917-3_tildeckingsmasser.pdf).

Masser med en relativt stor andel finfraksjon blir liggende og flyte i overflaten forholdsvis lenge før det synker og det vil også drive av fra området. Dette er beregnet i Multiconsults rapport for masser med korngradering 0-8 mm hvor man vurderer at:

- ca. 40 % er flytende i vannet etter 5 min
- ca. 30 % er flytende i vannet etter 15 min
- ca. 17 % er flytende i vannet etter 30 min
- ca. 10 % er flytende i vannet 1 time etter utleggingen

**Værforhold (bølgehøyde, vind)**

Bølger og vind gjør det vanskelig å holde riktig posisjon til enhver tid. Alt manøvreringsutstyr må betjenes manuelt på splittlekteren ved Malmøykalven, noe som gjør at det kan være vanskelig å holde seg innenfor riktig rute under utlegging.

Det ble ved befaringen (sørlig svak vind til lett bris) observert avvik på opp til 10-15 m (se punktet om posisjonering) og ved dårligere vær vil disse avvikene antakelig øke.

Sjøbunnens topografi

Ujevn bunn vil gjøre det vanskelig å oppnå en jevn tykkelse på tildekkingen. Rygger på bunnen er et slikt eksempel. Videofilm fra ROV'en (se Fase 1, DNV-rapport 2009-0762) viser også en noe ujevn bunn på lokaliteten, men ut fra videobildene er det ikke mulig å bedømme høyden på ryggen eller variasjoner i terrenget.

Hvilke er de vesentligste faktorene?

Av de ovennevnte faktorene vurderes posisjonering, strøm (spesielt pga. kornstørrelsen til massene som brukes) og værforhold å være de vesentligste faktorene ved Malmøykalven.



6 ANDRE SPØRSMÅL

Det er noen spesielle spørsmålsstillinger som er aktualisert ved tildekkingen ved Malmøykalven.

- Vil de utlagte massene kunne legge seg i hauger på sjøbunnen?
- Hvordan vil frosne dekkmasser med isklumper og frosne sandklumper påvirke utleggingen?

6.1 Vil de utlagte massene kunne legge seg i hauger på sjøbunnen?

Generelt vil en måtte forvente noe ujevnheter i de utlagte massene på sjøbunnen. Årsaker til dette er nevnt i de foregående kapitlene. Erfaringsmessig vil slike avvik ikke være i den størrelsesordenen at de legger seg i hauger på sjøbunnen. Mike Palermo oppgir at erfaringene fra dypvannstildekking ved Palos Verdes viser at dekklagets tykkelse kun varierer noen få cm ved lignende dyp som ved Malmøykalven.

Det er lite sansynlig at massene kan legge seg i store hauger på sjøbunnen med tanke på de korngraderinger som er valgt kombinert med stort vanddyb.

Data så langt tyder på at massene spres mer enn planlagt og det må flere runder til med utlegging. Palermo oppgir at i grunnere vann enn 30 m vil 1-5 % av massene legge seg utenfor området som skal tildekkes. For dypere vann vil dette tallet bli større.

Palermo sier videre at det er mulig å redusere mengden masse som spres utenfor tildekkingsområdet ved å bruke en grovere masse med mindre finstoff.

6.2 Hvordan vil frosne dekkmasser med isklumper og frosne sandklumper påvirke utleggingen?

En generell beskrivelse av massers oppførsel under utlegging er gitt av Palermo (Vedlegg 1):

"When dredged material is released from a barge, it descends through the water column as a dense fluid-like jet. Within this well-defined jet, there may be solid blocks or clods of very dense cohesive material (or in the case of Oslo fjord, some isolated frozen blocks of cap material). The proportion of material that forms into clods in the discharge depends primarily on the mechanical properties of the sediment (especially moisture content and plasticity) and how those properties have been affected during the dredging operation.

During the descent, large volumes of site water are entrained in the jet; as a result of several factors, including turbulent shear, some material is separated from the jet and remains in the upper portion of the water column. This so-called "lost" material transported out of the immediate site is frequently viewed with concern when dealing with contaminated sediments (at Oslo fjord, the use of a long vertical tremie pipe likely minimized the dispersion of the contaminated sediment during placement).

To complete the stages of the disposal process, the descending jet and its core of cohesive



material then collapse, usually as a result of impact on the bottom or, more rarely and at deeper sites, when it encounters a layer in the water column with ambient density equal to or greater than the jet. In the latter period of the collapse, that portion of the discharge that is not deposited when it impacts initially will move radially outward as a density/momentum-driven surge until sufficient energy is dissipated and the material begins to rapidly settle on the bottom. At this time diffusive processes dominate and any material remaining from the surge will be mixed with the lower water column and diluted and will continue to settle, although more slowly”.

Generelt vil tilstedeværelse av frosne tildekkingsmasser i form av større enkelte sandklumper medføre økt synkehastighet og økt oppvirvling når de treffer sjøbunnen. Skaden på tildekkingslagets funksjon vurderes i liten grad å bli påvirket. Klumper med hovedsakelig is vil holde seg flytende.

7 KONKLUSJONER – FASE 2

Den valgte metoden for utlegging av dekkmassene vurderes som egnet for formålet. Det at splittlekteren går/taues på tvers under tildekkingen ved Malmøykalven gjør at ønsket resultat oppnås enklere enn når utlegging skjer ved at lekteren/fartøyet tømmer lasten under normal seilas (Palos Verdes).

For sporbarhet av lekterens posisjoner under utleggingen ved Malmøykalven burde den hatt et system for backtracking.

For å sikre enhetlig utlegging av tildekkingsmasser i henhold til bestemt metode, burde det på mudringsfartøyet være tilgang til skriftlige prosedyrer.

Gradering 0-8 mm med høyt finstoffinnhold gir større mengde som ”tapes” ut av tildekkingsområdet enn ved bruk av f. eks gradering 4-8 mm. Hvis det er tilgang på ren sand på sjøbunnen kan denne mudres opp med et sugemudringsfartøy og brukes som dekkmasse. Dette vil være gunstigere enn å hente knuste steinmasser fra et steinbrudd på land.

Det vurderes som lite sannsynlig at massene kan legge seg i store hauger på sjøbunnen med tanke på de korngraderinger som er valgt og det store vandypet.

Generelt vil tilstedeværelse av frosne tildekkingsmasser i form av større enkelte sandklumper medføre økt synkehastighet og økt oppvirvling når de treffer sjøbunnen. Tildekkingslagets funksjon vurderes imidlertid i liten grad å bli påvirket. Klumper med hovedsakelig is vil holde seg flytende.

8 VIDERE ARBEID

Hvis en ønsker å gå videre med med å se på tildekkingen ved Malmøykalven vil det være naturlig å utføre en modellering av utleggingen av massene på sjøbunnen for bedre å kunne vurdere hvordan de vil legge seg på sjøbunnen.

Dette kan kombineres med en ROV-inspeksjon av utleggingen og av sjøbunnen.

For å se nærmere på eventuelle ujevnheter på sjøbunnen kan det utføres en mer detaljert gjennomgang av eksisterende bunnkartlegging eventuelt kombinert med en ny bunnkartlegging.



9 REFERANSER

Bray, R.N., 2008. Environmental Aspects of Dredging. Publisert av Taylor & Francis, 380 sider, ISBN 978-0-415-45080-5.

DNV, 2009. Fase 1 – Befaring ved tildekking på Malmøykalven. Rapport nr. 2009-0762. Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

U.S.Army Corps of Engineers, 1993. Development and Verification of Numerical Models for Predicting the Initial Fate of Dredged Material Disposed in Open Water. Report 1 – Physical Model Tests of Dredged Material Disposal from a Split-Hull Barge and a Multiple Bin Vessel. Technical Report DRP-93-1.

www.renoslofjord.no. Oslo kommune/Oslo Havn KF hjemmeside for prosjektet "Ren Oslofjord".

Se også referanser i Vedlegg 1.

- o0o -



Vedlegg 1

Notat fra Dr. Mike Palermo med kommentarer til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven og med internasjonale erfaringer fra tildekking på dypt vann



MICHAEL R. PALERMO, PhD, PE
MIKE PALERMO CONSULTING, INC.

• **Dredged Material Management** • **Contaminated Sediment Remediation**

3046 Indiana Ave., Suite R, PMB 204 ■ Vicksburg, MS 39180 ■ (601) 831-5412 ■ mike@mikepalermo.com

Memorandum

To: Jens Laugesen, DNV
From: Michael R. Palermo, PhD, PE
Date: June 1, 2009
Subject: Palermo Comments on Oslo Fjord Capping and U.S. Experiences with Deep Water Capping

Background

DNV has requested a review of disposal and capping operations at the Malmoykalven site located in the Oslo fjord and a summary of U.S. experiences with deep water capping. The Oslo fjord site was used for disposal of contaminated sediment from Oslo Harbor and capping operations are currently underway. Issues have been raised regarding the fraction of materials dispersed to the far field and not accumulating within the site boundaries and the uniformity of the cap thickness as placed. This memorandum summarizes the operations at the Oslo fjord site, background on the processes at work for surface discharges of cap material, considerations for deep water capping, and experiences with deep water capping at two sites in the U.S., at Massachusetts Bay, near Boston, and Palos Verdes, near Los Angeles.

Operations at the Oslo fjord

Three reports on the Oslo fjord operations were provided for review by DNV. These were written in Norwegian, however, the photos and figures were informative and one report had an English Summary. I have also discussed the project with DNV to gain a basic understanding of operations at the site.

The contaminated sediments were placed at the site using a vertical tremie pipe with the release point a few meters above the bottom. The materials had a high water content and the site had a relatively flat bottom. Capping operations are on-going. A split-hull, self-propelled barge about 33 m in length is used for the cap material placement. The barge is capable of moving laterally as the hull is opened to spread the material for each barge load. The placement plan uses a grid of defined points for point placement. Points are on 30 m centers, and each load is intended to cover 1.5 grid spacings. A total of 4 placement passes are planned to achieve a target 40 cm cap thickness.

TEKNISK RAPPORT

The cap material is from an upland quarry source, and the grain size range is 0-8mm, with a large fraction of fines. There are concerns that material emptying from the barges may be bridging and subject to faster-than-desired releases. The operations were observed by DNV, and seemed to be proceeding as designed. Some portions of the material placed as cap was observed to be as frozen chunks, and DNV observed small chunks of frozen ice.

There was almost a one month delay between completion of contaminated sediment placement and start of capping. Sediment profile camera images show good cap coverage to a thickness of 6 cm or so. Capping is continuing, and should be finished during the summer. DNV indicated that no pre-operations modeling was done to predict water column dispersion or bottom spread.

My assessment of the Oslo fjord capping operations, based on the information presently available, is as follows:

- The overall approach for cap placement at this site is generally consistent with the technical guidelines for subaqueous capping developed in the U.S. (Palermo et al 1998). These guidelines describe a range of placement methods, one of which is point placements from hoppers or barges, as used for the Oslo fjord site. The main rule for cap placement is a controlled release of sediments with the intention to gradually build up the desired cap thickness. The ability of the self-propelled barges, along with the capability of controlling the split-hull opening mechanism should help in controlling the release.
- The observed capping thicknesses at the site seem consistent with the known processes at work for surface release from hoppers or barges (see section on behavior of surface discharges to follow). No pre-operations modeling was conducted using the site-specific conditions (depths, currents, etc.), material-specific characteristics of the capping material (grain size distribution, load densities, etc.), and operations-specific information (barge size and volume, rate and method of release, etc.). A site-specific modeling evaluation, using the available models for surface release and material accumulation, would likely contribute to a better understanding of dispersion and spreading observed for the site (see descriptions of available models to follow).
- The capping thicknesses achieved at this point and the observed visible plumes during capping indicate that a portion of the material is being dispersed to the far field and is not accumulating on site. However, some “loss” of capping material is to be expected and should be accounted for in the capping operations plan. The cap material is described as having a significant fraction of fines. Therefore, if the loss rate is deemed too high, a coarser grained cap material source could be considered.
- The uniformity of placed cap thickness, as indicated on the available sediment profile imagery, is consistent with experiences at other capping sites. Some variability of cap thickness as placed is to be expected, regardless of the placement method used. This variability should be accounted for in the design cap thickness.
- The overall description of operations at the Oslo fjord site seem consistent with experiences for similar deep water sites and associated cap placement operations in the U.S. (see descriptions of both the Massachusetts Bay and Palos Verdes deep water capping projects to follow).



Behavior of Barge or Hopper Surface Discharges

The cap material for the current Oslo Harbor project was placed by surface discharge from a split-hull barge. The behavior of such surface discharges is an important factor in understanding the nature of cap thickness and cap coverage for the site. The mechanics of the behavior of dredged material placed at an open water site by instantaneous discharge from a barge or hopper at the water surface have been described and/or modeled by a number of investigators (see summary description by Truitt 1986). These descriptions typically divide the behavior of the material into three distinct transport phases or stages generally according to the physical forces or processes that dominate during each period. The most common terminology in use today for these stages is convective descent, dynamic collapse, and long-term or passive diffusion.

When dredged material is released from a barge, it descends through the water column as a dense fluid-like jet. Within this well-defined jet, there may be solid blocks or clods of very dense cohesive material (or in the case of Oslo fjord, some isolated frozen blocks of cap material). The proportion of material that forms into clods in the discharge depends primarily on the mechanical properties of the sediment (especially moisture content and plasticity) and how those properties have been affected during the dredging operation.

During the descent, large volumes of site water are entrained in the jet; as a result of several factors, including turbulent shear, some material is separated from the jet and remains in the upper portion of the water column. This so-called "lost" material transported out of the immediate site is frequently viewed with concern when dealing with contaminated sediments (at Oslo fjord, the use of a long vertical tremie pipe likely minimized the dispersion of the contaminated sediment during placement).

To complete the stages of the disposal process, the descending jet and its core of cohesive material then collapse, usually as a result of impact on the bottom or, more rarely and at deeper sites, when it encounters a layer in the water column with ambient density equal to or greater than the jet. In the latter period of the collapse, that portion of the discharge that is not deposited when it impacts initially will move radially outward as a density/momentum-driven surge until sufficient energy is dissipated and the material begins to rapidly settle on the bottom. At this time diffusive processes dominate and any material remaining from the surge will be mixed with the lower water column and diluted and will continue to settle, although more slowly.

The above processes have been incorporated into models commonly used for prediction of the nature of the descent, water column dispersion, and bottom spread and accumulation, and the models are now commonly used for project design. The models and processes have also been verified by field data taken at a number of sites in the U.S. and are commonly applied for design of capping operations (Truitt 1986, USEPA/USACE 1998, and Palermo et al 1998). The field data collected at these U.S. sites, most of which are in relatively shallow water (less than 30 m) indicate that from 1 to 5% of the mass of material is dispersed to the far field. However for deep water sites, the above process would act to increase the relative percentage of materials dispersed to the far field and would increase the spread of material as it accumulates on the bottom. This is an important consideration in planning and design of capping projects at deep water sites.



Deep Water Capping Considerations

The potential for capping contaminated sediment at deep water sites was evaluated in the U.S. as early as the mid-1980s. Studies concerning the Everett Homeport project in Puget Sound (Palermo et al 1989) addressed a number of potential concerns of deep water capping at a site which had an approximate 50 m water depth and sloping bottom bathymetry. Although material placement and capping was not conducted at the Everett site, several important considerations for deep water capping were subsequently identified by this effort (Palermo 1989):

- There is greater potential for water column dispersion of both contaminated material and capping material during placement at deep water sites. The deeper water column and the potential for density stratification at depth affords more opportunity for water entrainment during descent, making the descending material more susceptible to dispersion and stripping and during descent. This may result in higher rates of far-field dispersion or “loss” of materials outside the desired placement site.
- The potential for increased water entrainment also results in potentially wider spreading of materials on the bottom at deep water sites. Greater care in control of placement locations and rates may therefore be required to develop a discrete mound or deposit of contaminated material and adequate coverage of the deposit with capping material.
- The use of a deep water site generally holds an advantage with respect to potential long-term stability of the materials. The deeper water acts as a buffer from wave action, and the wave-induced currents from storm events are less than in shallow water.

Although there are a number of deep-water sites in the U.S. where dredged materials have been successfully placed during normal disposal operations, only two deep-water sites have been used for subaqueous dredged material capping, both demonstration projects. These include the Massachusetts Bay site near Boston and the Palos Verdes Site near Los Angeles. The above considerations were applied in predictions of behavior of cap placement, monitoring plans, and project design for these sites.

Massachusetts Bay Project

The US Army Corps of Engineers, New England District (NAE), sponsored a subaqueous capping demonstration project at the Massachusetts Bay Disposal Site (MBDS) from fall 1998 through spring of 2000 (Morris, Walter and Fredette 2002). The overall objective of the MBDS capping demonstration project was to evaluate the effectiveness of subaqueous capping as a dredged material management technique at this deep-water disposal site. The MBDS is an open-ocean dredged material disposal site located 22.2 km (12 nmi) southeast of Gales Point, Manchester, Massachusetts. The site is configured as a circle 3.7 km in diameter, and has water depths ranging from 82 to 92 m.

Uncontaminated sediments were used in the capping demonstration to represent potentially contaminated sediment that would be unsuitable for open ocean placement without capping. A total estimated barge volume of 56,750 m³ of sediments (sandy silt) was placed at a disposal



point near the southern boundary of MBDS. A capping dredged material layer composed of approximately 154,000 m³ of Boston Blue Clay and glacial till removed from Boston Harbor was subsequently placed over the initial deposit.

A series of monitoring surveys employing precision bathymetry, side-scan sonar, sediment-profile photography, and multiple sediment collection techniques were performed over the study area to track the development of the capped mound. The comprehensive data set documented the development of a capped mound composed of two distinct layers of sediment on the MBDS seafloor, indicating that construction of a defined mound of contaminated sediment and subsequent capping was feasible at this site.

Palos Verdes Project

The Palos Verdes project serves as a primary example of cap placement operations in deep water (Palermo et al 2001). Approximately 15 square kilometers of the Palos Verdes (PV) shelf off the coast of Los Angeles, California is contaminated with DDT and PCB. This site is managed as a Superfund project by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Region 9. The U.S. Army Corps of Engineers (USACE) conducted an analysis of in-situ subaqueous capping options for the site that included cap design, cap placement modeling evaluations, a cap placement approach, and identification of monitoring requirements (Palermo et al 1999). The USACE subsequently conducted a major field pilot study of in-situ capping methods and monitoring techniques at the site in 2001 (Fredette et al 2002). The pilot study involved placement of approximately 103,000 cubic meters of capping sediments in three 18-hectare capping cells situated at water depths between 40 and 70 meters.

Cap material was placed by a split hull hopper dredge using both conventional and spreading placement methods. An extensive environmental monitoring program was conducted in stages before, during and after cap placement using state-of-the-art equipment and techniques. Modeling was also conducted during the placements to guide field operations and following placements to improve future predictive capabilities.

The site lies on a sloping bottom with slopes from 1 to 2 degrees at water depths of 30 to 70 m with increasing slopes at deeper water depths. The in-situ contaminated sediments are comprised of silty sand. Dredged sediments from navigation channels (primarily the Queen's Gate deepening project) and sand borrow areas were identified as the two primary cap material sources. The Queen's Gate material had an in-situ mean grain size of approximately 0.1 mm, and the sand borrow areas located outside the harbor breakwaters have in-situ mean grain sizes in excess of 0.2 mm. Modeling conducted prior to final cap material selection indicated that use of mixtures of fine sand and silt/clay cap material (such as material from Queen's Gate) resulted in a larger proportional dispersion off-site, and potentially greater spread downslope as compared to a coarser sand (such as from the sand borrow areas). Therefore, the finer materials were selected for placement using conventional release from the hopper dredge. The coarser borrow area materials from the sand borrow areas were selected for placement using a spreading method of placement.



The placement operations and monitoring program for the pilot were designed to evaluate cap thickness, variability in cap thickness, resuspension of existing sediments, mixing of cap and contaminated sediments, losses of cap materials. The program also evaluated the effect of cap material type, bottom slope, water depth, and placement method (e.g., conventional versus spreading) on cap thickness and sediment displacement and resuspension.

A hopper dredge was selected as the equipment of choice for the pilot capping at PV Shelf because it was the most readily available equipment, provided better control of placement in the open ocean environment, and allowed for more flexibility in placement options to include pumpout capabilities. Hopper dredges remove material from channels by hydraulic means, resulting in a breakdown of any hardpacked material and addition of water as material is stored in the hopper for transport. Material from hopper dredges is therefore more easily dispersed in the water column, and therefore settle to the seafloor with less energy and less potential for resuspension of the contaminated sediment. The NATCO Manhattan-class dredge *Sugar Island* was used for the pilot placements. The *Sugar Island* has a split-hull hopper opening mechanism that can be used to control the rate of release. This dredge is also equipped with a hopper pumpout capability over the bow and water jets to aid in pumpout operations. Pumpout can also be accomplished through the adjustable skimmers within the hopper.

Cap placement operations were conducted using the hopper dredge by, (1) releasing material at selected placement points in the conventional manner at the water surface, (2) spreading material by partially opening the split hull during placement with the dredge maintaining slow forward motion, and (3) pumpout through the hopper dragarms.

Monitoring for the program included sediment profile images, sediment cores, water samples and water column measurements, current meters and optical back scatter meters, side-scan sonar and sub-bottom acoustic profiling, sediment samples from the hopper dredge, and dredge position and load curves. Modeling was used to predict the behavior of the materials prior to the placement operations and design the operations plan and monitoring plans. The mathematical model MDFATE was used to predict the rate of cap material buildup for specific sediment characteristics, various water depths over the shelf and various placement approaches. The USACE STFATE and SURGE models were used to predict cap material dispersion during placement and evaluate the velocities of bottom impact on spreading behavior, respectively. These predictions were initially based on a broad range of assumed properties for the cap material. Once specific cap material sources were selected, refined predictions using the specific site conditions and cap material properties were made using the MDFATE, STFATE and CORMIX models. Results of the refined predictions were used to adjust the operational approach and monitoring efforts for the pilot.

The detailed results of the pilot studies were published by the USACE (Fredette et al 2002). Results are summarized as follows:

- The actual behavior of the released sediment compared very well to the predictions made by numerical modeling. Evidence from the sediment profile, coring, and side-scan



surveys all support a conclusion that it will be possible to create a cap on the Palos Verdes Shelf that is quite uniform. The caps that were created using both conventional and spreading placement generally vary in thickness by only a few cm across those areas that received what could be considered a full cap application during the pilot. The use of spreading placement appeared to result in a cap that has somewhat greater uniformity than one created with conventional placement.

- Single placement events resulted in cap thickness increases of only a few cm when the material was released immediately around the placement point while the vessel was stationary. By spacing the neighboring placement points such that the bottom surge areas would overlap with those points around it allowed gradual build-up of the cap from these multiple events.
- Some physical disturbance to the contaminated sediment was observed, but this appeared to be within expectations of only a few centimeters. This disturbance was minimized during the pilot study through the management of cap placement points. In addition, it appears that the spreading placement approach has the potential to result in even less disturbance to in-place sediments than conventional placement.
- Water quality measurements also support a conclusion that the impact to the contaminated sediments was acceptable. The highest occurrence of DDE in the resuspended water column occurred on the initial placement events. Subsequent measurements showed a rapid return to background levels, likely due to the sediments being shielded from direct impact by the cap material already in place.
- The process of cap placement resulted in about 3-4 cm of the cap becoming mixed to some degree with the contaminated sediment. As cap thickness increased beyond this, mixing with the EA sediment became negligible such that the upper portions of the cap had very low levels of DDE.
- There was no evidence of cap or contaminated sediment instability as a result of operations. Current surge monitoring results indicate that the energy from the cap placement decays with distance and time away from the point of release. This lessens concerns about the potential to trigger down-slope turbidity flows. The use of spreading placement, which produced very little surge, would be the recommended option in such locations.



References

- Fredette, T., Clausner, J., McDowell, S., Palermo, M., Ryan, J., Smith, L., Bratos, S., Brouwer, M., Prickett, T., Nevarez, E., and Schauffler, F. 2002. Field pilot study of in situ capping of Palos Verdes Shelf contaminated sediments. ERDC TR-02-5, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://el.ercd.usace.army.mil/elpubs/pdf/tr02-5.pdf>
- Morris, J., Walter, P., and Fredette, T. 2002. Subaqueous Capping Demonstration Project at the Massachusetts Bay Disposal Site. Proceedings of the Third Specialty Conference on Dredging and Dredged Material Disposal, American Society of Civil Engineers, May 5-8, 2002, Orlando, FL.
- Palermo, M.R. 1989. Capping Contaminated Dredged Material in Deep Water. Proceedings of the Specialty Conference Ports 89, American Society of Civil Engineers, Boston MA.
- Palermo, M. R., Shafer, R. A., Brannon, J. M., Myers, T. E., Truitt, C. L., Zappi, J. G., Skogerboe, J. G., Sturgis, T. C., Wade, R., Gunnison, D., Griffin, D. M., Jr., Tatum, H., and Portzer, S. (1989). "Evaluation of dredged material disposal alternatives for U.S. Navy Homeport at Everett, Washington," Technical Report EL-89-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
<http://el.ercd.usace.army.mil/elpubs/pdf/trel89-1/cover.pdf>
- Palermo, M.R., F. Schauffler, T. J. Fredette, J. Clausner, S. McDowell, and E. Nevarez. 2001. Palos Verdes Shelf Pilot Capping: Description and Rationale. Proceedings, 21st Annual Meeting of the Western Dredging Association (WEDA XXI) and 33rd Annual Texas A&M Dredging Seminar, Houston, TX.
- Palermo, M., P.R. Schroeder, Y. Rivera, C. Ruiz, D. Clarke, J. Gailani, J. Clausner, M. Hynes, T. Fredette, B. Tardy, L. Peyman-Dove and A. Risko. 1999. Options for *In Situ* Capping of Palos Verdes Shelf Contaminated Sediments. Technical Report EL-99-2, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
(available on the web at <http://www.wes.army.mil/el/elpubs/pdf/trel99-2.pdf>).
- Truitt, Clifford L.", 1986, "Fate of Dredged Material During Open-Water Disposal", "EEDP-01-2, Environmental Effects of Dredging, Technical Notes, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- USACE/EPA. 1998. Evaluation of Dredged Material Proposed for Discharge in Waters of the U.S. - Testing Manual (Inland Testing Manual). Appendix C: Evaluation of Initial Mixing. EPA-823-B-98-004, US Environmental Protection Agency and US Army Corps of Engineers, Washington, D.C. <http://www.epa.gov/ostwater/itm/index.html>